

# Behandlingsløsninger for flyveaske

Status: **Endelig utgave**  
Dato: 02.05.2018  
Utarbeidet av: **Morten H. Soma/Stine B. Torstensen**  
Oppdragsgiver: NOAH AS

# Rapport

Oppdragsgiver: **NOAH AS**

Dato: 02.05.2018

Prosjektnavn: Behandlingsløsninger for flyveaske

Dok. ID: 33861-00018-3.4

Tittel.: **Behandlingsløsninger for flyveaske**

Deres ref: Egil Solheim

Utarbeidet av: Morten H. Soma/Stine B. Torstensen

Kontrollert av: Stine B. Torstensen/Morten H. Soma

Status: Endelig utgave

---

## Sammendrag:

---

Det er gjennomført en vurdering av ulike metoder for behandling av røykgassrenserester (kalt RGR<sup>1</sup> i rapporten). Fokus har primært vært behandlingsløsninger som allerede er tilgjengelige i industriell skala, samt de som er i ferd med å nå moden utviklingsstatus – og derigjennom må anses å kunne bli tilgjengelige innen 2025-2030.

For å innhente informasjon om de enkelte behandlingsløsningene, har en vært i kontakt med flere av dagens aktører innen mottak og behandling av RGR, og dels aktører som arbeider med utvikling av nye teknologier. En utfordring har vært at mange aktører har ønsket å "holde kortene tett til brystet". Vi har derfor i stor grad vært avhengig av å gjennomføre litteraturstudium og benytte tilgjengelige åpne kilder. Det er imidlertid mye informasjon tilgjengelig om flere behandlingsmetoder, og da de fleste teknologiene har analoge/like prosessstrinn, har det vært mulig å gjennomføre en tilfredsstillende vurdering av aktuelle teknologier.

I Norge vil kun Langøya og Terrateams anlegg i Mo i Rana være tilgjengelig som behandlingsløsninger de nærmeste årene. Det er imidlertid knyttet noe usikkerhet til drift ved Terrateams deponi i Mofjellet etter 1. juni 2020 pga. mulig krav om bunn- og sidetetting iht. avfallsforskriftens kapittel 9.

Det vil ta mange år før det er realisert alternative sentraliserte behandlingsløsninger i Norge. Rent teknisk vil det sannsynligvis være mulig å etablere lokale behandlingsløsninger ved de fleste avfallsforbrenningsanleggene i løpet av noen år. Dette vil imidlertid være relativt kostbare og komplekse anlegg som vil kreve høy kompetanse og tilstrekkelige bemanningsressurser for sikre forsvarlig drift.

Selv om flere aktører har arbeidet i mange år med teknologier for produkt ekstraksjon, har kun én teknologi med produkt ekstraksjon kommet i kommersiell drift, dvs. den sveitsiske FLUWA/FLUREC-prosessen, der behandlingskostnadene er svært høye. Realiseringen av denne behandlingsløsningen har kun vært mulig pga. at Sveits, som det eneste landet i Europa, har lovpålagt produkt ekstraksjon.

For løsninger med produkt ekstraksjon og gjenvinning av ressurser i RGR, knytter det seg betydelig usikkerhet pga. tidkrevende prosesser med dokumentasjon, godkjenning og markedsaksept for produktene. Metaller som gjenvinnes fra RGR, har pr. i dag et begrenset inntektspotensiale, og for noen teknologier er det usikkerhet mht. om kvaliteten på produsert metallkonsentrat gjør det mulig å få solgt dette til foredling/metallproduksjon.

---

<sup>1</sup> RGR: Røykgassrenserester. Disse blir ofte feilaktig kalt flyveaske, men består av både faststoff fra gassrensing og flyveaske

## Innhold

1	BAKGRUNN/INNLEDNING .....	4
2	OPPSUMMERING/KONKLUSJON .....	5
3	GRUNNLAGSDATA .....	10
3.1	Flytskjema/massebalanse RGR .....	10
3.2	Typisk sammensetning av RGR .....	12
3.3	Kostnader for deponering av stabilisert RGR .....	14
3.4	Verdi på produkter for salg .....	15
3.5	Kostnader for røykgassrensing ved avfallsforbrenning.....	18
4	BESKRIVELSE OG VURDERING AV BEHANDLINGSLØSNINGER.....	19
4.1	FLUWA/FLUREC .....	19
4.2	Halosep.....	22
4.3	OiW/Norsep.....	26
4.4	Carbon8/ATC .....	29
4.5	Ash2salt .....	32
4.6	ArcFume.....	36
4.7	Tyske saltgruver .....	39
4.8	NOAH – Brevik/Langøya .....	42
4.9	Terrateams anlegg i Mo.....	46
4.10	Bergmesteren/Veidekke/Stenas planlagte anlegg i Raudsand .....	49
4.11	Andre metoder som er vurdert overordnet.....	53
4.11.1	Högbytorp .....	53
4.11.2	Scanwatt/Scanopor.....	54
4.11.3	Ferrox .....	55
5	SAMMENLIGNING AV METODER .....	56
VEDLEGG A.	Oversettelse av tysk tekst i figurer.....	59
VEDLEGG B.	Referanser .....	60

## 1 BAKGRUNN/INNLEDNING

I forbindelse med internasjonale forpliktelser om at det enkelte land i hovedsak skal klare å ta hånd om sitt eget avfall, er det i utgangspunktet nødvendig å ha behandlingsløsninger for å sikre forsvarlig behandling av alle typer avfall. Norge har i tillegg et nasjonalt mål om at alt farlig avfall skal tas forsvarlig hånd om, og enten gå til gjenvinning eller være sikret god nasjonal behandling.

Selv om mengde avfall, også farlig avfall som nå går til gjenvinning, gradvis øker, vil det fortsatt være avfall som må gå til sluttbehandling. Med bakgrunn i at det er etablert et nordisk marked for behandling av farlig avfall, importerer Norge RGR fra andre nordiske land, mens organisk avfall eksporteres.

Ved håndtering av uorganisk avfall som RGR, har opprinnelsen stor betydning for sammensetningen. De enkelte landenes avfallshåndtering og resirkulerings- og gjenvinningsordninger vil derfor være av betydning for de RGR som skal håndteres, både mht. volum og sammensetning.

Hvordan RGR bør håndteres har fått stadig større i fokus i deler av Europa og etter hvert også i Norge. I mange år har det i mange land vært utført utviklingsarbeid for å fremskaffe både parallelle løsninger til dagens, samt nye teknologiløsninger, for å fremme større grad av gjenvinning av ressurser enn de som benyttes i dag.

NOAH sitt anlegg på Langøya har vært i funksjon som nasjonalt behandlingsanlegg for farlig avfall i mange år, men er estimert å være fullt i 2022. Hvilke alternative behandlingssteder og behandlingsløsninger som da blir aktuelle å erstatte anlegget med, er uavklart.

NOAH har med denne bakgrunn gitt Norsk Energi i oppdrag å utrede allerede tilgjengelige eksisterende behandlingsløsninger for RGR, og også vurdere løsninger som er under utvikling og dermed mulige fremtidige behandlingsløsninger. Dette omfatter både deponering og gjenvinningsløsninger. Fokus har primært vært behandlingsløsninger som allerede er i industriell skala samt de som er i ferd med å nå moden utviklingsstatus – og derigjennom må anses å kunne være tilgjengelige innen 2025-2030.

I rapporten har en bl.a. estimert kostnadene for alternative behandlingsløsninger fra avfallsforbrenningsanlegg til deponering, annen sluthåndtering eller eventuelt bruk av produkter med utgangspunkt i RGR. Det er gjennomført beregninger for de enkelte kostnadselementene i verdikjedene. Da beregningene bl.a. baserer seg på konfidensiell informasjon fra flere av aktørene som arbeider med ulike behandlingsløsninger, har vi derfor valgt ikke å presentere detaljer omkring kostnadsbildet for de enkelte behandlingsløsningene.

## 2 OPPSUMMERING/KONKLUSJON

Det er gjennomført en vurdering av ulike metoder for behandling av røykgassrester (kalt RGR i rapporten). Fokus har primært vært behandlingsløsninger som allerede er tilgjengelig i industriell skala, samt de som er i ferd med å nå moden utviklingsstatus – og derigjennom må anses å kunne bli tilgjengelige innen 2025-2030.

Det er lansert mange metoder for behandling og håndtering av RGR. I tillegg til de som pr. i dag er kommersielt tilgjengelige, arbeides det i dag med og har tidligere vært arbeidet med mange ulike teknologier, som er kommet til meget varierende stadium i utviklingen. I rapporten har en gjort et utvalg av behandlingsløsninger som er beskrevet og vurdert relativt detaljert. Dette er primært behandlingsløsninger som er eller muligens snart kan bli tilgjengelig, både i Norge og utlandet, men også noen "nye" teknologier som har fått mye oppmerksomhet den senere tid. I tillegg har en beskrevet noen teknologier noe mer kortfattet. En skjønsmessig vurdering ligger til grunn for valg av hvilke behandlingsløsninger som er beskrevet og vurdert. De behandlingsløsningene en har vurdert detaljert er:

- FLUWA/FLUREC
- Halosep
- OiW/Norsep
- Carbon8/ATC
- Ash2salt
- ArcFume
- NAOH – Brevik/Langøya med kjemisk nøytralisering
- Terrateam i Mo med solidifiseringsløsning
- Bergmesteren/Veidekke/Stena i Raudsand med Halosep-teknologi

En har tatt sikte på å vurdere strømmene fra forbrenningsanlegg til deponering eller annen sluttbehandling eller bruk av produkter med utgangspunkt i RGR. Det er forsøkt å ha et livsløpsperspektiv ved vurderingene, men det er ikke gjennomført en egentlig livsløpsanalyse (LCA), noe som ville vært svært omfattende og også medført betydelig usikkerhet pga. valg av forutsetninger og hvordan en gjennomfører allokering<sup>2</sup>.

Noe av det som fremkommer ved gjennomgang og vurdering av ulike behandlingsmetoder, er at det tar svært lang tid å utvikle og kommersialisere behandlingsløsninger for RGR. Årsaken til dette er bl.a.:

- Meget strenge miljøkrav
- RGR består av mange ulike bestanddeler og kjemiske forbindelser inkludert tungmetaller og mikroforurensninger
- RGR har svært varierende egenskaper som følge av varierende avfallssammensetning og bruk av ulike typer gassrenseteknologi
- Det er en omfattende prosess å få innpass for produkter som er ekstrahert fra RGR.

Dette har vi tatt hensyn til når vi har vurdert om ulike teknologier vil være tilgjengelig innenfor den vurderte tidshorisonen 2025 – 2030.

De siste årene har det blitt økt fokus på gjenvinning/gjenbruk av ressurser i RGR. Imidlertid er det kun én teknologi med produkt ekstraksjon som er kommet i drift, dvs. den sveitsiske FLUWA/FLUREC-

---

<sup>2</sup> Allokering: Fordeling av inngående og utgående strømmer (og dermed miljøpåvirkning) der de inngår i flere kretsløp

prosessen, der behandlingskostnadene er svært høye. Realiseringen av denne behandlingsløsningen har kun vært mulig pga. at Sveits, som det eneste landet i Europa, har lovpålagt produktekstraksjon.

Av mulige ressurser i RGR er dette i hovedsak sink og salter, noe som det er tatt utgangspunkt i for flere av teknologiene som har vært lansert de siste årene. Enkelte behandlingsløsninger har også fokusert på bruk av deler av eller all RGR som fyllmasse eller til bygningsformål. En utfordring ved bruk av ressurser i RGR er produktkvalitet og den tiden det tar å få frem nødvendig dokumentasjon før en eventuelt får myndighetsgodkjennelse og markedets aksept for produkter utvunnet fra RGR.

Når det gjelder metaller i RGR, er dette primært sink og til en viss grad bly. Ulike behandlingsløsninger produserer et metallkonsentrat som det muligens er et marked for, forutsatt tilfredsstillende kvalitet. For enkelte teknologier viser dels forsøksresultater og dels vurderinger at det er usikkert om en oppnår akseptabel kvalitet og renhet med utgangspunkt i enkelte typer RGR (fra såkalt semitørr og tørr gassrensing) og eventuelt også all RGR som går til behandling. Dette gjelder bl.a. Halosep (for enkelte typer RGR) og ArcFume (alle typer RGR).

Den økonomiske verdien til metallressursene i RGR er begrensede. Forutsatt at kvaliteten på metallkonsentratet tilfredsstillende krav fra aktuelle mottakere, vil markedsprisen på sinkkonsentrat tilsvare anslagsvis 60 – 70 kr pr. tonn RGR. Til fratrukk kommer transporten frem til foredling, og i beste fall vil trolig netto inntekt for sink i avfallet ligge på størrelsesorden 50 NOK pr. tonn RGR. En har da ikke trukket fra kostnadene ved å produsere metallkonsentratet. Med bakgrunn i dagens prisnivå på blykonsentrat (tilsvarende størrelsesorden 15 NOK pr. tonn RGR), er det klart at gjenvinning av bly ikke vil være regningssvarende, ikke minst når en tar hensyn til transporten frem til foredling. Et annet forhold er at desentraliserte behandlingsanlegg for RGR med produksjon av metallkonsentrat ved det enkelte forbrenningsanlegget kan medføre utfordringer med å få solgt metallkonsentratet, da mengden sink tilgjengelig fra hvert anlegg vil bli liten. F.eks. vil et forbrenningsanlegg med kapasitet på 150.000 tonn avfall pr. år kunne produsere et metallkonsentrat fra RGR som inneholder størrelsesorden 100 tonn sink pr. år. Det er et åpent spørsmål om aktører som foredler sinkkonsentrat til sink vil være villige til å ta imot et så lite kvantum konsentrat fra én enkelt leverandør.

Fra RGR kan det produseres anslagsvis 200-250 kg ulike typer salter pr. tonn RGR (tørrstoffbasis). Forutsatt gjennomsnittlig salgspris på i underkant av 1.000 NOK pr. tonn saltprodukter (som tørrstoff), tilsier det en eventuell inntekt på størrelsesorden 200 NOK/tonn RGR. Et mulig bruksområde er salting av veier. I dag benyttes imidlertid andre saltkvaliteter enn de som eventuelt vil bli produsert ved behandlingsanleggene for RGR. Produktkvaliteten, prosessen med å få frem nødvendig dokumentasjon og eventuelt oppnå myndighetsgodkjennelse, samt å få mulige avtakere til å akseptere bruk av et produkt basert på en råvare som defineres som farlig avfall, gjør avsetningsmulighetene for produsert salt høyst usikre i mange år fremover. Hvis en oppnår kommersiell bruk av saltproduktene fra behandlingsanlegg for RGR, er det også usikkert om markedet vil være villig til å betale samme pris som for de produktene de erstatter. I tillegg vil energiforbruket ved eventuell inndamping i forbindelse med produksjon/foredling kunne bli betydelig.

Hvis behandlingsanlegg som produserer salt ikke ligger ved en saltvannsresipient, er det en mulig utfordring hvordan saltet skal avhendes inntil en eventuelt kan få benyttet det i kommersiell sammenheng. Dette gjelder uavhengig av om det foreligger i fast form eller som saltløsning. I fast form vil det pga. utlekkingssegenskapene ikke kunne legges på deponi for ordinært avfall, og i flytende form må det eventuelt transporteres til saltvannsresipient. Dette vil være tilfellet for bl.a. behandlingsløsningene Halosep, Ash2salt, ArcFume, Scanwatt og FerroX.

Flere behandlingsløsninger forutsetter at en benytter produkter til fyllmasse eller bygningsformål. Dette gjelder bl.a.:

- Carbon8/ATC
- ArcFume
- Scanwatt/Scanopor.

Carbon8 benytter inngående RGR i sin helhet i bl.a. en form for betong samt Leca-lignende bygningsblokker. Imidlertid blir ikke RGR vasket før bruk, og det innebærer at salter, tungmetaller og andre mikroforurensninger blir en del av ferdigproduktet. Selv om RGR er stabilisert gjennom karbonatisering og fiksering med sement, er det usikkert hva som skjer når et bygningselement som inneholder aktuelle forurensninger i fremtiden skal destrueres og hvordan avfallet da skal klassifiseres. Dette og usikkerhet mht. omgivelsenes mulige påvirkning på betongprodukter til utendørs bruk, gjør at det kan bli en utfordring å få EU og nordiske land i de nærmeste årene til å gi aksept for generell bruk av RGR som inneholder miljøgifter i bygningsprodukter.

ArcFume- og Scanwatt-teknologiene produserer et produkt som er tenkt benyttet til veifyllinger og lignende. Da begge prosesser medfører en form for glassifisering av deler av RGR, og en dessuten fraseparerer det meste av bl.a. tungmetaller og klorider i inngående RGR, er det sannsynlig at gjenværende forurensninger blir bundet så godt i glass/slagg-produktet at det er liten eller eventuelt ingen risiko for utlekking og dermed utslipp til grunn etc. Imidlertid må en også her forvente at det er meget tidkrevende å få frem nødvendig dokumentasjon og eventuelt oppnå myndighetsgodkjenning, samt i tillegg å få markedets aksept for produkter basert på en råvare som defineres som farlig avfall. Fra sluttrapporten for prosjektet "*Metallurgisk behandling av flygaska från avfallsförbränning*", som er gjennomført i regi av innovasjonsprogrammet Re:Source i Sverige, uttales følgende om mulighetene for bruk av slaggen fra ArcFume-prosessen, ref. /30/:

*Mineralprodukten är dock en större utmaning då den i det här specifika fallet inte har en etablerad marknad. Under projektets gång har detta identifierats som en av de största utmaningarna att hantera, både det rent praktiska problemet och branschens och myndigheters förutfattade inställning till frågan. Därför förtjänar denna fråga extra uppmärksamhet." "En käpp i hjulet för alla metallurgiskt framställda material är Naturvårdsverkets Handbok – Användning av avfall i anläggningsarbeten."*

Selve smelteprosessene må i tillegg suppleres med ett eller flere vasketrinn og i tillegg omfattende vannbehandling i flere trinn. Dette medfører at slike behandlingsprosesser får høye behandlingskostnader.

Om behandlingsmetodene er beregnet på å benyttes ved det enkelte forbrenningsanlegget eller i ett eller flere sentraliserte anlegg, vil ha betydning for transportkostnadene, da lokale anlegg medfører vesentlig mindre transport, og derved mindre miljøavtrykk. Imidlertid vil sentraliserte anlegg ha betydelige stordriftsfordeler. Større anlegg har også på en helt annen måte enn mindre lokale anlegg muligheter til å sikre nødvendig kompetanse og tilstrekkelige oppfølgingsressurser, noe som vil være en betingelse for optimal drift av omfattende og til dels komplekse behandlingsprosesser.

Vi har derfor kommet til at vi ikke vektlagt om behandlingsløsningene er lokale eller sentraliserte når vi har sammenlignet de enkelte behandlingsløsningene. Et unntak er der behandlingsanleggene ligger svært langt unna hovedtyngden av aktuelle leverandører av RGR, noe som primært er tilfellet for tyske saltgruver, Terrateams anlegg i Mo og dels det planlagte anlegget i Raudsand. For øvrig kan en neppe

påregne eksporttillatelse til Tyskland for RGR fra Norge når det foreligger gode nasjonale behandlingsløsninger, så fremt RGR ikke går til gjenvinning. I denne sammenheng kan det nevnes at eksport til Sverige for å legges på deponi i f.eks. Högbyporp i dag heller ikke er et realistisk alternativ.

Vi har som nevnt gjennomført en samlet vurdering av de enkelte behandlingsløsningene, og oppsummert disse i Tabell 2.1. En beskrivelse av hvordan en har vektet de enkelte metodene er vist i kapittel 5.

De enkelte metodene som er vurdert, er beskrevet, vurdert og sammenlignet ut fra følgende kriterier:

- Utviklingsstadium
- Miljøavtrykk, inkludert energiforbruk samt gjenbruk av kjemikalier som syrer
- Kostnadsnivå
- Andel av RGR som går til gjenvinning.

Vi har valgt å ikke vekte de enkelte kriteriene forskjellig når vi gitt en samlet poengsum for de ulike behandlingsmetodene, selv om det kan argumenteres for at en burde ha gjort det.

Tabell 2.1: Samlet vurdering av behandlingsmetodene

Metode	Utviklingsstadium	Miljøavtrykk	Økonomi	Gjenvinning/produkter	Samlet
Fluwa/Flurec	6 <sup>3</sup>	5	1	3	15
Halosep <sup>4</sup>	5	5	3	3	16
OiW/Norsep	2	5	3	3 <sup>5</sup>	13
Carbon8/ATC	3 <sup>6</sup>	0	6	9	18
Ash2salt	3	1	3	3	10
ArcFume	1	4	1	3	9
Tyske saltgruver	9	2	3	2	16
NOAH	9	6	7	1	23
Terrateam	7 <sup>7</sup>	2	4	0	13
Raudsand <sup>8</sup>	3 <sup>9</sup>	4 <sup>10</sup>	3	3	13

<sup>3</sup> Gjelder Flurec

<sup>4</sup> Forutsatt behandling ved det enkelte avfallsforbrenningsanlegg

<sup>5</sup> Forutsatt gjenvinning av både sink og salter

<sup>6</sup> Korrigerert, pga. at aktuell bruk av RGR krever omfattende prosess før det evt. ville blitt godkjent i Norden

<sup>7</sup> Korrigerert pga. usikkerhet omkring varslede krav bunn- og sidetetting

<sup>8</sup> Forutsatt bruk av Halosep behandlingsteknologi

<sup>9</sup> Vanskelig å vurdere; Halosep er vurdert til 5, men det er en del usikkerhet knyttet til bruk på Raudsand

<sup>10</sup> Uavklart mht. opprinnelse til syrer i prosessene



Ut fra vurderingene ovenfor har vi kommet frem til følgende hovedkonklusjoner:

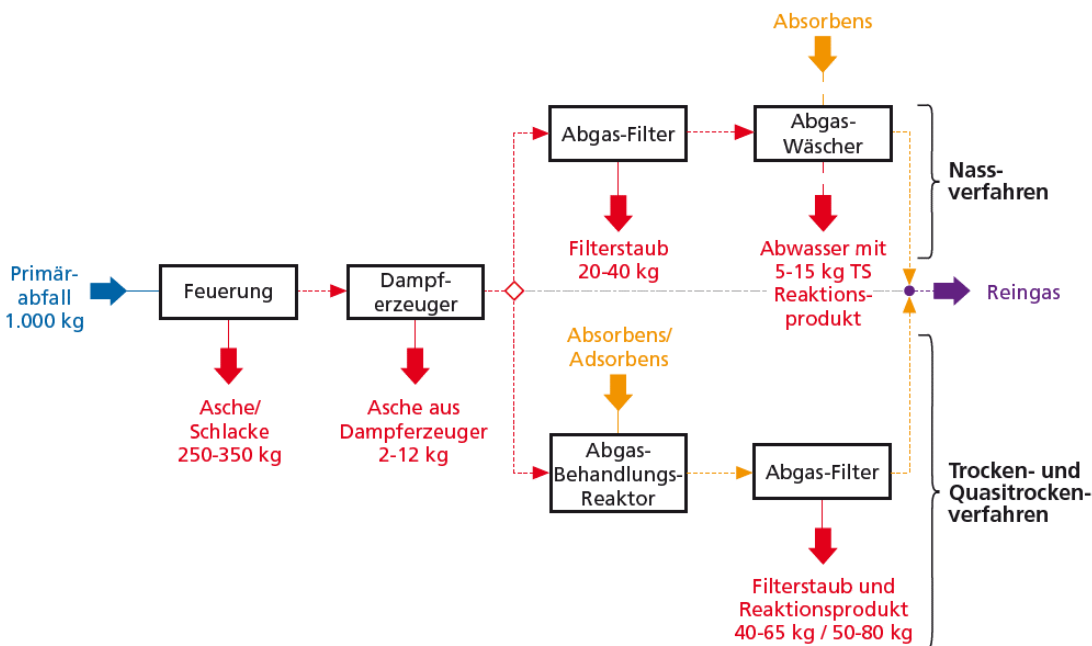
- I Norge vil kun NOAH Langøya og Terrateam i Mo være tilgjengelig som behandlingsløsninger de nærmeste årene
- Det er knyttet noe usikkerhet til drift ved Terrateams deponi i Mofjellet etter 1. juni 2020 pga. mulig krav om bunn- og sidetetting iht. avfallsforskriftens kapittel 9
- Selv om flere aktører har arbeidet i mange år med teknologier for produkttekstraksjon, har kun én teknologi med produkttekstraksjon kommet i kommersiell drift, dvs. den sveitsiske FLUWA/FLUREC-prosessen, der behandlingskostnadene er svært høye. Realiseringen av denne behandlingsløsningen har kun vært mulig pga. at Sveits, som det eneste landet i Europa, har lovpålagt produkttekstraksjon
- Det vil ta mange år for eventuelt å realisere alternative sentraliserte behandlingsløsninger i Norge
- Rent teknisk vil det sannsynligvis være mulig å etablere lokale behandlingsløsninger ved de fleste avfallsforbrenningsanleggene i løpet av noen år. Dette vil imidlertid være relativt kostbare og komplekse anlegg og innebærer bruk av til dels omfattende og for det enkelte anlegg komplekse teknologier. Dette vil kreve høy kompetanse og tilstrekkelige bemanningsressurser for sikre forsvarlig drift og sikre at en tilfredsstillende miljøkrav og dessuten oppnår tilfredsstillende produktkvalitet
- For løsninger med produkttekstraksjon knytter det seg stor usikkerhet pga. tidkrevende prosesser med dokumentasjon, godkjenning og markedsaksept
- Inntil en eventuelt har dokumentert produktkvaliteten og sikret avsetning for saltprodukter, bør behandlingsanlegg med saltekstraksjon helst ligge ved en saltvannsresipient. Det er neppe aktuelt å bygge opp langtidslager for saltprodukter inntil markedet er klar for å ta imot disse
- Metaller som gjenvinnes fra RGR har pr. i dag begrenset inntekspotensiale, og i noen tilfeller er det usikkerhet mht. om kvaliteten på produsert metallkonsentrat er god nok
- Bruk av ikke-glassifisert RGR i byggevarer og til oppfylling vil neppe være mulig i Norden (og i EU generelt) de nærmeste årene

### 3 GRUNNLAGSDATA

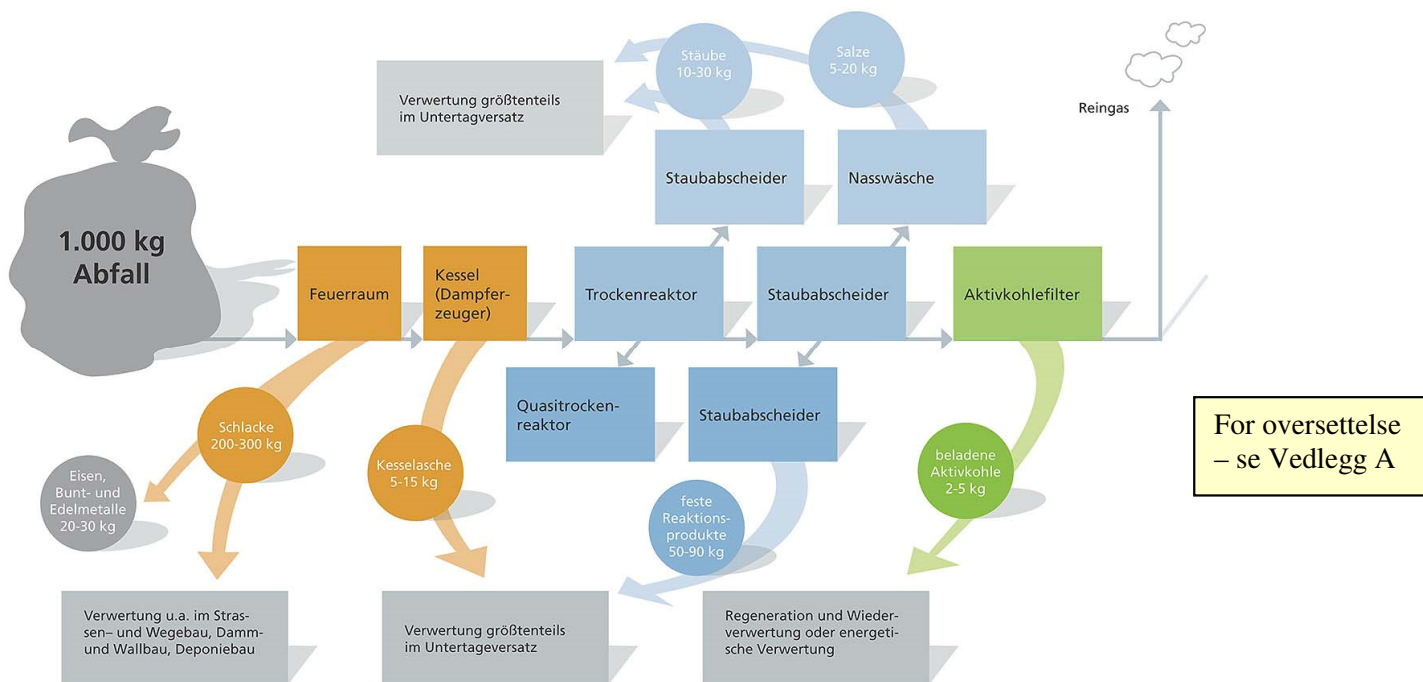
#### 3.1 Flytskjema/massebalanse RGR

Som noe av grunnlaget for vurdering av kostnader for ulike behandlingsløsninger, har vi sett på massebalansen ved bruk av ulike gassrenseteknologier. I denne sammenheng har vi bl.a. tatt utgangspunkt i ref. /1/ og ref. /2/, og fra disse har vi gjengitt Figur 3.1 og Figur 3.2. Publikasjonen er en tysk kilde, og på grunn av annen sammensetning av avfallet er det rimelig å forvente noe større mengder RGR ved tyske enn norske anlegg. Vi har også sett på mengden RGR ved et par norske anlegg, for sammenligningens skyld. I 2016 hadde en ved Sarpsborg Avfallsenergi ca. 5.600 tonn "farlig avfall" fra forbrenning av ca. 76.000 tonn avfall, ref. /3/. Mengden RGR tilsvarer i overkant av 7 vekt-%. Et annet eksempel er Returkraft, som har et våtkjemisk gassreanseanlegg. Der utgjorde mengde "farlig avfall" i 2014 ca. 4.700 tonn av en inngående avfallsmengde på ca. 142.000 tonn, ref. /4/. Dette tilsvarer ca. 3,3 vekt-% av avfallsmengden. Ut fra Figur 3.1 og tilsvarende tall for norske anlegg mener vi det er rimelig å forvente i overkant av 6 vekt-% (TS) RGR fra avfallsforbrenningsanlegg med semitørre/tørkjemiske gassreanseanlegg og ca. 5 vekt-% (TS) fra våtkjemiske gassreanseanlegg. Som veid middel for mengde RGR fra norske anlegg har vi lagt til grunn følgende tall:

- Våtkjemisk gassrensing: 50 kg/tonn avfall
- Semitørr/tørr gassrensing: 65 kg/tonn avfall.



Figur 3.1: Produserte mengder RGR ved avfallsforbrenning (Tyskland)



For oversettelse – se Vedlegg A

Figur 3.2: Produserte mengder RGR ved avfallsforbrenning (Tyskland)

### 3.2 Typisk sammensetning av RGR

Ut fra sammensetningen er det mulig å si noe om hvilke mengder metaller og salter som kan ekstraheres fra RGR samt hvor stor vekt-reduksjon en vil oppnå ved behandling og ekstrahering. I Tabell 3.1 og Tabell 3.2, som er hentet fra to ulike kilder, gir en oversikt over elementsammensetningen for ulike typer RGR.

Tabell 3.1: Typisk sammensetning av RGR (mg/kg TS), ref. /60/

Element	Fly ash	Dry / semi-dry	Wet
Al	49,000-90,000	12,000-83,000	21,000-39,000
As	37-320	18-530	41-210
Ba	330-3100	51-14,000	55-1600
Ca	74,000-130,000	110,000-350,000	87,000-200,000
Cd	50-450	140-300	150-1400
Cl	29,000-210,000	62,000-380,000	17,000-51,000
Cr	140-1100	73-570	80-560
Cu	600-3200	16-1700	440-2400
Fe	12,000-44,000	2600-71,000	20,000-97,000
Hg	0.7-30	0.1-51	2.2-2300
K	22,000-62,000	5900-40,000	810-8600
Mg	11,000-19,000	5100-14,000	19,000-170,000
Mn	800-1900	200-900	5000-12,000
Mo	15-150	9-29	2-44
Na	15,000-57,000	7600-29,000	720-3400
Ni	60-260	19-710	20-310
Pb	5300-26,000	2500-10,000	3300-22,000
S	11,000-45,000	1400-25,000	2700-6000
Sb	260-1100	300-1,100	80-200
Si	95,000-210,000	36,000-120,000	78000
V	29-150	8-62	25-86
Zn	9000-70,000	7000-20,000	8100-53,000

Tabell 3.2: Typisk sammensetning av RGR (TS), ref. /62/

Stof	Enhed	Slagger (1)	Flyveaske (2)	Flyveaskeholdige røggasrensningsp rodukter fra tørre og semitørre processer (2)	Slam fra våd røggasrensning (uden flyveaske) (2)
O	g/kg	-	-	-	-
Si	g/kg	270	160	69	78
Ca	g/kg	71	107	230	150
Fe	g/kg	68	25	12	54
Al	g/kg	50	71	26	28
Na	g/kg	24	31	17	1,9
K	g/kg	12	36	23	3,9
C	g/kg	-	-	-	-
Mg	mg/kg	8500	15000	9400	75000
S	mg/kg	5700	26000	15000	4400
Ti	mg/kg	4600	8700	3300	2600
P	mg/kg	3000	-	-	-
Cu	mg/kg	2800	1200	710	1200
Zn	mg/kg	2300	28000	15000	31000
Cl	mg/kg	2100	74000	180000	36000
Pb	mg/kg	1600	11000	5400	11000
Ba	mg/kg	1400	1700	540	460
Mn	mg/kg	1100	1300	480	9100
Ag	mg/kg	-	55	22	-
As	mg/kg	12	130	170	89
B	mg/kg	-	-	-	-
Br	mg/kg	-	-	-	-
Cd	mg/kg	1,4	390	300	630
Co	mg/kg	-	51	9,6	9,8
Cr	mg/kg	330	650	180	240
Cs	mg/kg	-	-	-	-
F	mg/kg	-	-	-	-
Hg	mg/kg	<0,08	8	15	650
I	mg/kg	-	-	-	-
Mo	mg/kg	47	40	15	12
N	mg/kg	480	-	-	-
Ni	mg/kg	230	140	94	62
Sb	mg/kg	-	530	790	140
Se	mg/kg	-	14	8,2	-
Sn	mg/kg	210	1400	890	400
Sr	mg/kg	230	280	460	104
V	mg/kg	67	51	33	47

(1) Hjelmar et al. (1996), gjennomsnitt fra danske forbrændingsanlæg.

(2) Efter IAWG (1997), gjennomsnitt fra en række lande.

### 3.3 Kostnader for deponering av stabilisert RGR

Det er rimelig å anta at kostnadene for å levere stabilisert RGR vil ligge på samme nivå som for bunnaske (slag) fra avfallsforbrenningsanlegg. Vi kjenner til at bunnaske tas imot eller har vært tatt imot ved flere avfallsanlegg i Norge, blant disse er Dal Skog (ØRAS), Esva (Nes), Meldal (Hamos), Svaahaia (Eigersund) og Støleheia (Avfall Sør) og Mjelstad (Bergen). En del priser vi har fremskaffet for deponering av bunnaske i ulike sammenhenger er:

- ØRAS (ikke spesifisert type aske): 500 kr/tonn (2018), ref. /5/
- Langøya: 200 kr/tonn (2010), ref. /6/
- Mjelstad, Bergen: 250 kr/tonn (2010), ref. /6/
- Esva: 100 kr/tonn (2015), ref. /7/.

Prisen for levering til Esva fremkommer i forbindelse med en avisartikkel om ulovlig håndtering av bunnaske.

Fra Sverige og Danmark kjenner vi bl.a. følgende priser:

- Högbytorp/dekkmateriale (2012): 200 SEK/tonn  $\approx$  200 kr/tonn (dagens prisnivå)
- Avedøre holme/"slagge og flyveaske" (2018): 280 DKK/tonn<sup>11</sup>  $\approx$  360 kr/tonn

Forutsatt at en betaler det samme for tilstrekkelig stabilisert og karakterisert RGR som for bunnaske, antar vi at med økte krav til miljø, kvalitetssikring etc., følgende prisnivå bør være realistisk for RGR fritt levert til deponering i ordinært overgrunns-deponi i Norge:

350 kr/tonn.

Priser for deponering i Danmark og Sverige bør også ligge på noenlunde samme nivå, i Sverige muligens noe lavere.

Vi har med denne bakgrunn lagt til grunn en kostnad for leveranse av stabilisert RGR til deponi på 350 kr/tonn når vi har sett på kostnadene langs hele verdikjeden.

---

<sup>11</sup> Etter fradrag av den danske deponeringsavgiften på 475 DKK/tonn

### 3.4 Verdi på produkter for salg

#### Salter

Til salting av veier benyttes i dag primært NaCl, men også MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> blir anvendt. Imidlertid benyttes normalt ikke en blanding av ulike salter. I følge ref. /8/ kan en forvente følgende priser på nevnte salter (omregnet med bakgrunn i valutakurser pr. ultimo mars 2018):

- MgCl<sub>2</sub> x 6H<sub>2</sub>O: ca. 1.400 NOK/tonn (ca. 660 NOK/tonn rent salt)
- CaCl<sub>2</sub> x 2H<sub>2</sub>O: ca. 1.900 NOK/tonn (ca. 1.400 NOK/tonn rent salt)
- NaCl: ca. 650 NOK/tonn.

Vi har også innhentet priser fra andre kilder (konfidensiell informasjon), og disse indikerer at prisene som er nevnt i ref. /8/ ligger noe høyere enn det en kan forvente i praksis. Vi har fått indikert priser som for NaCl vil kunne variere fra under 300 kr/tonn (veisalt) til ca. 800 kr/tonn, for KCl i området ca. 1.300 til ca. 3.000 kr/tonn og CaCl<sub>2</sub> fra ca. 1.000 og over. Prisene vil avhengig betydelig av bruksområder og kvalitet.

For Halosep-prosessen (se avsnitt 4.2) utgjorde salter ekskl. krystallvann i området hhv. ca. 20-25 vekt-% og 51-58-vekt-% av inngående mengde RGR for hhv. våtkjemiske og semitørre gassrensaneanlegg.

For Ash2salt (se avsnitt 4.5), er det forventet at en pr. tonn aske vil produsere 118 kg kalsiumklorid i 36% løsning, 93 kg natriumklorid, 39 kg kaliumklorid samt 5 kg ammoniumsulfat i 40% løsning. Dette virker rimelig ut fra forventet sammensetning av RGR, se avsnitt 3.2.

Ut fra dette er det rimelig å anta at produserte salter som tørrstoff vil utgjøre ca. 200-250 kg pr. tonn RGR (TS-basis). Forutsatt gjennomsnittlig salgspris på i underkant av 1.000 NOK pr. tonn saltprodukter (TS) tilsier det en eventuell salgsinntekt på:

200 NOK/tonn RGR.

Dette er imidlertid betinget av at en oppnår en tilfredsstillende kvalitet på saltproduktene og at en får aksept for disse hos relevante myndighetsorganer (både sentralt og lokalt) samt i markedet. I praksis er det vel rimelig å anta at prisen på salt fra RGR vil ligge noe lavere enn for "jomfruelige" saltprodukter.

#### Sink

Ifølge MEPEX utgjør sink ca. 1,7 % av "flyveaske", ref. /9/. Vi antar at det menes av RGR totalt. To andre kilder refererer verdier for metallinnhold i RGR som vist i Tabell 3.1 og Tabell 3.2. Med bakgrunn i MEPEX-rapporten og de to andre kildene mener vi det er realistisk å anta at sink-innholdet i norsk RGR er:

ca. 2 vekt-% (TS).

Vi har, som vist i avsnitt 3.1, estimert mengden RGR som blir produsert i avfallsforbrenningsanlegg til hhv. ca. 50 og 65 kg pr. tonn inngående avfallsmengde for hhv. våtkjemisk og semitørr/tørr gassrensing. Da et flertall av anleggene har våtkjemisk gassrensing, har vi tatt utgangspunkt i en mengde RGR på:

50 kg/tonn avfall.

Dette tilsier en mengde sink på 1 kg pr. tonn avfall eller:

ca. 20 kg pr. tonn RGR.

I forbindelse med Fluwa/Flurec-teknologien oppgir ref. /15/ at en forventer å gjenvinne 75% av sink i RGR. Hvis vi benytter dette som et utgangspunkt, vil mengden gjenvunnet sink i RGR bli:

ca. 15 kg. pr. tonn RGR.

Markedsprisen på sink de siste årene har vært som vist i Figur 3.3. Forutsatt en pris på 3.000 \$ pr. tonn ( $\approx 23$  kr/kg), tilsier det en salgspris for gjenvunnet sink på:

3-400 NOK pr. tonn RGR.

Imidlertid ligger prisen på sink-konsentrat (regnet som sink) i skrivende stund (ultimo mars 2018) på ca. 3.500 RMB<sup>12</sup> pr. tonn ( $\approx 4,4$  NOK pr. kg), ref. /10/. Forutsatt tilfredsstillende konsentrasjon/kvalitet på konsentratet, tilsier dette en verdi på:

60-70 NOK pr. tonn RGR.

Konsentratet (anslås til ca. 4 kg. pr. tonn RGR) må fraktes til gjenvinning. En mulig avtaker kan f.eks. være Boliden Odda AS. Hvis de kan benytte konsentratet og forutsatt 1/3 sink (TS) av mengden som må fraktes dit enten pr. skip eller med bil og evt. frakt til/fra terminal, er det realistisk å anta en transportkostnad på minst ca. 500 NOK pr. tonn konsentrat, noe som utgjør ca. 20 kr pr. tonn RGR. Med denne bakgrunn kan verdien på gjenvunnet sink med dagens metallpriser ligge på opp mot ca. 40-50 NOK pr. tonn RGR.

De andre metallene i konsentratet kan også tenkes å ha en viss verdi. Imidlertid er det pr. i dag vanskelig å se for seg at en kan utnytte disse på en lønnsom måte.



Figur 3.3: Historiske priser på sink

<sup>12</sup> RMB: Ren Min Bi = Yen (kinesisk valuta)



## **Bly**

Basert på Tabell 3.1 og Tabell 3.2, mener vi det er realistisk å anta at bly-innholdet i RGR er:

ca. 1 vekt-% (TS).

Prisen på bly-konsentrat (regnet som bly) ligger i skrivende stund (primo april 2018) på ca. 1.500 RMB pr. tonn ( $\approx 1,9$  NOK pr. kg), ref. /11/. Forutsatt tilfredsstillende konsentrasjon/kvalitet på konsentratet og at en gjenvinner 75% av blyinnholdet, tilsier dette en verdi på:

ca. 15 NOK pr. tonn RGR.

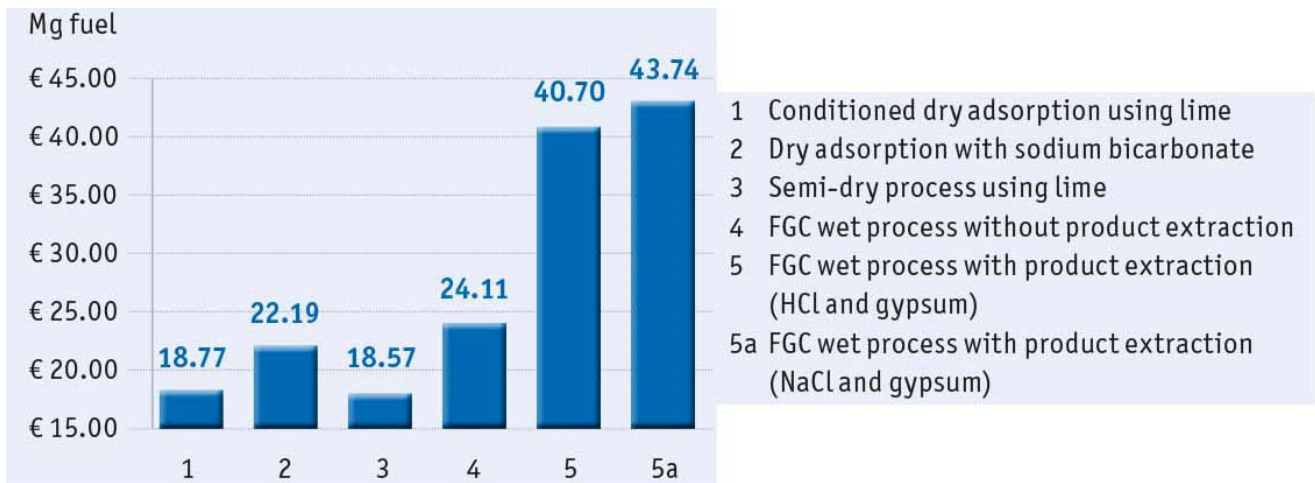
Konsentratet må fraktes til gjenvinning, og forutsatt 1/6 bly (TS) er det påregnelig at transportkostnadene frem til foredlingssted overstiger salgsverdien.

### 3.5 Kostnader for røykgassrensing ved avfallsforbrenning

I det etterfølgende har vi gitt en sammenligning av behandlingstkostnader for ulike typer teknologi som benyttes ved avfallsforbrenningsanlegg med og uten produkt ekstraksjon. Dette gir en indikasjon om hvordan kompleksitet øker kostnadene for ulike behandlingsmetoder. Dette vil også i prinsippet gjelde behandlingsløsninger for RGR.

Typiske spesifikke kostnader for ulike typer røykgassrensing er ifølge ref. /12/ som vist i Figur 3.4. Basert på hhv. 65 og 50 kg RGR pr. tonn avfall og gjeldende kursforhold pr. 27.03.18 tilsier det følgende kostnadstall for røykgassrensing:

- Tørr prosess med fukt-kondisjonering: ca. 2.800 kr/tonn RGR
- Tørr-prosess med natriumbikarbonat: ca. 3.300 kr/tonn RGR
- Semi-tørr med kalk: ca. 2.700 kr/tonn RGR
- Våtkjemisk prosess uten produkt ekstraksjon: ca. 4.600 kr/tonn RGR
- Våtkjemisk prosess med produkt ekstraksjon (HCl og gips): ca. 7.800 kr/tonn RGR
- Våtkjemisk prosess med produkt ekstraksjon (NaCl og gips): ca. 8.400 kr/tonn RGR.



Figur 3.4: Typiske spesifikke kostnader (€/tonn avfall)<sup>13</sup> til røykgassrensing (tyske anlegg)

Dette viser at omfattende våtkjemiske renseprosesser er kostbare, og med bakgrunn i tilleggskostnadene for produkt ekstraksjon er det grunn til å anta at desentraliserte behandlingsteknologier for RGR med ett eller flere vasketrinn av RGR og eventuelt produksjon metall og salgbart salt vil medføre opptil mange 1.000 kr pr. tonn RGR. Eventuelt sentraliserte behandlingsanlegg vil medføre lavere kostnader ved selve prosessanleggene, men til gjengjeld vil en få økte logistikk-kostnader.

<sup>13</sup> Mg fuel = tonn avfall

## 4 BESKRIVELSE OG VURDERING AV BEHANDLINGSLØSNINGER

### 4.1 FLUWA/FLUREC

#### Behandlingsmetodikk

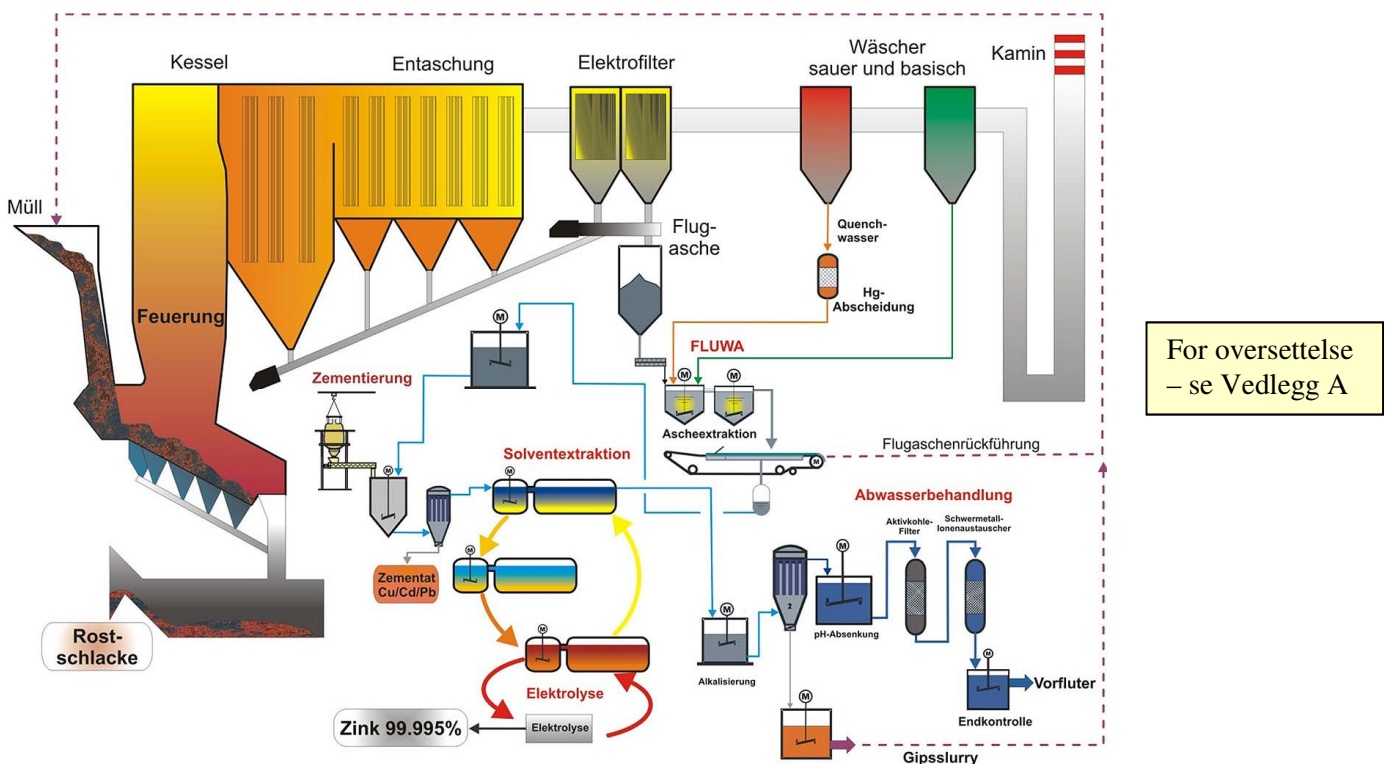
FLUWA-teknologien benytter sur ekstraksjon for å vaske ut forurensinger i RGR. Som ekstraksjonsvæske benyttes væske fra HCl-scrubber i gassrensaneanlegg. Ekstraksjonstrinnene genererer to materialstrømmer; ekstraksjonsvæsken med de ekstraherte forurensningene, og den vaskede filterkaken, ref. /13/.

FLUREC er en forlengelse av FLUWA-prosessen, der en gjenvinner komponenter i RGR. Tungmetaller som kadmium, kobber, bly og sink gjenvinnes fra FLUWA-filtratet. Sink utgjør det største volumet av gjenvinnbart metall i filtratet, og gjenvinnes via flere separasjonstrinn til sink med høy grad av renhet (99,99%).

FLUWA/FLUREC-teknologiene er skjematisk fremstilt i Figur 4.1, ref. /14/.

Ekstraksjonsvæsken fra FLUWA er spesielt rik på sink og bly, og metaller og svovel felles ut ved tilsetning av brent kalk. Etter filtrering fås en metallholdig hydroksidkake, som resirkuleres eksternt i Waelz-ovner til sekundært sink og metallisk bly. Vannet som blir igjen etter andre filtrering, behandles med ionebyttere før det slippes ut. Den faste resten etter det første ekstraksjonstrinnet reduserer konsentrasjonene av tungmetaller, og den løselige fasen kan lagres sammen med bunnasken.

I prosessen benyttes i tillegg til flyveasken og scrubber-væsken også ionebyttere, vann, brent kalk (CaO) for nøytralisering, hydrogenperoksid for oksidasjon av jern, HCl til pH-regulering, natriumhydroksid (NaOH) for pH-justering.



Figur 4.1: Skjematisk oversikt der FLUWA/FLUREC prosess inngår

## Typen RGR som kan behandles

Både Fluwa og Flurec kan i prinsippet behandle alle vanlige RGR fra avfallsforbrenningsanlegg.

## Massebalanse og energiforbruk

Ref. /15/ oppgir følgende massebalanse for RGR som har gjennomgått Fluwa/Flurec-prosessen:

- RGR til deponi for ordinært avfall: ca. 80 vekt-%
- Konsentrat til deponi for farlig avfall: ca. 1,2 vekt-%
- "Depleted resin material": ca. 0,1 vekt-%
- Slam, som føres tilbake i forbrenningsprosessen: ca. 2,4 vekt-%
- Sinkholdig metallprodukt til gjenvinning: ca. 3,1 vekt-%.

Ref. /15/ oppgir for øvrig at en forventer å gjenvinne 75% av sink i RGR. Det innebærer at en vil nyttiggjøre seg ca. 3 vekt-% sink av inngående mengde RGR (som inneholder ca. 4 vekt-% sink). Dette er et noe høyere innhold av sink enn det en kan forvente for nordisk RGR.

Det oppgis at Fluwa/Flurec-prosessen benytter ca. 350 kWh elektrisitet pr. tonn inngående RGR, noe som må vurderes som meget høyt. Til sammenligning nevnes at for et større avfallsforbrenningsanlegg med våtkjemisk gassrensing estimerte Norsk Energi spesifikt forbruk av elektrisitet til totalt 80 kWh pr. tonn avfall, ref. /6/. For øvrig utgjøres energiforbruket primært av drivstoff til transport av behandlet RGR samt produkter til gjenvinning.

Det er noe uklart hva som skjer med klor i RGR. Ulike kilder indikerer dels at den kommer ut som fast stoff og dels følger avløpsvannet. Uansett kan dette skape utfordringer for avhending/bruk av produkter og/eller utslipp til vannresipient, såfremt anlegget ikke ligger ved en saltvannresipient.

## Økonomi

Ut fra prosessenes kompleksitet sammenlignet med andre behandlingsmetoder, estimerer vi at bruk av Fluwa/Flurec-teknologien ved et avfallsforbrenningsanlegg medfører behandlingskostnader for hele verdikjeden på minst:

ca. 3.000 NOK/tonn inngående RGR.

## Modenhet

FLUWA-prosessen har vært i bruk i mange år, og må regnes som veldokumentert. Når det gjelder FLUREC-prosessen og gjenvinning av metaller, virker denne å være mindre utprøvd og således fortsatt ha et utviklingspotensiale. Pr. 2018 finnes 10 anlegg i Sveits, ett anlegg i Tyskland, MSWI Ingolstadt (siden 2010), og ett anlegg i Tsjekkia, MSWI Termizo (siden 1998), med FLUWA teknologi. FLUREC er kun installert på ett anlegg i Sveits. I referansedokumentene til Industri utslippsdirektivet, ref. /16/, IED, er FLUWA beskrevet som Best Available Technique, BAT, for askehåndtering fra avfallsforbrenning.

## Aktører som anvender teknologien

Teknologien bak FLUWA er utviklet av Von Roll Umwelttechnik AG og eies av BSH Umweltservice AG i Sveits, som tidligere var en del av Von Roll. Alle anleggene er planlagt og installert av BSH.

## Miljøavtrykk

Proessen vil for det enkelte forbrenningsanlegg bidra til reduserte mengder RGR, og redusert transportbehov for flyveaske, da prosessen installeres lokalt ved det enkelte forbrenningsanlegget. Det vil likevel være behov for borttransport av utgående RGR samt metallprodukt til gjenvinning.

Som nevnt, har Fluwa/Flurec-prosessen et meget høyt spesifikt elektrisitetsforbruk.

Siden prosessen innebærer gjenvinning av metaller, vil det være et positivt miljøbidrag sammenlignet med deponering eller oppfylling. Påregnelig betydelig forbedrede utlekkingssegenskaper for utgående RGR sammenlignet med ubehandlet RGR vil også være en miljømessig fordel.

Ut fra teknologien som benyttes vurderer vi det slik at selve Fluwa/Flurec-prosessen ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden vil primært komme fra transport av utgående RGR til deponi og eventuelt salgbart produkt til gjenvinning, samt ved produksjon av elektrisk kraft til bruk ved anlegget.

## Robusthet

FLUWA-teknologien er utviklet for å ta hånd om RGR og scrubbervæske, og er egnet for å håndtere disse. FLUWA kan vurderes som en robust teknologi. Før en uten forbehold kan hevde at FLUREC kan vurderes som robust, kreves mer dokumentasjon fra anlegg i drift.

## Fordeler og ulemper

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

### *Fordeler*

- Dokumentert behandlingsløsning med lang erfaring (gjelder kun FLUWA)
- Behandlingsløsningen er tilpasset alle typer RGR
- Benytter avfallssyre
- Gjenbruk av metallressurser (primært sink) i RGR dersom FLUREC benyttes
- Reduserer mengden RGR som må leveres til deponi/oppfylling
- FLUWA er beskrevet som BAT for askehåndtering fra avfallsforbrenning i referansedokumentene til Industri utslippsdirektivet

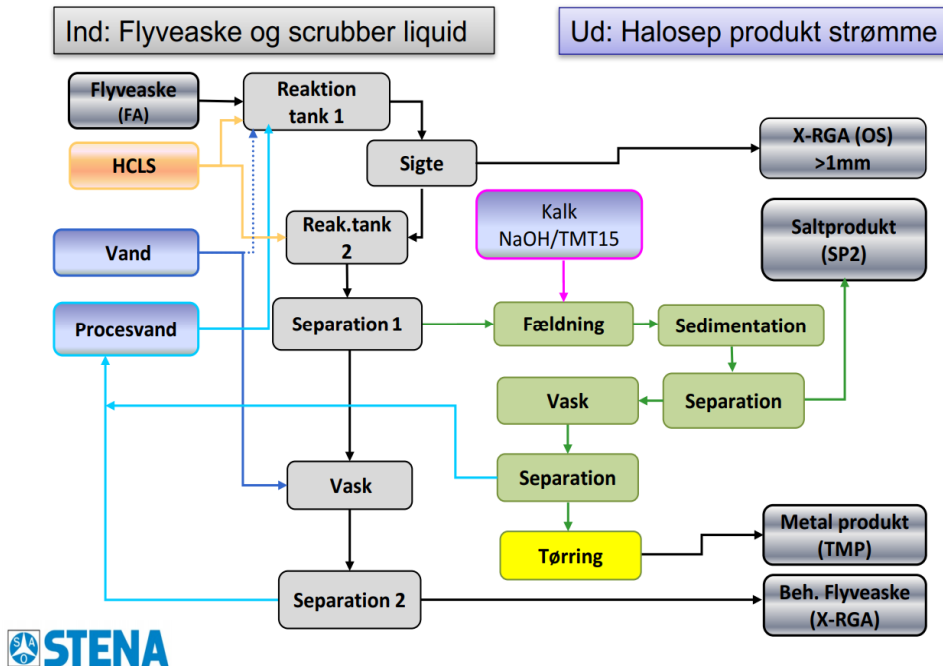
### *Ulemper*

- FLUREC-delen av behandlingsløsningen er kommet kortere i utviklingen enn FLUWA
- Meget høyt energiforbruk
- Usikkerhet mht. hva som skjer med klor i avfallet. Mulig utfordring med salt i utgående RGR og/eller i avløpsvann fra prosessen
- Meget kostbar behandlingsløsning

## 4.2 Halosep

### Behandlingsmetodikk

Halosep er en behandlingsmetode som i prinsippet er ment å kunne benyttes for asker fra bl.a. avfallsforbrenningsanlegg, varmesentraler med fast biobrensel, filterasker fra sekundær metallfremstilling og lignende. Et eksempel på Halosep er vist i Figur 4.2, som illustrerer et pilotanlegg i Brøndby. Der har RGR fra Vestforbrøring og Amagerforbrøring blitt behandlet med denne teknologien. Anleggene har hhv. våt og semitørr gassrensing.



Figur 4.2: Flytskjema for Halosep (pilotanlegg Brøndby)

Det er primært kalkinnholdet som skiller RGR fra anlegg med våtkjemisk og semitørr/tørr røykgassrensing. Kalkinnholdet er vesentlig høyere i RGR fra semitørr anlegg enn fra våtkjemiske gassrensianlegg. Dette innebærer enkelte forskjeller i Halosep-teknologi tilpasset ulike typer RGR.

Fra forbrenningsanlegg med våt røykgassrensing behandles tørr flyveaske med scrubbervæske (direkte fra HCl-scrubberen). En del av komponentene i flyveasken benyttes til nøytralisering av scrubbervæskens, og det dannes samtidig salt (SP), vann og karbondioksid. Saltet renses deretter for tungmetaller ved utfelling og det dannes et tungmetallprodukt (TMP). Den behandlede flyveasken (X-RGA) har sterkt forbedrede utlekkingssegenskaper sammenlignet med inngående RGR. Ved bruk av Halosep-prosessen på et forbrenningsanlegg med våt røykgassrensing dannes det ikke lenger tungmetallholdig slam. TMP-produktet har en annerledes sammensetning med et høyt innhold av sink.

Fra forbrenningsanlegg med semitørr røykgassrensing behandles RGR fra semitørr gassrensing med scrubbervæske (fra HCl-scrubberen på et anlegg med våt røykgassrensing). Både flyveaske og overskuddskalk i RGR benyttes i dette tilfellet til nøytralisering av scrubbervæskens og samtidig dannes det salt (SP), vann og karbondioksid. Det dannes en del mere salt ved behandling av semitørr RGR sammenlignet med behandling av flyveaske og scrubbervæske fra anlegg med våt røykgassrensing. Saltet renses deretter for tungmetaller ved utfelling og det dannes herved et tungmetallprodukt (TMP).

Den behandlede flyveasken (X-RGA) har sterkt forbedrede utlekkingssegenskaper sammenlignet med inngående RGR, men det har vært opplyst at fortsatt er verdiene for enkelte komponenter på et nivå som kvalifiserer til deponi for farlig avfall, ref. /17/. Vi kjenner ikke til om en har klart å optimalisere prosessen slik at en for alle parametere fullt ut tilfredsstillende kravene til utlekkingssegenskaper som for ordinært avfall.

Med bakgrunn i gjennomførte tester vurderes muligheten for å kunne skifte mellom to ulike driftsformer mht. saltproduksjon; hhv. A; Gjenvinning av salt, "høy salt" og B; utslipp av salt (i form av en løsning), "lav salt". Det vurderes at saltprodukt fra Halosep-behandling vil kunne gjenbrukes som veisalt i den grad det finnes avsetning for det. I perioder når det ikke er bruk for veisalt (f.eks. om sommeren), kan man skifte til driftsform B, dvs. fremstilling av en saltløsning, som kan slippes til saltvannsresipient. I følge Stena Recycling AS tilfredsstillende gjenvunnet salt krav i CEN TC337 for salt som skal benyttes til salting av veier.

Selv om en eventuelt i et kommersielt anlegg foredler saltproduktene slik at en formelt tilfredsstillende krav til renhet, er det mulig at opprinnelsen (råvarene) medfører at det kan bli utfordringer med å få innpass for produktene. Et annet forhold er at markedet i utgangspunktet etterspør rene saltprodukter, og til salting av veier benyttes i dag primært NaCl, men også MgCl<sub>2</sub> og CaCl<sub>2</sub> blir anvendt.

### **Typer RGR som kan behandles**

Halosep-prosessen kan i prinsippet håndtere RGR fra alle ordinære gassrensprosesser ved avfallsforbrenningsanlegg. Prosessen må imidlertid tilpasses type gassrenseteknologi som er benyttet for å frembringe RGR. Det er også usikkert om det er praktisk mulig å benytte teknologien for å gjenvinne metaller i RGR fra semitørr gassrensing.

### **Massebalanse og energiforbruk**

Ref. /17/ nevner om Halosep-prosessen at mengden behandlet flyveaske (X-RGA) fra våtkjemisk gassrensing (som TS) ligger i området 60-64 vekt-%. Fra semitørr prosesser blir mengden 45-50 vekt-% av inngående mengde.

Ut fra forsøk gjennomført med Halosep-prosessen utgjør mengden metallholdig filterkake 3-4,3 vekt-% fra våtkjemiske anlegg og ca. 5 vekt-% fra semitørr anlegg. En tar sikte på å skylle og tørke TMP-filterkaker så sinkinnholdet blir så høyt som mulig, dvs. omkring 38-40 %, og i så fall vil det kunne representere en mulig salgssinntekt, ref. /17/. På grunn av et lavere innhold av sink i tungmetallproduktet (TMP) fra Amagerforbrænding oppgis at dette håndteres sammen med X-RGA fra anlegget. Dette betyr muligens noen begrensninger i Halosep-prosessen.

Ved forsøkene ved våtkjemisk anlegg lå mengde salter ekskl. krystallvann på i området ca. 20-25 vekt-% av inngående mengde RGR. For semitørr anlegg lå tilsvarende tall på ca. 51 til ca. 58-vekt-%. Forskjellen skyldes ulik mengde kloridinnhold i RGR fra ulike gassrensprosesser. Det produserte saltet foreligger i en løsning med ca. 20 vekt-salt. 99 % (w/w) av saltproduktet består av de tre saltene NaCl, KCl og CaCl<sub>2</sub>. Mellom 0,5-1 % (w/w) av saltproduktet utgjøres av CaSO<sub>4</sub> og MgSO<sub>4</sub>.

I tillegg til de utgående restproduktene SP, TMP og X-RGA kommer også OS (overstørrelser), som er RGR partikler >1mm. Denne er tenkt ført tilbake i forbrenningsprosessen.

Vi har ikke opplysninger om energiforbruket til Halosep-prosessen, men det utgjøres primært av elektrisk energi i prosessanleggene og drivstoff til transport av utgående RGR-rester samt produkter. Det er videre mulig at det vil bli benyttet termisk energi i forbindelse med produksjon av saltproduktene.

## Økonomi

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at Halosepteknologien anvendt på det enkelte avfallsforbrenningsanlegg medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden (inkludert eventuelle inntekter ved salg av produkter) på:

størrelsesorden 2.500 kr/tonn.

Hvis en til å begynne med ikke får avsatt produserte salter og anlegget ikke ligger ved en saltvanns-resipient, må en transportere saltvann fra anlegget til resipient med tankbil, noe som eventuelt vil medføre en betydelig tilleggskostnad.

Forutsatt etablering av sentralisert behandlingsanlegg basert på Halosep-teknologien, er det påregnelig at selve behandlingskostnaden vil bli redusert betydelig. Imidlertid vil utgiftene til transport av RGR og innsatsfaktorer som syrer øke betydelig. Det innebærer at de totale kostnadene langs hele verdikjeden ikke nødvendigvis blir redusert, men i verste fall kan øke noe.

## Modenhet

Det er gjennomført pilotforsøk med Halosep-teknologien i perioden 2003 til 2007, og videreført i 2011 til 2013. Pilotanlegg ble først etablert ved Amager, men siden flyttet til Stena Metal i Brøndby, der en har gjennomført omfattende tester med RGR fra våtkjemisk og semitørr gassrensing.

Halosep med et anlegg med kapasitet 13.000 tonn/år var planlagt etablert i fullskala demonstrasjonsanlegg i 2016-19 ved Vestforbrænding. Det blir nå opplyst fra ulike kilder at anlegget ikke er klart for drift før utløpet av 2020. Detaljer om dette anlegget er foreløpig ikke kjent.

Som nevnt er det noe usikkerhet omkring utlekkingsgenskaper for utgående RGR. Videre er det sannsynlig at kvaliteten på metallholdig filterkake fra semitørr og tørre gassrensianlegg ikke vil være god nok til å få avsatt denne som sinkkonsentrat. Et usikkerhetsmoment er også knyttet til saltproduktet. Det er påregnelig at det vil ta tid å få omsatt denne (ut fra forventede myndighetskrav og krav til dokumentasjon etc.).

Det er ut fra ovennevnte sannsynlig at Halosep-prosessen vil kunne bli utviklet til en kommersiell teknologi innen 2030, men det kan muligens ligge noen begrensninger i teknologien mht. type RGR som kan håndteres hvis en skal oppnå et salgbart metallprodukt. Det vil være fordelaktig å etablere behandlingsanlegg med denne teknologien ved en saltvannsresipient inntil en får aksept for saltproduktene hos myndigheter og marked.

## Aktører

Halosep prosessen ble utviklet av Watech A/S, som i 2003 ble kjøpt opp av RGS90 og i 2007 solgt til DSV Miljø. Utviklingsaktivitetene i selskapet, inklusive Halosep som hadde vært under utvikling i perioden med eierskifter, ble i 2008 videresolgt til Stena Metall A/S. Det er således Stena Metall A/S som i dag eier det registrerte varemerket Halosep. Stena Recycling i Norge søker å benytte Halosep på evt. anlegg på Raudsand.

## Miljøavtrykk

Prosessen vil for det enkelte forbrenningsanlegg bidra til reduserte mengder RGR, og redusert transportbehov for flyveaske, dersom prosessen installeres lokalt ved det enkelte forbrenningsanlegget. Det vil likevel være behov for borttransport av utgående RGR, salter i løsning eller annen form samt filterkake med tungmetallprodukter. Siden prosessen for enkelte typer RGR muliggjør gjenvinning av sink, vil det være et positivt miljøbidrag, sammenlignet med deponering eller oppfylling. Forbedrede



utlekkingssegenskaper for utgående RGR sammenlignet med ubehandlet RGR vil også være en miljømessig fordel.

Ut fra teknologien som benyttes vurderer vi det slik at selve Halosep-prosessen ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø. Med bakgrunn i den erfaring en har med vannrensing og eventuelt utslipp av saltvann til saltvannsresipient er det påregnelig at dette ikke vil føre til uakseptabel spredning av miljøgifter i saltvannsresipienten.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden vil primært komme fra transport av RGR til deponi, saltvann og eventuelt salgbart produkt til gjenvinning samt ved produksjon av elektrisk kraft til bruk ved anlegget. Det er som nevnt også mulig at det vil bli benyttet termisk energi i forbindelse med produksjon av saltproduktene. Når en ser bort ifra utslipp forbundet med transporten, vil utslippene til luft være moderate.

### **Robusthet**

Det ligger, som tidligere nevnt, muligens noen begrensninger i mulighetene for å oppnå et salgbart metallprodukt fra alle typer RGR, og det er muligens noen utfordringer i mulighetene for å produsere et salgbart salt-produkt.

Utlekking fra utgående RGR er betydelig lavere enn for inngående RGR, men som nevnt har i forbindelse med forsøk verdiene for enkelte komponenter på et nivå som kvalifiserer til deponi for farlig avfall, ref. /17/. Om en har fått optimalisert fullskala-anlegget slik at en oppnår en tilstrekkelig stabilitet for utgående RGR vites ikke, men det er realistisk at en etter hvert vil lykkes med dette.

Det er også, som nevnt, usikkerhet knyttet til anvendelse av produserte salter, og hvis en ikke får omsatt disse, er en avhengig av en saltvannsresipient, hvilket legger en del begrensninger mht. ved hvilke anlegg teknologien kan benyttes ved.

Ut fra dette gjenstår det noe dokumentasjon før en kan hevde at teknologien er tilstrekkelig robust.

### **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

#### *Fordeler*

- Behandlingsløsningen kan i prinsippet tilpasses alle typer RGR
- Behandlingsløsningen benytter avfallssyre, hvis den er tilgjengelig
- Gjenbruk av ressurser i RGR (salt og metaller)
- Betydelig reduksjon av mengden RGR som må leveres til deponi/oppfylling
- Lavt energiforbruk, eventuelt med forbehold om bruk av termisk energi til saltproduksjon.

#### *Ulemper*

- Behandlingsløsningen er ikke dokumentert gjennom fullskaladrift
- Behandlingsløsningen kan kreve bruk av noe innkjøpt syre
- Usikkerhet mht. nyttiggjøring av produsert salt (lang prosess for dokumentasjon/godkjenning)
- Hvis ikke anlegget ligger ved en saltvannsresipient; kan det gi utfordring ved avhending av saltproduktet inntil en eventuelt får aksept for bruk av saltet
- Usikkerhet mht. om metallkonsentrat fra RGR fra semitørr/tørr gassrensing kan utnyttes
- Relativt kostbar behandlingsløsning
- Noe usikkerhet mht. utlekkingssegenskaper for utgående RGR

### 4.3 OiW/Norsep

#### Behandlingsmetodikk

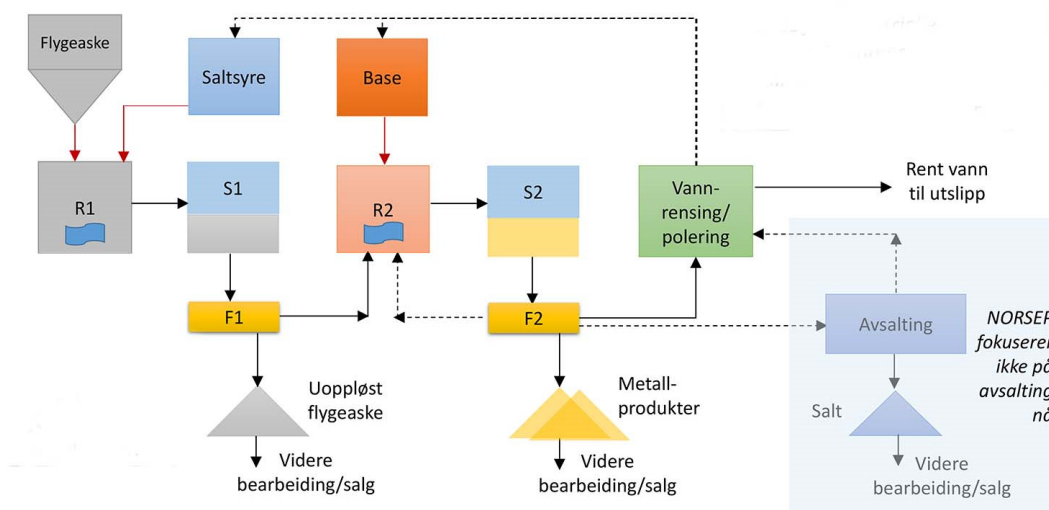
Flytskjema for Norsep-prosessen for behandling av RGR er vist i Figur 4.3, ref. /18/. Prosessen består i hovedsak av tre trinn. RGR blandes først med saltsyre i en reaktor (R1). I denne får en vasket ut det meste av tungmetallene i RGR. RGR-resten blir skilt fra væskefasen i filter/presse. Den kan gå til deponering eller oppfylling eller evt. annen bruk. Fraseparert væske (løsning) går deretter til neste reaktor, der en tilsetter alkaliske kjemikalier. Her er hensikten at metallene i løsningen reagerer til uløselige metallhydroksider, som fjernes i filter/presse. Tanken er å selge den metallholdige filterkaken som dannes som råstoff for metallproduksjon. I denne sammenheng nevnes primært sink. Til slutt går væskefasen til et polerings-/vannrensetrinn, der bl.a. det meste av gjenværende metaller frasepareres.

Kloridene blir i hovedsak værende i løsningen etter poleringstrinnet. Dette innebærer at en er avhengig av enten å føye til et inndampings-/foredlingstrinn for salter eller slippe avløpsvann til saltvannsresipient. OiW har i denne fasen ikke fokusert på avsalting, ref. /18/.

Mht. kjemikalier til prosessen, nevnes saltsyre lokalt fra scrubbere (hvilket er realistisk hvis en bygger desentrale anlegg, i det denne kan komme fra lokalt gassrensaneanlegg) evt. tilsatt "ekstern vraksyre", og at base er ment å komme fra "industrielle avfallsstrømmer", ref. /18/.

Noe av idéen bak Norsep-prosessen er å benytte erfaring med renseteknologi fra olje og gass, der en baserer seg på mekanisk separasjon av tungmetallene fra faststoffene som er igjen etter utvasking med syre. Dette skal skje ved hjelp av massenes fysiske egenskaper, ref. /18/. Vi kjenner ikke til om dette vil fungere i praksis. Imidlertid antar vi at en alternativt kan benytte mer konvensjonelle teknologier.

OiW oppgir at teknologien er tenkt benyttet ved det enkelte forbrenningsanlegg, ref. /18/. Da en vil produsere betydelige mengder salter, kan dette by på utfordringer, både mht. det saltholdige avvannet, men også den meget omfattende prosessen, som dels kommer i tillegg til eksisterende renseteknologi. I denne sammenheng kan nevnes at få avfallsforbrenningsanlegg er beliggende nær en saltvannsresipient.



Figur 4.3: Norsep-prosessen

## Typen RGR som kan behandles

I forbindelse med omtale av Norsep-teknologien viser OiW til at 300.000 tonn flyveaske fra Norden behandles ved NOAHs anlegg på Langøyaref. /18/. Dette er ulike typer RGR. Ut fra dette, samt det faktum at flere ulike typer RGR gjerne blir håndtert sammen, kan vi legge til grunn at Norsep-prosessen kan ta imot alle typer RGR, i det minste fra våtkjemiske gassrensaneanlegg. Om tanken er at de også kan motta RGR fra semitørre/tørkjemiske gassrensaneanlegg er ukjent, men vi antar at prosessen også bør kunne tilpasses denne typen RGR, hvis den fungerer på RGR fra våtkjemiske anlegg.

## Massebalanse og energiforbruk

Halosep-prosessen er på mange måter lik Norsep-prosessen, og vi går derfor ut fra at det skjer en tilsvarende mengdereduksjon i begge prosesser. Da et flertall av aktuelle avfallsforbrenningsanlegg har våtkjemiske rensaneanlegg, antar vi at en oppnår følgende strømmer ut av Norsep-prosessen (tørrstoff):

- RGR til deponering, oppfylling eller andre formål: ca. 60 vekt-% av inngående mengde
- Metallholdig slam: ca. 4 vekt-%
- Salter (ekskl. krystallvann): ca. 30 vekt-% av inngående mengde.

Med utgangspunkt i RGR fra våtkjemiske gassrensaneanlegg inneholder filterkaken fra Halosep-prosessen opp mot 40 vekt-% sink, som eventuelt kan utvinnes, ref. /37/. Det er rimelig å forvente at noe tilsvarende vil være tilfelle for Norsep-prosessen.

Vi har ikke kunnskaper om energiforbruket i Norsep-prosessen, men da intensjonen er å produsere et salgbart salt, er det forventet at en må benytte termisk energi til inndamping. Energiforbruket utgjøres i tillegg av drivstoff til transport av behandlet RGR, samt produkter til eventuell gjenvinning. I tillegg vil det bli benyttet noe elektrisk energi i prosessanleggene.

## Økonomi

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at Norsep-teknologien anvendt på det enkelte avfallsforbrenningsanlegg medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden (inkludert eventuelle inntekter ved salg av produkter) på:

størrelsesorden 2.500 kr/tonn.

Vi har da tatt utgangspunkt i at en har en lokal saltvannsresipient. Hvis en må transportere saltvann fra anlegget til resipient med tankbil, vil dette medføre en betydelig tilleggskostnad.

## Modenhhet

Selskapet Norsep ble etablert i 2015. Selskapet har arbeidet med et konsept basert på at utfelte metaller kan separeres med bakgrunn i partikkelstørrelse. Dette med bakgrunn i teknologi levert til oljeindustri. Imidlertid er det meste av prosessen tilsvarende den som er utviklet av andre kjente teknologier for behandling av RGR, som, f.eks. Halosep og Fluwa/Flurec. Det er gjennomført laboratorietester med RGR fra Haraldrud FA i Oslo, og det er under etablering et testanlegg på Herøya. Hvis pilottester går som planlagt, vurderes å etablere fullskala-anlegg ved Haraldrud forbrenningsanlegg i 2019, ref. /19/.

Mange seriøse aktører har arbeidet i mange år med utvikling av teknologier der de fleste av nødvendige prosesstrinn for Norsep-teknologien inngår. Bortsett ifra Fluwa/Flurec (sistnevnte kun delvis) er ingen av disse ennå helt i mål med å kommersialisere teknologien. Det er påregnelig at også OiW trenger tid for å utvikle Norsep til en generelt anvendbar teknologi, både teknisk og økonomisk. Om selskapet klarer det innen 2030, vil avhenge av en rekke forhold som tid for utvikling av alle prosesstrinn, testresultater, driftserfaring, finansiering, planlegging og bygging av fullskala-anlegg etc.

**Aktører**

Selskapet Norsep, som utvikler og eier rettighetene til Norsep-teknologien, ble etablert på Herøya i Porsgrunn i 2015. De har for tiden et samarbeid med Energigjenvinningsetaten i Oslo kommune om testing av RGR.

**Miljøavtrykk**

Prosessen vil for det enkelte forbrenningsanlegg bidra til reduserte mengder RGR, og redusert transportbehov for flyveaske, da prosessen er tenkt installert lokalt ved det enkelte forbrenningsanlegg. Det vil likevel være behov for borttransport av utgående RGR, salter i løsning eller annen form og filterkake med tungmetallprodukter. Siden prosessen sannsynligvis muliggjør gjenvinning av sink, vil det være et positivt miljøbidrag sammenlignet med deponering eller oppfylling. Påregnelig forbedrede utlekkingssegenskaper for utgående RGR sammenlignet med ubehandlet RGR vil også være en miljømessig fordel.

Ut fra teknologien som benyttes vurderer vi det slik at selve Norsep-prosessen ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø. Med bakgrunn i den erfaring en har med vannrensing og utslipp av saltvann til saltvannsresipient er det påregnelig at utslipp av saltvann ikke vil føre til uakseptabel spredning av miljøgifter i saltvannsresipienten, som må benyttes, inntil en etter hvert får innpass benyttet saltprodukt i kommersiell sammenheng.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden vil primært komme fra transport av RGR til deponi, saltvann og eventuelt salgbart produkt til gjenvinning, samt ved produksjon av elektrisk kraft til bruk ved anlegget. Når en ser bort ifra utslipp forbundet med transporten, vil utslippene til luft være moderate.

**Robusthet**

Det gjenstår å dokumentere at dette er en tilstrekkelig robust teknologi, selv om det er mulig at den vil kunne utvikles til å bli det. En viss usikkerhet er knyttet til om mekanisk separasjon av tungmetallene fra faststoffene vil fungere for RGR. Videre er det en viss usikkerhet mht. kvaliteten på metallprodukt, produsert salt, samt egenskapene til utgående RGR.

**Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

*Fordeler*

- Benytter avfallssyre og baser fra industri (avfall), hvis den er tilgjengelig
- Gjenbruk av ressurser i RGR (metaller og evt. etter hvert salt)
- Reduksjon av mengden RGR som må leveres til deponi/oppfylling

*Ulemper*

- Behandlingsløsningen er kommet kort i utviklingsstadiet
- Usikkerhet mht. tilgang på avfallssyre og base fra industriell virksomhet
- Planlagt fullskalaanlegg ligger ikke ved saltvannsresipient; det kan til å begynne med gi utfordringer ved avhending av produsert salt
- Usikkerhet mht. nyttiggjøring av produsert salt (lang prosess for dokumentasjon/godkjenning)
- Relativt kostbar behandlingsløsning

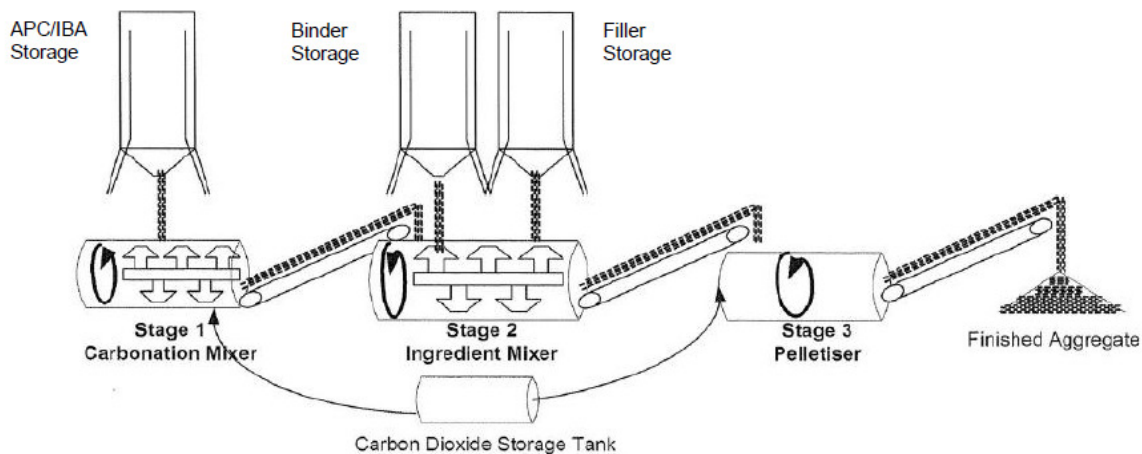
## 4.4 Carbon8/ATC

### Behandlingsmetodikk

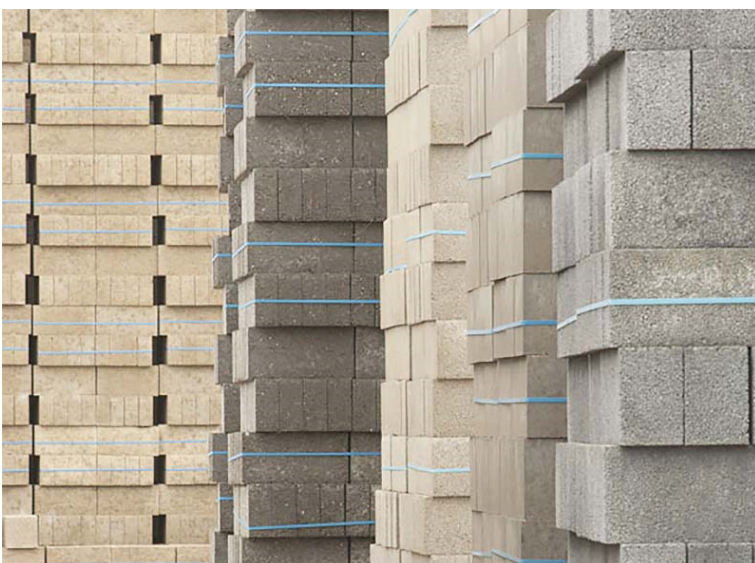
Et flytskjema for Carbon8-teknologien er vist i Figur 4.4. Prosessen består av tre hovedtrinn. I trinn 1 tilføres aske som blandes med tilsatt CO<sub>2</sub> fra "avfallsstrømmer", og det skjer en karbonatisering. CO<sub>2</sub> bindes som stabile karbonater, og ved dannelsen av disse stabiliseres og innkapsles forurensinger, pH reduseres og tungmetaller bindes. I trinn 2 blandes det karbonatiserte produktet med bindemiddel og fyllstoffer, og etter pelletering i trinn 3 har man ønsket form på det aggregerte produktet ("klinker"), som intensjonen er å benytte i ulike konstruksjonsmaterialer. Prosessen kalles Accelerated Carbonation Technology, ACT.

Carbon8 produserer bl.a. Leca-lignende bygningsblokker og et betongprodukt, ref. /20/. Vi viser her til Figur 4.5.

Pr. i dag benyttes innkjøpt CO<sub>2</sub> fra gjødsel- eller bioetanol-produksjon. Hvilket bindemiddel som benyttes er ikke kjent, men vi tar det for gitt at dette er sement (med vann).



Figur 4.4 Sjematisk oversikt over Carbon8 sin ATC prosess, ref. /20/



Figur 4.5: Leca-lignende bygningsblokker produsert av Carbon8

### **Typer RGR som kan behandles**

Fra søknadspapirene for utslippstillatelse for et planlagt anlegg i Leeds, ref. /21/, oppgis et vidt spekter av avfallskoder som er dekkende for alle typer RGR, samt også bunnaske. Ut fra dette og annen tilgjengelig informasjon kan en legge til grunn at prosessen er ment å kunne benyttes på alle ordinære typer RGR fra avfallsforbrenningsanlegg.

### **Massebalanse og energiforbruk**

Det er referert at inngående RGR utgjør mer enn 50% av ferdigproduktet, ref. /22/. Ut fra dette antar vi at det skjer anslagsvis en dobling av inngående mengde RGR i ferdigproduktet (forutsatt kun RGR som råvare).

Ref. /22/ oppgir at en benytter 14 kg CO<sub>2</sub> pr. tonn ferdigprodukt, noe som tilsvarer anslagsvis 25-30 kg/tonn RGR.

En kilde oppgir at det ved sementstabilisering er vanlig å benytte RGR, sement og vann i forholdet 2:1:1, ref. /23/. Vi antar med bakgrunn i dette og andel RGR av ferdigprodukt at en benytter anslagsvis 250 kg sement pr. tonn RGR.

Vi har ikke kunnskaper om energiforbruket i ATP-prosessen, men dette er lavt i selve prosessen (elektrisk energi til maskiner etc.), da det ikke er behov for termisk energi her. Energiforbruket utgjøres i tillegg av drivstoff til transport av behandlet RGR samt produkter.

### **Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at ATC-teknologien anvendt på det enkelte avfallsforbrenningsanlegg medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden (eksklusive eventuelle inntekter ved salg av produkter) på:

størrelsesorden 1.500 NOK/tonn.

Hvilke inntekter som bygningsblokkene Carbon8 produserer vil gi, er usikkert. Det er sannsynlig at kundene ikke er villige til å betale like mye for disse som de produktene de erstatter. Det er imidlertid påregnelig at inntektene medfører at netto behandlingskostnad blir lavere enn de ca. 1.500 NOK/tonn vi estimerer som kostnadene knyttet til behandlingsløsningen.

### **Modenhet**

Det ligger til grunn et langt utviklingsarbeid bak teknologien. Carbon8 har bygget flere anlegg der ACT benyttes, blant annet et anlegg i Brandon med en kapasitet på 30.000 tonn RGR og et anlegg i Avonmouth med en kapasitet på 100.000 tonn ferdigprodukt (tilsvarende anslagvis ca. 50.000 tonn RGR). Carbon8 oppgir at de planlegger ytterligere to anlegg innen 2020.

I UK har myndighetene akseptert at en benytter produktene, som altså inneholder salter, tungmetaller og andre mikroforurensninger fra RGR. Det er imidlertid sannsynlig at det vil være langt frem for å få frem tilstrekkelig dokumentasjon og eventuelt få tilsvarende myndighetsgodkjenninger i nordisk sammenheng. I Norden er det usikkert om denne teknologien eventuelt ville ha blitt akseptert som behandlingsmetode for RGR i perioden frem til 2030.

### **Aktører**

Accelerated Carbonation Technology (ACT) var først utviklet av forskere ved UCL og Universitetet i Greenwich. Direktøren for Centre for Contaminated Land Remediation ved Universitetet i Greenwich var ansvarlig for patentering av ACT, og ble direktør for selskapet Carbon8 Systems Ltd. som ble etablert i 2006. Carbon8 Aggregates Ltd. ble etablert i 2010, med investeringer fra Grundon Waste Management for kommersialisering av ACT.

### **Miljøavtrykk**

Ferdigproduktet som dannes, binder ifølge ref. /24/ mer CO<sub>2</sub> enn det som oppstår fra energibruk under transport og i selve prosessen, og sies derfor å være karbon negativt. Det at RGR gjennomgår både karbonatisering og sementfiksering, tilsier at det kan være mulig å oppnå et relativt stabilt produkt. Utførte utlekkings tester på ferdigproduktet tilsier angivelig at en tilfredsstillende gitte krav, se bl.a. ref. /25/. Imidlertid blir ikke RGR vasket, og det innebærer at salter, tungmetaller og andre mikroforurensninger blir en del av ferdigproduktet. Det er derfor usikkert hva som skjer når bygningskonstruksjon med ACT-produktene i fremtiden destrueres og hvordan avfallet da skal klassifiseres. Hvorvidt betongprodukter til eventuell utvendig bruk, som utsettes for vær og vind avgir tungmetaller, salter og eventuelt andre komponenter mens det er konstruksjonsmateriale, har vi ikke dokumentasjon på. Selv om britiske myndigheter har akseptert at det er akseptabelt å benytte produktene i bygningskonstruksjoner, er det ikke gitt at virksomheter i de nordiske landene får samme aksept, og det vil med stor sannsynlighet være en lang vei å gå før det eventuelt blir aksept for denne teknologien i Norden.

Ut fra teknologien som benyttes vurderer vi det slik at selve ATC-prosessen ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø. Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden vil primært komme fra transport av RGR til anlegget, samt ved produksjon av elektrisk kraft til bruk ved anlegget. Energiforbruket i selve prosessen er lavt, da det ikke inngår noen termiske prosesser.

### **Robusthet**

Dette er en kommersielt tilgjengelig teknologi som i prinsippet er beregnet for alle ordinære typer RGR, og som en etter hvert har fått betydelig driftserfaring med, og vi tar det for gitt at det gjennomføres periodisk testing og oppfølging med av mottatt RGR og ferdigprodukter. Ut fra dette må behandlingsløsningen i utgangspunktet vurderes som robust. Det er imidlertid som nevnt stor usikkerhet knyttet til hva som skjer med bygningmaterialene etter bruk. Sett med "norske øyne" er det tvilsomt om denne teknologien kan vurderes som robust.

### **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

#### *Fordeler*

- Dokumentert behandlingsløsning
- Behandlingsløsningen kan i prinsippet tilpasses alle typer RGR
- Behandlingsløsningen kan i prinsippet binde utslipp av CO<sub>2</sub> fra produksjonsprosesser ved eventuell CO<sub>2</sub>-fangst eller lokalisering av anlegg i tilknytning til virksomheter som har et CO<sub>2</sub>-utslipp
- Forholdsvis rimelig behandlingsløsning
- Lavt energiforbruk

#### *Ulemper*

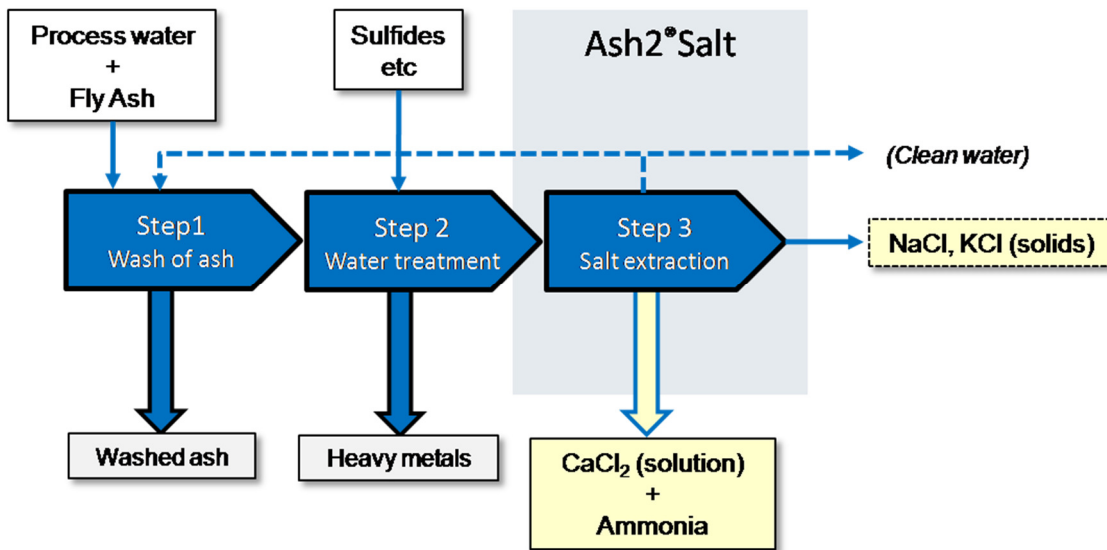
- Krever bruk av innkjøpt CO<sub>2</sub>, inntil en får på plass bruk av "avfalls-"CO<sub>2</sub>
- Usikkerhet mht. eventuell spredning av miljøgifter som benyttes i produkter (bygningmaterialer)

## 4.5 Ash2salt

### Behandlingsmetodikk

Prosessen består, som vist i Figur 4.6, av følgende hovedprosesstrinn:

- Aske tilsettes prosessvann fra trinn 3 (resirkulering), samt rent vann, for å vaske ut salter
- Avløpsvann fra første trinn tilsettes to typer sulfid mm. for å fjerne tungmetaller
- Kloridholdig avløpsvann fra trinn 2 - inndamping



Figur 4.6: Ash2salt – hovedprosesstrinn, ref. /29/

I forbindelse med et planlagt anlegg i Högbytorp har en tenkt å benytte rensert sigevann fra deponiet samt prosessvann i vaskeprosessen. Vasket aske fra trinn 1 må presses og eventuelt transporteres til deponi eller eventuelt oppfylling. Hvis en kun benytter vann i vaskeprosessen, som en får inntrykk av i den informasjonen som Easymining presenterer (bl.a. ref. /29/), er det en usikkerhet knyttet til utlekkingssegenskapene for den vaskede asken, og om den tilfredsstillende krav som gjør det mulig å deponere den sammen med ordinært avfall. Videre er det høyst usikkert om metallene og en tilstrekkelig stor andel av saltene blir vasket ut av flyveasken hvis en kun benytter vann til vaskingen.

Det visstnok eneste eksempelet på bruk av vann til vasking av RGR i Sverige er for aske og slam fra rensenanlegget ved avfallskraftvarmeverket ved Korstaverket, ref. /26/. Ifølge den samme kilden tilfredsstillende ikke den vaskede asken alle gitte krav til utvasking, og må dermed ha dispensasjon for å legges på deponi sammen med ordinært avfall. Ifølge ref. /27/ blir den vaskede asken klassifisert som "stabiliserat farligt avfall." Asken blir imidlertid lagt på deponi sammen med ordinært avfall, ref. /27/ ved Blåberget deponi i Sundsvall.

Easymining opplyser at det er mulig å benytte den vaskede asken i sement- og betongindustri, ref. /28/. Om dette er mulig i praksis, har en ikke sett dokumentert, og det er høyst usikkert om dette vil bli mulig, med den prosessen som er beskrevet.

Selv om det blir opplyst at en kun skal bruke sigevann og resirkulert prosessvann i vaskeprosessen ved anlegget i Högbytorp, er det mye som tyder på at dette ikke nødvendigvis er tilfelle. Det opplyses i ref. /34/ at en benytter svovelsyre som en innsatsfaktor, selv om det ikke blir gitt noen opplysninger om hvor



i prosessen denne blir tilsatt. Det er imidlertid ikke usannsynlig at den blir benyttet i trinn 1 i vaskeprosessen. Ut fra den kunnskapen en har om Ash2salt-prosessen, er det mye som tyder på en er avhengig av bruk av syre for å få et restprodukt som kan deponeres i deponier for ikke-farlig avfall. Mht. hvilke øvrige kjemikalier som benyttes prosessen, er dette bare delvis kjent. I ref. /34/ oppgis med henvisning til andre prosesser med vasking av aske med vann at en kan benytte NaHS, FeCl<sub>3</sub>, polyakrylamid samt NaOH. Imidlertid kan det i den aktuelle prosessen være dels andre kjemikalier i bruk.

Pga. av ikke pH-nøytral væske fra vaskeprosessene, innholdet av partikulært samt tungmetaller, noe en ikke ønsker å ende opp med i saltet som produseres, må væsken fra trinn 1 gjennomgå vannbehandling bestående av i hovedsak følgende trinn:

- Felling
- Flokkulering
- Nøytralisering
- Filtrering/pressing.

Etter filtrering/pressing sitter en igjen med en metallholdig filterkake, som i prinsippet kan selges for videreforedling.

Etter trinn 2 sitter en igjen med en saltløsning som inneholder flere typer salter, primært CaCl<sub>2</sub>, NaCl og KCl og dessuten (NH<sub>4</sub>)SO<sub>2</sub>. For å kunne nyttiggjøre seg disse, gjennomgår saltløsningen en foredling, og det forventes 118 kg kalsiumklorid i 36% løsning, 93 kg natriumklorid, 39 kg kaliumklorid samt 5 kg ammoniumsulfat i 40% løsning, ref. /34/. Vi har ikke detaljkunnskaper om hvilke delprosesser som benyttes i denne sammenheng, men det refereres kun til inndamping i den litteraturen vi har fått tilgang til. Det er imidlertid påregnelig at en må gjennom flere delprosesser for å separere nevnte produkter.

Om produktene kan benyttes til salting av veier (NaCl, og eventuelt også andre klorider), kloralkalie-industri (NaCl), gjødsel (KCl og ammoniumsulfat) er usikkert. Selv om en eventuelt klarer å foredle produktene slik at en formelt tilfredsstiller gitte krav til renhet, er det mulig at opprinnelsen (råvarene) medfører at det kan bli utfordringer med å oppnå kommersiell utnyttelse av produktene.

### **Typen RGR som kan behandles**

I forsøksanlegget som er bygget ved Renova-anlegget i Gøteborg har en etter det vi forstår kun gjennomført forsøk med flyveaske. Det er sannsynlig at en planlegger å behandle i prinsippet både flyveaske og restprodukter fra våtkjemiske gassrensaneanlegg (filterkaker), da en ellers kun vil kunne motta en begrenset del av RGR som blir produsert. Ved eventuelt kun å ta imot enkelte fraksjoner vil det kunne medføre utfordringer mht. prosess og/eller logistikk, noe som i verste fall vil medføre at en ekskluderer seg fra en betydelig del av det mulige markedet. Om en kan motta RGR fra semitørr eller tørrkjemisk gassrensing er imidlertid usikkert, men det er sannsynlig.

### **Massebalanse og energiforbruk**

Det blir opplyst at den totale mengden restprodukter som legges på deponi utgjør 85 vekt-% av inngående askemengde. En må gå ut fra at dette er på tørrstoffbasis. Vi har ikke opplysninger om vanninnholdet i asken som deponeres.

Som nevnt, er det forventet at en pr. tonn aske vil produsere 118 kg kalsiumklorid i 36% løsning, 93 kg natriumklorid, 39 kg kaliumklorid samt 5 kg ammoniumsulfat i 40% løsning. Dette virker rimelig ut fra forventet sammensetning av RGR, se avsnitt 3.2. Det antas dermed at produserte salter som tørrstoff vil utgjøre ca. 200 kg pr. tonn RGR (TS-basis).

Som innsatsfaktorer benyttes ifølge ref. /34/ sivevann og resirkulert prosessvann, samt bl.a. fellings- og flokkuleringsmidler, svovelsyre og NaOH. En har ikke fått tallfestet bruken av disse.

Utover transport til anlegget og internttransport er det behov for energi til inndampingsprosessen, som er relativt energikrevende. En har heller ikke noen tall for dette.

### **Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at Ash2salt-teknologien anvendt på det enkelte avfallsforbrenningsanlegg medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden (inkludert eventuelle inntekter ved salg av produkter) på:

størrelsesorden 2.500 NOK/tonn.

### **Modenhet**

Pr. i dag har en etter det vi har funnet ut kun gjennomført forsøk ved Renova-anlegget i Gøteborg. Selv om RagnSells/Easymining "holder kortene tett til brystet", fremkommer det opplysninger som indikerer at teknologien ikke er ferdig utviklet. Selskapet sier imidlertid "at de har kommet langt i planleggingen av et fullskala-anlegg i Högbyporp i Sverige" uten at vi har sett dette dokumentert, ref. /29/. En må anta at det vil ta en del tid før en eventuelt har fått kommersiell avsetning for saltproduktene. Det er rimelig å anta at det vil ta flere år før det planlagte anlegget i Högbyporp eventuelt har normal drift og en har sikret avsetning fra produktene fra prosessen.

Det er også betydelig usikkerhet omkring stabilitet til utgående RGR, og hvor stor andel av tilgjengelige ressurser som kan nyttiggjøres ved gjenvinning av metaller og salter hvis en kun benytter vann i vaskeprosessene.

Det er derfor nødvendig med dokumentasjon utover den som har vært tilgjengelig før en kan hevde at teknologien vil bli kommersielt tilgjengelig de nærmeste årene.

### **Aktører**

Ash2salt er én av flere teknologier som markedsføres av det svenske selskapet Easymining. Dette er igjen et datterselskap av RagnSells.

### **Miljøavtrykk**

Ut fra påregnelige delprosesser og de kravene som en vil måtte tilfredsstillere, er det grunn til å forutsette at deponering av behandlet aske ikke vil føre til skade på mennesker eller miljø pga. spredning av miljøgifter fra sivevann eller på annen måte, og at prosessen i seg selv normalt ikke vil gi noe negativt miljøavtrykk. Et forbehold er imidlertid stabilitetene for restproduktene hvis en kun benytter vann til vasking av RGR. Miljøavtrykket fra prosessen er primært knyttet til innsatsfaktorer som kjemikalier som eventuelt svovelsyre og energi til inndampingsprosessen. På grunn av inndampingsprosessen for salter vil en få et relativt høyt energiforbruk.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden fra avfallsforbrenningsanlegg til behandlingsanlegget vil primært komme fra transport til anlegget. Högbyporp innebærer kort transportavstand fra en rekke avfallsforbrenningsanlegg fra Sør-Sverige. Högbyporp ligger noen mil vest for Stockholm, ikke langt unna Mälaren, og det er dermed sannsynlig at RGR fra hele Sør-Sverige og Norge eventuelt må transporteres med bil helt frem til anlegget. Eventuell leveranse fra Danmark vil nok også skje med bil, da eventuell båttransport ville bli relativt lite optimal logistikkmessig.

**Robusthet**

En har kun demonstrert teknologien i et forsøksanlegg, og det er knyttet betydelig usikkerhet til hvilke prosessstrinn som inngår, samt stabiliteten til behandlet RGR og kvaliteten på produktene. Videre er det usikkerhet mht. om en kun vil benytte vann til vaskeprosessen og hvordan en har tenkt å håndtere saltproduktene hvis en ikke får benyttet disse til kommersielle formål. Det er derfor vanskelig å si noe sikkert om robustheten til denne behandlingsmetoden. Hvis prosessen blir tilstrekkelig omfattende mht. vaskeprosess og foredling av saltproduktene, er det sannsynlig at en på sikt kan ende opp med en robust teknologi. Dette kan imidlertid innebære at behandlingskostnadene blir høye.

**Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

*Fordeler*

- Behandlingsløsningen kan sannsynligvis tilpasses alle typer RGR
- Gjenbruk av ressurser i RGR (salt og muligens metaller)
- Noe reduksjon av mengden RGR som må leveres til deponi/oppfylling
- Utgående RGR kan legges på lokalt deponi

*Ulemper*

- Behandlingsløsningen er kun dokumentert i testanlegg
- Usikkerhet knyttet til vasking av aske, det er tvilsomt om kun vann er tilstrekkelig til å oppnå en tilfredsstillende utvasking av metaller og salter
- Usikkerhet mht. nyttiggjøring av produsert salt (lang prosess for dokumentasjon/godkjenning)
- Planlagt fullskalaanlegg ligger ikke ved saltvannsresipient; det kan gi utfordringer ved avhending av produsert salt inntil en får avsetning for dette
- Relativ kostbar behandlingsløsning
- Fortsatt må en betydelig andel av inngående RGR gå til deponi
- Usikkerhet mht. utlekkingssegenskaper for utgående RGR (pga. kun bruk av vann til vasking)

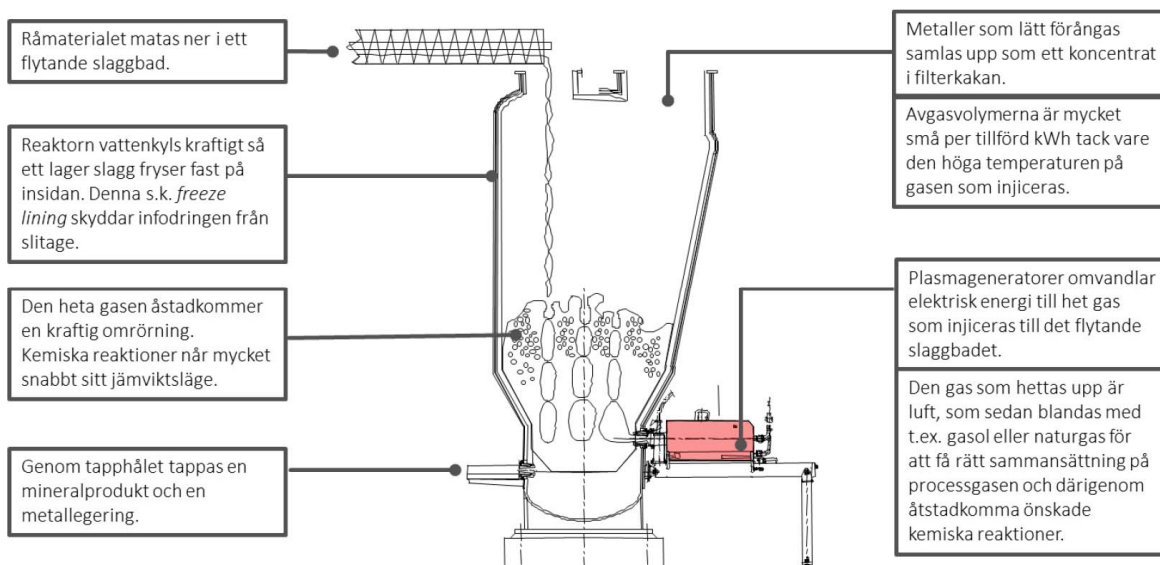
## 4.6 ArcFume

### Behandlingsmetodikk

ArcFume er en teknologi med metallurgisk behandling av RGR fra avfallsforbrenning. Målet er å omdanne RGR til et anvendelig mineralprodukt og utvinne metaller som et konsentrat. Fra sluttrapporten for prosjektet "*Metallurgisk behandling av flygaska från avfallsförbränning*", som er gjennomført i regi av innovasjonsprogrammet Re:Source, beskrives følgende (oversatt fra svensk), ref. /30/:

*"I ArcFume prosessen blandes flyveasken med slaggdannere som gir råmaterialet gode egenskaper ved smelting, som gunstig smeltepunkt og viskositet og med riktig tilsats av slaggdannere og god utskilling av tungmetaller blir mineralproduktet etter utskilling av metaller utlekkingsstabil. Metaller som kobber, nikkel, kobolt og krom skilles ut med kjemiske reaksjoner og danner en metallegering. Dioksiner destrueres og kvikksølv separeres fra. Metaller som sink, bly, indium og germanium separeres fra badet gjennom fordamping til avgassene. Avgassene renses og filtreres og metallene konsentreres i et verdifullt filterprodukt. Klorider følger med til filterproduktet kan med letthet vaskes bort. Gjenværende mineralprodukter inneholder svært lave nivåer av tungmetaller, er utlekkingsstabil og kan evalueres å for klassifiseres som et produkt, f. eks. til vei- eller deponikonstruksjon."*

En skjematisk oversikt over ovn/reaktor med enkelte nøkkelfunksjoner er vist i Figur 4.7. Reaktoren og plasmageneratoren er ArcFume-prosessen's hovedkomponenter.



Figur 4.7: Skjematisk oversikt over ovn/reaktor i ArcFume-teknologien

For noen år siden var typisk klorinnhold i norsk avfall til forbrenning ca. 0,6 vekt-% av totalvekten, ref. /31/. Et nøkkeltall for hvor stor andel klor som følger røykgassene ved tradisjonell avfallsforbrenning i ristovner er ca. 90-vekt-%. Det er kjent at under 1 vekt-% av klorinnholdet i røykgassene slipper ut til omgivelsene, mens resten da havner i RGR. Hvis vi antar at mengden RGR (TS) utgjør 5 vekt-% av avfallet, og at klorinnholdet i skandinavisk avfall er ca. 0,5 vekt-%, tilsier det et klorinnhold i RGR på størrelsesorden 10 vekt-%. Hvis vi antar at filtermaterialet fra ArcFume utgjør ca. 250 kg pr. tonn RGR, tilsier det et klorinnhold i filtermaterialet på størrelsesorden 35 vekt-%. Da kloridene følger med til filterproduktet, som må vaskes bort før konsentratet selges til gjenvinning, innebærer det nok et trinn i prosessen. Da det er påregnelig at det følger med en del tungmetaller i vaskevannet, må vaskevannet

gjennomgå felling, flokkulering samt filtrering/pressing. Det er også påregnelig at det blir nødvendig med et poleringstrinn før utslipp til (saltvanns-)resipient eller en eller annen form for utnyttelse av et eventuelt saltprodukt.

### **Typer RGR som kan behandles**

Det er forventet at alle ordinære typer RGR fra avfallsforbrenningsanlegg kan behandles.

### **Massebalanse og energiforbruk**

Ut fra tilgjengelige opplysninger antar vi hovedproduktene vil bestå av:

- Tungmetallholdig filterprodukt/metallkonsentrat: 250 kg pr. tonn RGR
- Metallurgisk slagg, meget stabil og uten tungmetaller: 750 kg pr. tonn RGR

Imidlertid er det, som nevnt, påregnelig at filterproduktet må gjennomgå ett eller flere vasketrinn med etterfølgende omfattende vannbehandling. En vil da få ut en eller annen form for saltprodukt og sannsynligvis en begrenset mengde filterkake. Den sistnevnte kan muligens føres tilbake til prosessen igjen.

Det er mulig at behandlet metallprodukt kan gå til gjenvinning av sink.

Som innsatsfaktorer i den nødvendige vaskeprosessen må benyttes ulike typer kjemikalier, i likhet med de andre vaskeprosessene vi har omtalt i rapporten.

ArcFume-prosessen er, som nevnt, meget energikrevende, og i tillegg vil det medgå energi til transport til/fra anlegget.

### **Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at ArcFume-teknologien medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden (inkludert eventuelle inntekter ved salg av produkter) på minst:

størrelsesorden 4.000 kr/tonn RGR.

### **Modenhet**

ArcFume er en teknologi som er veletablert innen metallurgisk industri for håndtering av restprodukter fra ikke-jern fremstilling. Metallindustrien har lang erfaring med å behandle, gjenvinne og stabilisere flyveaske. Bruk av den samme teknologien til behandling av RGR fra avfallsforbrenning er mindre utprøvd. ScanArc arbeider blant annet sammen med et universitet i Belgia for alternativ opparbeiding av bunn- og flyveaske fra avfallsforbrenning.

Det har vært bygget anlegg med ScanArcs ArcFume-teknologi, flere steder, men ikke alle er i fortsatt drift. Blant annet er nevnt et ArcFume-anlegg ved Metallo Chimique, Belgia, der det er opplyst om mulig drift fra 2017.

Sammen med Avfall Sverige har ScanArc tidligere hatt et prosjekt der det har vært vurdert økonomiske og prosessaspekter for et industrielt anlegg, ref. /32/. Prosjektet viste at forutsetningene tilsynelatende var gode for et anlegg med kapasitet til å håndtere 100.000 tonn RGR pr. år. Det tilsvarer den mengden som årlig eksporteres fra Sverige til Langøya. Myndighetsbehandling, prosjektering, bygging og igangkjøring av anlegg etc. tar erfaringsmessige mange år å gjennomføre. Det er derfor realistisk at det vil ta mange år før et nordisk fullskala-anlegg som benytter ArcFume-teknologien på RGR er driftsklart. Fremdriften vil nok også avhenge av resultater fra driften av det nevnte anlegget ved Metallo Chimique i

Belgia. Med bakgrunn i en mulig undervurdering av kompleksiteten og kostnadene forbundet med teknologien, og det faktum at det kan ta tid å få innpass for slagget, samt et noe usikkert inntekspotensiale for metallkonsentratet, er det begrenset sannsynlighet for at et fullskala-anlegg vil være klart i Norden innen 2030.

### **Aktører**

ScanArc Plasma Technologies AB har utviklet og eier ArcFume-teknologien, ref. /33/.

### **Miljøavtrykk**

Fra prosjektet ScanArc har gjennomført i samarbeid med Avfall Sverige har det vært gjennomført utlekkningstester på det metallurgiske slagget. Det oppgis at slagget oppfylte alle krav til deponering på deponi for ordinært avfall, og for alle komponenter unntatt kadmium oppfylte det kravene til lagring på deponi for inert avfall. Det kan synes som at det kan være oppnåelig med REACH-klassifisering for å kunne selges som produkt, ref. /32/.

Ut fra påregnelige delprosesser og de kravene som en vil måtte tilfredsstill, er det grunn til å forutsette at deponering av restproduktene ikke vil føre til skade på mennesker eller miljø pga. spredning av miljøgifter fra sivevann eller på annen måte, og at prosessen i seg selv normalt ikke gir noe negativt miljøavtrykk. Miljøavtrykket fra prosessen er primært knyttet til innsatsfaktorer som kjemikalier som eventuelt svovelsyre og ikke minst det høye elektrisitetsforbruket i prosessen.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden fra avfallsforbrenningsanlegg til behandlingsanlegget vil primært komme fra transport til anlegget.

### **Robusthet**

ArcFume er en teknologi som er veletablert innen metallurgisk industri for håndtering av restprodukter fra ikke-jern fremstilling. Metallindustrien har lang erfaring med å behandle, gjenvinne og stabilisere flyveaske. Bruk av den samme teknologien til behandling av RGR fra avfallsforbrenning er mindre utprøvd, men virker lovende. Teknologien i sin helhet er imidlertid ikke beskrevet, og det er usikkerhet knyttet til de resterende prosesstrinnene.

### **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

#### *Fordeler*

- Gjenbruk av ressurser i RGR (metaller)
- Reduksjon av mengden RGR som må leveres til deponi/oppfylling

#### *Ulemper*

- Behandlingsløsningen er kommet meget kort i utviklingsstadiet
- Bare deler av behandlingsmetoden er utredet/beskrevet
- Usikkerhet knyttet til håndtering av klorinnholdet i filterproduktet
- Usikkerhet mht. avsetning for metallkonsentrat pga. lavt metallinnhold
- Svært kostbar behandlingsløsning
- Høyt energiforbruk
- Mulig utslipp til luft fra smelteprosessen

## 4.7 Tyske saltgruver

### Behandlingsmetodikk

Pga. det høye trykket fra fjellet over dyptliggende saltgruver vil hulrom/ganger i saltgruvene etter hvert presses sammen, noe som medfører risiko for at overflaten over gruvene synker og eventuelt forårsaker skade på strukturer. Det er derfor vanlig at hulrom fylles opp for å redusere eller forhindre innsynkning av overflaten. I bl.a. Tyskland er det ofte benyttet farlig avfall, aske etc. som fyllmasse til dette formålet. Metoden klassifiseres i Tyskland og en del andre land som gjenvinning pga. at en reelt erstatter andre gjenfyllingsmasser. Et forenklet flytskjema for denne behandlingsmetoden er vist i Figur 4.8. RGR som mottas for oppfylling i saltgruver gjennomgår normalt følgende prosessstrinn:

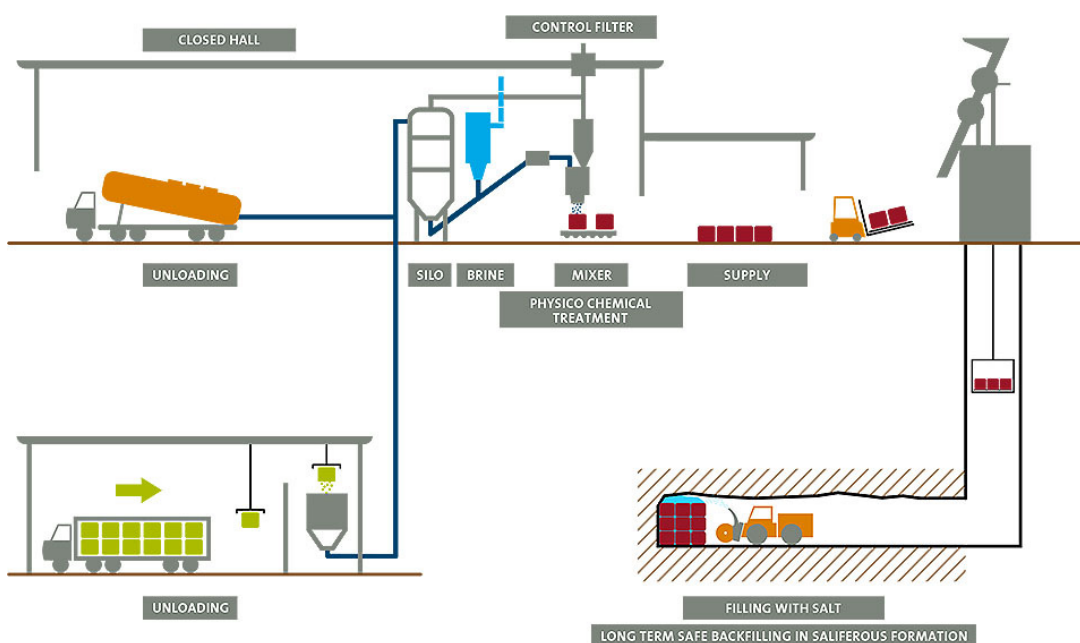
- Tilsetning av vann (evt. også kjemikalier) for stabilisering
- Emballering, gjerne i big-bags av polyeten
- Intertransport
- Big-bags på trepaller stables i gruveganger
- Sikring med tegl og anhydritt

I første del av prosessen skjer det også en avgassing av hydrogen som blir dannet pga. aluminium i RGR.

De ulike typene avfall adskilles med teglvegger, og utover dette sikres avfallet med en 6 meter tykk barriere som består av tegl og anhydritt (vannfri kalsiumsulfat -  $\text{CaSO}_4$ ), ref. /34/.

K+S Entsorgung, som er en av flere aktuelle aktører, betegner metoden som benyttes for oppfylling av saltgruver for "underground recovery", i motsetning til "underground waste disposal", som de også arbeider med. Denne aktøren benytter tre ulike metoder for oppfylling, ref. /35/:

- Stacking backfill Figur 4.8 (tilbakefylling ved stabling av bigbags med RGR)
- Slurry backfill (tilbakefylling av RGR i form av slurry)
- Tipping backfill (tilbakefylling ved tipping av RGR fra kjøretøy)



Figur 4.8: Flytskjema for deponering av RGR ved Hattorf i Tyskland, stacking backfill, ref. /36/

### **Typer RGR som kan behandles**

Enkelte typer RGR vil pga. at det inneholder aluminium (mengde og form er av betydning) kunne føre til dannelse av hydrogengass, noe som kan medføre en viss risiko for dannelse av eksplosiv atmosfære. Bl.a. i Sverige har det forekommet eksplosjoner pga. dette. Risikoen er særlig stor når RGR oppbevares i lukkede rom/siloer og ved oppfylling av gruver etc., såfremt en ikke tar nødvendige hensyn. Dette kan i teorien bidra til at en begrensing i typer RGR som kan håndteres uten risiko. Vi kjenner ikke til hvordan de tyske aktørene håndterer denne risikoen, men vi vet at de er oppmerksom på denne og vi antar at de håndterer den på en tilfredsstillende måte. Ut fra opplysninger og beskrivelser til aktuelle aktører, kan en ta imot alle typer faste RGR fra avfallsforbrenningsanlegg, både ristovner, CFB etc.

### **Massebalanse og energiforbruk**

Mengden vann som tilsettes, anslås til ca. 20 vekt-% av tilført RGR. Det innebærer at en deponerer 1,2 ganger inngående avfallsmengde, ref. /34/. De stoffene som i tillegg til vann benyttes ved oppfyllingen utgjør i overkant av ca. 20 kg pr. tonn RGR, ref. /34/. Hvis en må tilsette kjemikalier for å oppnå tilfredsstillende stabilisering, vil dette også medføre eventuelt ytterligere vektøkning. I én rapport refereres at det ikke skjer noen vekt-forandring fra mottak til deponi, ref. /37/. Vi estimerer imidlertid at mengden som fylles opp utgjør 1,2 ganger inngående mengde RGR.

Mht. bruk av innsatsfaktorer omfatter dette som nevnt bl.a. vann, tegl, anhydritt, polyetenplast til bigbags samt trepaller. Det benyttes normalt ikke kjemikalier ved stabiliseringen, ref. /34/.

Energiforbruket ved oppfylling av saltgruver utgjøres primært av diesel knyttet til transporten fra avfallsforbrenningsanlegg til saltgruvene, samt noe drivstoff til intern transport ved behandlingsanlegget og dessuten noe elektrisk kraft.

### **Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at oppfylling av RGR i tyske saltgruver medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden (forutsatt transport fra Oslo-området) på:

størrelsesorden 2.500 kr/tonn.

### **Modenhet**

Metoden har vært i bruk en rekke steder i mange år, og det er ikke noe som tyder på at den ikke vil være et aktuelt alternativ i årene fremover. Den må dermed karakteriseres som kommersielt tilgjengelig i aktuelt tidsperspektiv.

### **Aktører**

Metoden er vanlig i Mellom-Europa, og det finnes flere lokaliteter i Tyskland og Frankrike. Blant disse er Herfa-Neurode, Heilbronn, Zielitz, Bernburg, Hattorf-Wintershall og Wittelsheim (den siste i Frankrike). En av de mest kjente aktørene er K+S Entsorgung.

### **Miljøavtrykk**

Saltgruvene ligger relativt dypt, 7-800 m er nevnt, men den viktigste barrieren mot spredning av forurensninger er fravær av grunnvann, slik at en unngår utlekking og spredning av forurensninger i avfallet som deponeres. Ref. /34/ nevner imidlertid at det har hendt at vann har trengt inn i saltgruver (f.eks. Restof i USA i 1994). Videre nevner samme kilde at det har skjedd vanninntrenging i saltgruver i Hannover og Morsleben i Tyskland, der en oppbevarer radioaktivt avfall. Dessuten nevnes at sprekkdannelse er en risiko i dype gruver, noe som bl.a. har skjedd flere ganger i Herfa-Neurode. I dag tas det hensyn for å begrense risikoen (forsterkning med oppfyllingsmasser). Da aktuelle lokaliteter ligger dypt,



vil en eventuell vanninntrengning/sigevann eller annen spredning neppe føre til skade på mennesker eller miljø. RGR vil i seg selv normalt ikke gi noe negativt miljøavtrykk slik det blir oppbevart i gruverommene.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden fra avfallsforbrenningsanlegg til saltgruvene vil primært komme fra transport til anlegget og til en viss grad lokal transport og forbruk av elektrisk kraft. Når en ser bort ifra transporten til anlegget, vil utslippene til luft være moderate.

### **Robusthet**

Dette er en behandlingsmåte som en har lang og bred erfaring med. På grunn av beliggenheten til de aktuelle lokalitetene og den begrensede risikoen som er forbundet med bruk av RGR til oppfylling, samt det faktum at behandlingen ikke er spesielt kompleks, tilsier det at behandlingsmetoden må betraktes som robust. Imidlertid skjer det omfattende håndtering i til dels omfattende transportkjede under bakkenivå, noe som kan medføre utfordringer for arbeidsmiljø/sikkerhet.

### **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

#### *Fordeler*

- Dokumentert behandlingsløsning med lang erfaring
- Behandlingsløsningen er tilpasset alle typer RGR
- RGR erstatter alternative oppfyllingsmasser
- Lavt energiforbruk i selve behandlingsprosessene

#### *Ulemper*

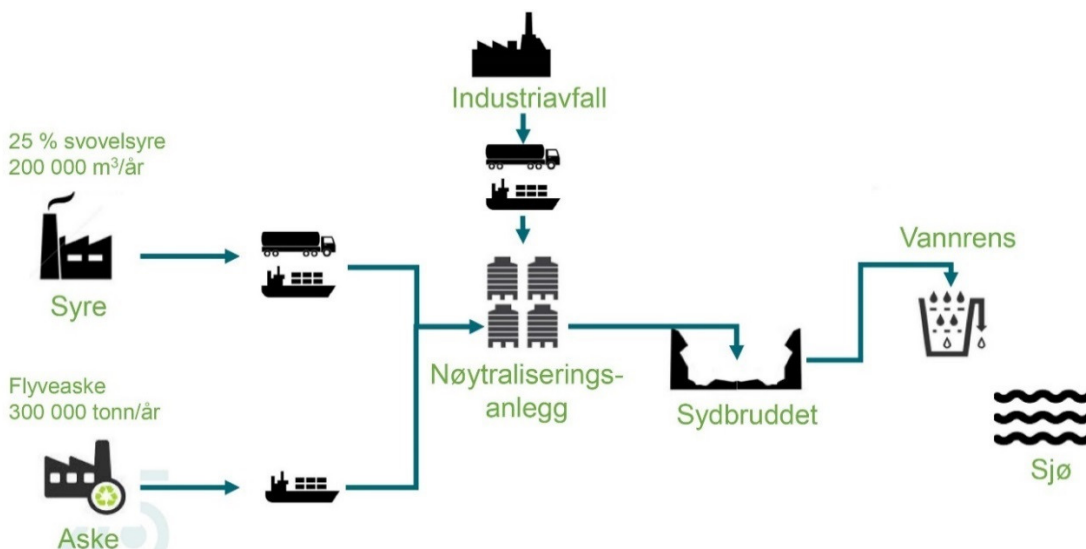
- Meget lang transportvei langs verdikjedene forutsatt transport fra Norden
- Ingen gjenvinning av ressurser i RGR
- Relativt kostbar behandlingsløsning
- Selve behandlingsprosessen skjer dels i fjell, og det er en omfattende transportkjede under bakkenivå, noe som kan være en utfordring for arbeidsmiljøet

## 4.8 NOAH – Brevik/Langøya

### Behandlingsmetodikk

RGR blir i dag mottatt og behandlet ved NOAHs anlegg på Langøya. Et forenklet flytskjema for prosessene er vist i Figur 4.9, ref. /38/. Behandlingen består av følgende prosessstrinn:

- Nøytralisering der RGR og avfallssyre fra Kronos Titan blandes i flere trinn for å danne en gipsslurry. Når karbonat i asken og svovelsyre reagerer i surt trinn, vil det dannes gips, karbondioksid og vann.
- Gipsproduktet deponeres i Sydbruddet på Langøya
- Vannfasen fra prosessene renses i vannreosanlegg
- Renset saltholdig vann slippes til saltvannsresipient (Oslofjorden).



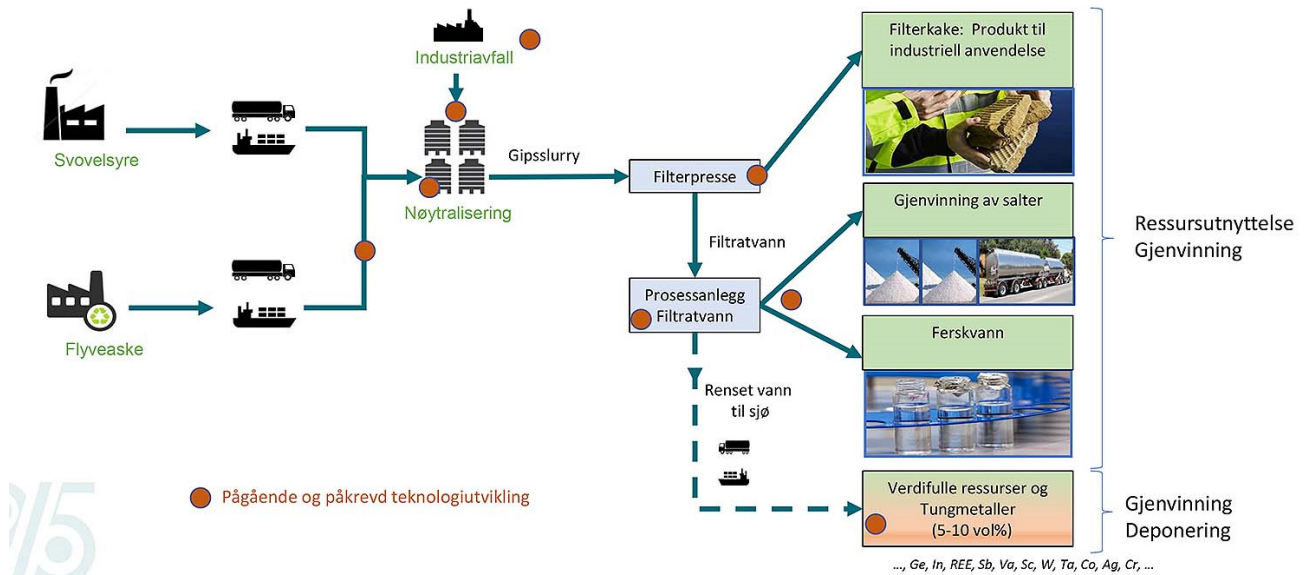
Figur 4.9: Flytskjema for NOAHs eksisterende prosess for RGR på Langøya

I utgangspunktet ønsket NOAH å flytte hele virksomheten fra Langøya til Brevik, prosessere RGR og avfallssyre og evt. også annet avfall der og til slutt gjennomføre oppfylling av tidligere kalksteinsgruver under Eidangerfjorden. Av ulike grunner har en nå bestemt seg for å beholde prosessanlegget på Langøya og transportere gipsproduktet med skip til en planlagt ny kai ved Kongkleiv ved Frierfjorden. Det er lagt opp til en miljøvennlig transportløsning, der bl.a. landstrøm inngår. Fra kaien skal transporten av gipsproduktet skje i lukkede tunnellop direkte til Norcems gruvesystem. NOAHs nye løsning sikrer dermed at hverken Dalenbukta eller det lokale veinettet i Brevik belastes, ref. /39/.

Hovedelementene for NOAHs nye løsning for håndtering av RGR blir dermed:

- RGR transporteres med bil eller skip til Langøya
- Prosessering/bearbeiding på Langøya
- Utslipp av rensed vannfraksjon til saltvannsresipient (Oslofjorden)
- Transport av gipsprodukt på skip fra Langøya til terminal i Frierfjorden
- Intern undergrunns transport og oppfylling av Norcems gruver.

NOAH arbeider med målsetning om på sikt å utnytte en del av ressursene i RGR, dvs. metaller og salter. Vi viser i denne sammenheng til Figur 4.10, ref. /40/.



Figur 4.10: Flytskjema for NOAHs mulige fremtidige prosess for RGR på Langøya

Utslippene til saltvannsresipienten blir fulgt opp og dokumentert. Måleresultater viser at en med svært god margin overholder kravene i utslippstillatelsen. Dette gjelder bl.a. PAH og ulike tungmetaller som Hg. Vi viser i denne sammenheng til ref. /41/ og ref. /42/.

Ifølge ref. /43/ vurderes gruverommene som egnet til deponi for farlig avfall, bl.a. pga. at de ligger lavere enn havnivå og dermed er utsatt for et ytre hydrostatisk trykk som i seg selv hindrer utlekking. Etter at oppfylling er avsluttet vil graven fylles med vann. Simulering av de hydrologiske forholdene i området i denne fasen viser meget lave horisontale gradienter med liten vannstrømning. NGI referer til overveiende tett bergmasse og god bergmekanisk stabilitet som gjør at de geologiske forholdene i Dalen gruve vurderes å være godt egnet som geologisk formasjon for et underjordisk deponi, ref. /44/. Ut fra dette vil oppfylling av gruverom under Eidangerfjorden innebære en trygg sluttbehandling av RGR-restene fra Langøya.

### Typer RGR som kan behandles

NOAH kan i prinsippet motta RGR fra alle typer røykgassrensing. Som nevnt tidligere i rapporten, kan aluminium i RGR innebære en viss risiko for dannelse av hydrogengass og dermed utgjøre risiko for eksplosjon i gruver etc. Den ordinære produksjonsprosessen for avfallsgips på Langøya er imidlertid modifisert for å redusere potensialet for utvikling av hydrogengass i avfallsgipsen ved lagring i gruver. Virksomheten gjennomfører også nødvendig oppfølging og kontroll for å forhindre at dette skal utgjøre en risiko.

### Massebalanse og energiforbruk

300.000 tonn RGR benyttes for å nøytralisere ca. 55.000 tonn svovelsyre og ca. 100.000 tonn annet industriavfall. Resultatet er 540.000 tonn filterkake. Når en trekker ut industriavfallet, så blir 300.000 tonn RGR til 440.000 tonn filterkake (deponert produkt). Egenvekten på filterkaken er ca. 1,6, noe som tilsier et volum på 275.000 m<sup>3</sup>. Med egenvekt for RGR densitet på gjennomsnittlig ca. 0,65 vil tilsvarende RGR-volum bli 460.000 m<sup>3</sup>. Dette tilsier en reduksjon av volumet med i overkant av 40%.

Energiforbruket utgjøres primært av drivstoff til biltransport og skipstransport samt intern transport på Langøya og i Brevik. I tillegg vil det bli benyttet noe elektrisk energi i prosessanleggene.

**Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at leveranse av RGR til NOAH medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden på:

anslagsvis 1.200 - 1.400 kr/tonn.

**Modenhet**

Denne behandlingsteknologien er kommersielt tilgjengelig, og en endring av lokalitet for oppfylling har ingen betydning i denne sammenheng.

**Aktører**

NOAH AS har utviklet behandlingsløsningen og eier og driver anleggene der behandlingen skjer.

**Miljøavtrykk**

Stabilisert RGR vil bli benyttet til oppfylling av eksisterende gruveganger, og en ufarliggjør avfallssyre fra Kronos Titan i behandlingsprosessen. Disse forholdene vil bidra i positiv retning mht. miljøavtrykket for behandlingsmetodikken.

Ut fra teknologien som benyttes og erfaringen med miljøpåvirkning fra virksomheten på Langøya, vurderer vi det slik at denne ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø pga. spredning av miljøgifter i utslipp til saltvannsresipienten eller på annen måte.

På grunn av den nærmest ikke-eksisterende risikoen for utlekking ved oppbevaring av stabilisert RGR i gruvegangene under havnivå, vil RGR i seg selv normalt ikke gi noe negativt miljøavtrykk.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden fra avfallsforbrenningsanlegg til gruvegangene vil primært komme fra transport til anlegget og til en viss grad lokal transport og forbruk av elektrisk kraft. Når en ser bort ifra utslipp forbundet med transporten til anlegget, vil utslippene til luft være moderate.

NOAHs behandlingsmetodikk tilfredsstillter for øvrig krav til BAT<sup>14</sup> i "*Reference Document for Waste Treatment*", ref. /45/.

**Robusthet**

Beliggenheten til de aktuelle lokalitetene, den nær sagt fraværende risikoen som er forbundet med lagring av stabilisert RGR i gruvegangene i Brevik og det at en benytter behandlingsmetodikk som er optimalisert for ulike typer RGR gjennom lang driftserfaring, tilsier at behandlingsmetoden må vurderes som robust.

---

<sup>14</sup> BAT: Best Available Techniques = Best tilgjengelig teknikk

## **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

### *Fordeler*

- Dokumentert behandlingsløsning med lang driftserfaring
- Behandlingsløsningen er tilpasset alle typer RGR
- NOAHs behandlingsmetodikk tilfredsstillende krav til BAT
- Ingen risiko knyttet til deponering/oppfylling av utgående RGR
- Behandlingsløsningen benytter avfallssyre og løser et avfallsproblem for Kronos Titan
- Behandlingsanlegget ligger ved en saltvannsresipient
- Reduksjon av volum RGR som må leveres til deponi/oppfylling
- Forholdsvis rimelig behandlingsløsning
- Behandlingsløsningen kan utvides med trinn for gjenvinning av metaller og produksjon av salt
- Lavt energiforbruk.

### *Ulemper*

- Ingen gjenvinning av metaller og salter i RGR

## 4.9 Terrateams anlegg i Mo

### Behandlingsmetodikk

Terrateam benytter gruveganger i nedlagte Mofjellet gruver til deponering av ulike typer avfall. RGR behandles med en stabiliserings-/solidifiseringsprosess, der en tilsetter bl.a. tilslag og sement. Terrateam benytter begrepet "innbinding", som inkluderer solidifisering og stabilisering. Innbindingsprosessen medfører at sement reagerer med vann og danner en "tørr monolitt", som har forbedrede mekaniske egenskaper. Baseoverskuddet i sementen bidrar også til å stabilisere metallene i avfallet som oxyhydroksider. De stabiliserte massene deponeres mens de ennå har en plastisk konsistens. Ved deponering forsøker en å fylle opp hulrommene fullstendig. Det deponerte avfallet får etter herding en monolittisk struktur, ref. /46/.

I utgangspunktet er det etter det en forstår ikke påkrevd å stabilisere gruvegangene av hensyn til fjellets stabilitet, men gruvegangene var etter det en får opplyst tidligere fylt med vann og utsatt for utlekking av metaller, ref. /47/. Før deponering av stabilisert RGR er gruveganger tømt for vann og ved at en har fylt i prinsippet stabil masse samt også fylt tidligere borehull, har en redusert bevegelse av vannet i gruvegangene til et svært lavt nivå. Ifølge ref. /46/ vil monolittene immobilisere forurensnings-elementene og redusere overflatearealet og gjennom dette reduseres permeabiliteten kraftig. Undersøkelser av innstøpte masser viser at det ikke er tegn til riss, noe som indikerer at massene i liten grad krymper under herding. Det er god heft mellom deponerte masser, ref. /46/.

Om den aktuelle disponeringen av RGR i gruvegangene kan karakteriseres som nødvendig oppfylling og at en dermed erstatter andre materialer som alternativt blir brukt, kan diskuteres. I denne sammenheng kan nevnes at de fleste tilsvarende gruver for en stor del ikke har blitt oppfylt for å redusere utlekking. Det er noe uklart om det er formelt korrekt å definere Terrateams aktiviteter som oppfylling.

### Typer RGR som kan behandles

Terrateam kan motta både det virksomheten kaller "flyveaske" og bunnaske, ref. /48/. Iht. utslippstillatelsen, som gjelder fra 15. juni 2016 til 1. juni 2020, kan anlegget motta både ordinært og farlig avfall til deponering, ref. /49/. I utslippstillatelsen er det stilt krav om at *"Ordinært og farlig avfall som deponeres i gruva skal gjennomgå en behandling før deponering slik at grenseverdiene i avfallsforskriften kapittel 9 vedlegg II punkt 2.3.1 og 2.3.2 overholdes."* Det er imidlertid gitt et unntak for klorid, der det aksepteres en utlaking som er vesentlig høyere enn det ordinære kravet på hhv. 15 og/kg og 8,5 l/kg for hhv. L/S=10 l/kg og L/S=0,1 l/kg.

I følge utslippstillatelsen er deponiet Mofjellet Gruber klassifisert som et underjordisk deponi for ordinært avfall, jfr. avfallsforskriften kap. 9. Det er gitt midlertidig unntak til 1. juni 2020 fra kravene til dobbel bunn- og sidetetning gitt i avfallsforskriften kapittel 9 vedlegg I punkt 3.2 og 3.3. Dette innebærer at en etter dette tidspunktet må forholde seg til nevnte punkter i avfallsforskriften, noe som vil øke behandlingskostnadene betydelig.

Terrateam kan i prinsippet motta alle typer RGR. Som nevnt tidligere i rapporten, kan aluminium i RGR imidlertid innebære en viss risiko for dannelse av hydrogengass og dermed utgjøre risiko for eksplosjon i gruver etc. På forespørsel til Terrateam om det er noen begrensninger mht. mottak av avfall som kan medføre dannelse av hydrogen pga. aluminium i avfallet, opplyser Terrateam at de er oppmerksom på risikoen og tar derfor jevnlig prøver for å følge opp dette. Det blir hevdet at en derfor ikke har noen begrensning mht. hvilke typer anlegg kan motta RGR fra, ref. /47/. Ut fra dette antar vi at Terrateam i prinsippet kan motta alle typer RGR.

### **Massebalanse og energiforbruk**

I følge ref. /47/ er den totale massen som oppfylles i gruvegangene over 2 ganger så stor som mottatt mengde RGR. Stoffene som tilsettes består av sement, grovere fraksjoner (tilslag), og også i en del tilfeller gipsavfall etc., ref. /47/. Hvor mye av dette som bør relateres til vektøkning for selve RGR, er det ikke noe sikkert svar på, men vi har skjønnsmessig tatt utgangspunktet i en dobling av inngående masse når vi har sammenlignet med andre behandlingsmetoder.

Hvis en iverksetter bunn- og sidetetting, vil dette medføre en betydelig økning av bruken av innsatsfaktorer som masser (grus etc.) og membran. Det er ikke usannsynlig at dette resulterer i at mengden RGR kun vil utgjøre 30-40% av totalt oppfylt masse. Det innebærer i så fall at den totale massen som oppfylles vil være ca. 3 ganger så stor som mengden RGR.

Energiforbruket utgjøres primært av drivstoff til biltransport og eventuelt skipstransport til Mo samt intern transport, evt. også fra terminal til behandlingsanlegg. I tillegg vil det bli benyttet noe elektrisk energi i prosessanleggene.

### **Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at leveranse av RGR til Terrateams lokalitet i Mo i Rana medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden på:

størrelsesorden 2.000 kr/tonn.

### **Modenhet**

I følge Terrateam hadde en i 2016 plass i gruvegangene til 20 års videre drift, ref. /50/. Det er usikkerhet knyttet til praktiske og de kostnadsmessige konsekvensene, hvis kravet til dobbel bunntetting blir opprettholdt. Det innebærer at denne behandlingsløsningen i verste fall ikke er aktuell eller kun blir aktuell for enkelte RGR-produsenter som har kort transportavstand og/eller evt. enkel transportlogistikk til anlegget.

### **Aktører**

Eier og driver av anlegget i Mo i Rana er Miljøteknikk Terrateam AS.

### **Miljøavtrykk**

Ut fra teknologien som benyttes og erfaringen med miljøpåvirkning fra de oppfylte gruvegangene, se bl.a. ref. /46/, vurderer vi det slik at oppfyllingen i tiden fremover i praksis ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø pga. spredning av miljøgifter fra sigevann eller på annen måte, og at RGR i seg selv normalt ikke gi noe negativt miljøavtrykk. Miljøavtrykket fra oppfylling og tilhørende aktiviteter er primært knyttet til bruken av sement, tilslag, grus, membran etc.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden fra avfallsforbrenningsanlegg til gruvene vil primært komme fra transport til anlegget (i hovedsak lang transportvei, men muligheter for skipstransport kan delvis kompensere for dette) og til en viss grad lokal transport og forbruk av elektrisk kraft. Når en ser bort ifra transporten til anlegget, vil utslippene til luft være moderate.

### **Robusthet**

Ut fra at dette er en virksomhet som med betydelig erfaring med metoden, gjennomfører mottaks-kontroll og oppfølging av miljøpåvirkning og med begrenset miljørisiko, ref. /46/, må behandlingsmetoden i utgangspunktet vurderes som robust. Det er imidlertid som nevnt noe usikkerhet knyttet til eventuelt krav om bunn- og sidetetting.

### **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

#### *Fordeler*

- Dokumentert behandlingsløsning
- Behandlingsløsningen er tilpasset alle typer RGR
- Liten risiko knyttet til deponering/oppfylling av utgående RGR
- Moderat energiforbruk langs verdikjedene

#### *Ulemper*

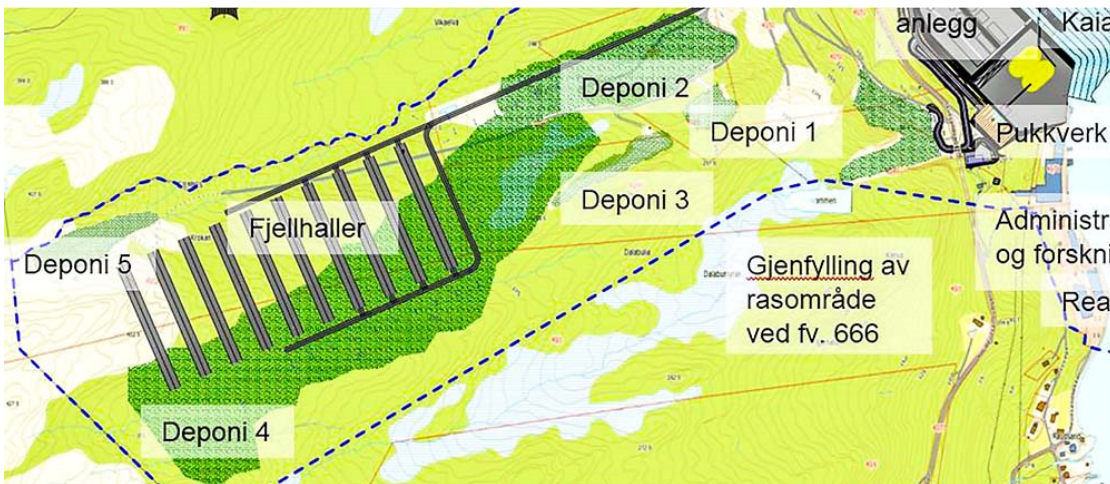
- Meget lang transportvei langs verdikjedene
- Usikkerhet knyttet til konsekvensene hvis kravet om bunn- og sidetetting blir opprettholdt
- Ingen utnyttelse av ressurser i RGR
- Deponerte/oppfylte masser utgjør et stort volum i forhold til inngående RGR



## 4.10 Bergmesteren/Veidekke/Stenas planlagte anlegg i Raudsand

### Behandlingsmetodikk

Bergmesteren Raudsand AS har søkt om etablering av deponi for ordinært avfall ved Raudsand i Nesset kommune i Møre og Romsdal, ref. /51/. RGR er ikke nevnt blant avfallstypene som det er søkt om tillatelse til å deponere. Virksomheten har imidlertid i samarbeid med Veidekke ASA, Stena Recycling, og lokale investorer vist interesse for å etablere behandlingsanlegg for RGR. Denne behandlingsløsningen innebærer at RGR transporteres på bil eller evt. på båt til anlegget. Behandlet RGR vil eventuelt bli deponert i nye fjellhaller 1 km inne i fjellet og 4-40 m under havnivå, som illustrert i Figur 4.11.



Figur 4.11: Stabilisert RGR vil eventuelt bli deponert under havnivå i fjellhaller som sprenges ut for formålet

Stena Recycling oppgir en kapasitet på 500.000 tonn pr. år for et sentralisert behandlingsanlegg på Raudsand, ref. /52/. Dette er for så vidt en mengde som har vært nevnt i forbindelse med vurdering av ulike lokaliteter for et "nasjonalt" anlegg for RGR. Etter vår vurdering er en kapasitet av denne størrelsesorden lite realistisk for en helt ny aktør som skal motta og håndtere RGR, da det fortsatt vil være andre eksisterende aktører i markedet. Videre arbeider også andre aktører med alternative lokale og sentraliserte behandlingsalternativer.

RGR vil eventuelt bli behandlet ved hjelp av Halosep-teknologi. Vi viser til omtale av denne i avsnitt 4.2. Halosep-teknologien er tilpasset bruk av saltsyre i den integrerte vaskeprosessen. Imidlertid ønsker en å benytte svovelsyre ved Raudsand, noe som eventuelt vil det føre til dannelse av gips og dermed at en noe større mengde må deponeres enn det som er tilfellet for den opprinnelige Halosep-prosessen, ref. /53/.

Aktørene ønsker å benytte avfallssyre fra Kronos Titan, og det er gjennomført tester med bruk av denne i vaskeprosessen. Kronos Titan er imidlertid avvisende til Raudsand som avtager av avfallssyren, som i dag går til NOAHs anlegg på Langøya. Det innebærer at en eventuelt må skaffe syre fra andre leverandører. Det vil muligens innebære at en helt eller delvis må benytte "jomfruelig" syre i prosessene. I så fall vil det, sammen med det faktum at en vil sprengne nye gruveganger for å deponere avfallet, føre til at en ikke kan karakterisere behandlingen som gjenvinning/gjenbruk, noe som ville medføre at det kan bli en utfordring å få importtillatelse for RGR fra Sverige og Danmark, og mengde tilgjengelig RGR for behandling reduseres dermed betydelig.

I forhold til avfallsforskriftens krav til bunn- og sidetetting av deponi iht. kapittel 9 i avfallsforskriften, nevner NGU at den aktuelle lokaliteten er godt egnet, og viser til at det er en tykk geologisk barriere og mulighet for injisering i fjellet, ref. /54/.

I forbindelse med vurdering av ulike lokaliteter for nasjonalt anlegg for uorganisk farlig avfall blir det referert at Raudsand er den lokaliteten som ligger lengst unna hovedtyngdepunktene for kildene til avfallet, ref. /54/.

### **Typer RGR som kan behandles**

Som referert i avsnitt 4.2, kan Halosep-prosessen i prinsippet håndtere RGR fra alle ordinære gassrensprosesser ved avfallsforbrenningsanlegg. Prosessen må imidlertid tilpasses type gassrenseteknologi som er benyttet for å frembringe RGR. Det er imidlertid usikkert om det er mulig å produsere et salgbart metallkonsentrat basert på RGR fra semitørre og tørre gassrensprosesser. Som nevnt tidligere i rapporten, kan aluminium i RGR innebære en viss risiko for dannelse av hydrogengass og dermed utgjøre risiko for eksplosjon i gruver etc. Dette innebærer at det må tas spesielle hensyn hvis en skal kunne ta imot alle typer RGR. Vi antar at aktørene er klar over denne risikoen og tilpasser prosessene slik at dette blir håndtert på en trygg måte, og at dette derfor ikke begrenser hvilke typer RGR det er aktuelt å motta.

### **Massebalanse og energiforbruk**

Forutsatt bruk av svovelsyre som vaskekjemikalie, kan en med bakgrunn i det som er referert om Halosep-teknologien i avsnitt 4.2 samt opplysninger gitt i ref. /53/, forvente følgende utgående kvanta faststoffer i forhold til mottatt mengde RGR:

- RGR-rester til deponering: ca. 70 vekt-%
- Salter: ca. 25 vekt-%
- Metallkonsentrat: ca. 4 vekt-%.

Det er referert at en (rent teknisk) kan gjenvinne ca. 70% av metallene og nær 100% av saltene i RGR, ref. /53/. Imidlertid er det, som tidligere nevnt, mulig at metallkonsentrat basert på RGR fra tørre/semitørre gassreanseanlegg muligens må håndteres sammen med utgående RGR som går til deponi.

Energiforbruket utgjøres primært av drivstoff til biltransport og båttransport for RGR og kjemikalier samt intern transport ved anlegget på Raudsand. I tillegg vil det bli benyttet noe elektrisk energi i prosessanleggene. Det er videre mulig at det vil bli benyttet termisk energi i forbindelse med utvinning av saltproduktene.

### **Økonomi**

Ut fra kostnadstall vi har innhentet for ulike behandlingsløsninger, antar vi at leveranse av RGR til Raudsand medfører en netto behandlingskostnad i hele verdikjeden på:

størrelsesorden 2.500 NOK/tonn RGR.

### **Modenhhet**

Vi viser her til omtale i avsnitt 4.2. Det er gjennomført pilotforsøk med teknologien for RGR fra både semitørre og våtkjemiske gassreanseanlegg. Et fullskala (lokalt) anlegg med kapasitet på 13.000 tonn/år ved Vestforbrænding i Danmark vil etter sigende stå driftsklart i løpet av 2020. Som nevnt er det usikkerheter mht. avsetningsmuligheter for metallkonsentrat fra semitørre/tørre gassrensprosesser og produserte salter. Mht. salter er det imidlertid en fordel at anlegget eventuelt blir beliggende ved en

saltvannsresipient. Videre er det noe usikkerhet mht. om en skal benytte saltsyre eller svovelsyre i prosessene. Selv om det har vært referert at utlekkingsverdier for enkelte komponenter ligger på et nivå som kvalifiserer til deponi for farlig avfall, ref. /17/, antas at dette unngås ved optimalisering av prosessene i anlegget.

Erfaring viser at det tar tid å utvikle og kommersialisere nye prosesser/teknologier. Det er dokumentert at dette også gjelder behandlingsteknologi for RGR. Myndighetsbehandling av søknader om etablering av slike anlegg er også tidkrevende, og det vil dessuten ta tid for å sprengne ut fjellhaller, klargjøre nytt industriområde, prosjektere, bygge og igangkjøre anlegg etc. Det er derfor realistisk å forvente at det vil ta **minst** 5-6 år før et fullskala-anlegg på Raudsand er klart til ordinær drift. Dette innebærer at det er sannsynlig at anlegget eventuelt vil kunne ha ordinær drift tidligst omkring år 2025.

### **Aktører**

Bak forslaget om etablering av behandlingsanlegg på Raudsand står Bergmesteren Raudsand AS (BMR) i et samarbeid med Veidekke ASA, Stena Recycling, og lokale investorer.

### **Miljøavtrykk**

Prosesen vil i utgangspunktet bidra til reduserte mengder RGR, forutsatt at en kan få avsetning for produsert metallkonsentrat og salter. Forbedrede utlekkingssegenskaper for utgående RGR sammenlignet med ubehandlet RGR vil også være en miljømessig fordel.

Det er uklart hvor en skal hente eventuell avfallssyre til anlegget fra, og en ikke vil heller ikke foreta oppfylling av eksisterende gruveganger. Det er derfor usikkert/tvilsomt om en kan karakterisere dette behandlingsalternativet som en form for gjenvinning eller gjenbruk. Disse forholdene bidrar derfor neppe i positiv retning mht. miljøavtrykket for behandlingsmetodikken.

Anlegget ligger relativt langt fra hovedtyngden av produsentene av RGR, selv om det er mulig å benytte sjøveien for transport av både RGR og andre innsatsfaktorer til anlegget. Av hensyn til logistikk må det forventes at en betydelig andel av RGR vil komme til anlegget på bil.

Ut fra teknologien som benyttes vurderer vi det slik at selve Halosep-prosessen ikke vil medføre skade på mennesker eller miljø. Med bakgrunn i den erfaring en har med vannrensing og utslipp av saltvann fra behandlingsteknologier for RGR til saltvannsresipient, kan det forventes at dette utslippet ikke vil føre til uakseptabel spredning av miljøgifter i saltvannsresipienten.

Ut fra geologiske vurderinger, vil deponering i gruver under havnivå på Raudsand være en akseptabel løsning.

Utslipp til luft (klimagasser og evt. lokalt og regionalt påvirkbare gasser og partikler) i verdikjeden vil primært komme fra transport av RGR til deponi, saltvann og eventuelt salgbart produkt til gjenvinning samt ved produksjon av elektrisk kraft til bruk ved anlegget. Som nevnt er det videre mulig at det vil bli benyttet termisk energi i forbindelse med utvinning av saltproduktene. Når en ser bort ifra utslipp forbundet med transporten, vil utslippene til luft være moderate.

### **Robusthet**

Hvis en ikke tar hensyn til rent økonomiske forhold, er det sannsynlig at en med bruk av Halosep-teknologien ved det vurderte anlegget på Raudsand vil få en robust behandlingsløsning, når en ser bort ifra noen mulige begrensninger mht. metallutvinning fra RGR fra semitørre/tørre gassrenseprosesser samt avsetningsmuligheter for produserte salter.

## **Fordeler og ulemper**

I det etterfølgende er listet opp (stikkordsmessig) fordeler og ulemper for behandlingsløsningen.

### *Fordeler*

- Behandlingsløsningen kan i prinsippet tilpasses alle typer RGR
- Deponering vil skje under havnivå
- Mulig gjenbruk av ressurser i RGR (salt og metaller)
- Noe reduksjon av mengden RGR som må leveres til deponi/oppfylling
- Lav risiko knyttet til deponering/oppfylling av utgående RGR
- Anlegget ligger ved en saltvannsresipient

### *Ulemper*

- Behandlingsløsningen er ikke dokumentert gjennom fullskaladrift
- Lokaliteten ligger anlegget relativt langt fra hovedtyngden av produsentene av RGR
- Prosessen må muligens tilpasses en annen syre enn det den opprinnelig er utviklet for
- En må muligens helt eller delvis benytter innkjøp "jomfruelig" syre
- Utgående RGR vil bli oppfylt i nye fjellhaller som blir sprengt ut for formålet
- Usikkerhet om en får importtillatelse for RGR, pga. at en eventuelt må benytte "jomfruelig" syre og at en ikke foretar oppfylling av eksisterende gruveganger
- Usikkerhet mht. nyttiggjøring av produsert salt (lang prosess for dokumentasjon/godkjenning)
- Usikkerhet mht. om metallkonsentrat fra RGR fra semitørr/tørr gassrensing kan utnyttes
- Relativt kostbar behandlingsløsning
- En viss usikkerhet mht. utlekkingssegenskaper for utgående RGR

## 4.11 Andre metoder som er vurdert overordnet

I det etterfølgende har vi gitt en kortfattet beskrivelse av to behandlingsløsninger som har fått en del omtale tidligere eller nylig samt en behandlingsmetode som er tilgjengelig i dag, men neppe er aktuell om noen år.

Dels grunnet lite tilgjengelig informasjon og dels fordi den ene løsningen, som nevnt, neppe vil være aktuell om noen år, har vi valgt ikke å forta en detaljert omtale av eller sammenlignet dem med andre behandlingsløsninger.

### 4.11.1 Högbytorp

Högbytorp, som er Sveriges største avfallsanlegg og eid av RagnSells, tar imot ca. 1/3 av mengden RGR som blir produsert i Sverige. Ved anlegget stabiliseres RGR ved tilsetning av stabiliseringsmateriale og sigevann fra eget deponi. Stabiliseringsmaterialet består av avfall, bl.a. kullaske fra Värtaverket. Det ferdige produktet blir til et betonglignende produkt som deponeres ved anlegget. Det er ikke kjent hva det såkalte stabiliseringsmaterialet for øvrig består av, men ifølge ref. /63/ blandes RGR kun med annen flyveaske. I følge MEPEX benyttes betong (det menes antagelig sement) som stabiliseringsmateriale, ref. /9/.

Pr. i dag gjennomgår etter det en forstår mottatt RGR kun en ren stabiliseringsprosess uten at vasking for å få ut bl.a. klor og tungmetaller inngår. Ut fra den erfaring en har fra andre behandlingsanlegg som kun gjennomgår sementstabilisering el.lign., er det mulig at utlekkingssegenskapene tilfredsstillende krav. Imidlertid har f.eks. Terrateam dispensasjon for kravet til utlaking mht. klor, og det er også kjent at det forekommer overskridelser av utlakingskravene for enkelte metaller andre steder der en deponerer betongstabilisert aske.

RagnSells ved avfallsanlegget i Högbytorp er en aktør som det kan forventes vil behandle aske ved hjelp av ren stabilisering i de nærmeste årene.

Som nevnt i forbindelse med Ash2salt-teknologien (se avsnitt 4.5), hevder RagnSells å ha kommet langt i planleggingen av et fullskala-anlegg i Högbytorp i Sverige uten, at vi har sett dette dokumentert.

Det er sannsynlig at RagnSells vil fortsette med nåværende behandling og deponering ved deponiet i Högbytorp, inntil en eventuelt har fått faset inn Ash2salt-anlegget ved anlegget.

Det er fremkommet litt ulike opplysninger om nivået på behandlingskostnaden for anlegget i Högbytorp. Én kilde fra 2012 (ref. /55/) nevner 200 SEK/tonn, mens en annen kilde (ikke datert) nevner 548 SEK/tonn, ref. /56/. Basert på dette antar vi at kostnadene langs hele verdikjeden for RGR fra f.eks. Oslo-området vil bli på størrelsesorden ca. 1.000 NOK/tonn.

#### 4.11.2 Scanwatt/Scanopor

Scanwatt ble stiftet i 2011 av Knut Henriksen, som har bakgrunn fra Elkem. Virksomheten har siden 2013 arbeidet med en teknologi som går ut på å behandle RGR i en tradisjonell smelteovn. Når en har smeltet RGR, er idéen å tappe ut en saltfase, som også inneholder tungmetallene fra RGR. Den resterende delen av tilført masse vil bli tilsatt silisiumkarbid. Det vil da bli dannet CO, som skal blåse massen til en form for skumglass, kalt Scanopor. Vi viser her til Figur 4.12. Scanwatt har også nevnt at de har laget et steinprodukt som angivelig kan benyttes som dekkmasse på deponier, ref. /57/. Scanwatt har et samarbeid med Returkraft AS, og har benyttet RGR derfra i forbindelse med utviklingen av teknologien. Scanwatt har fått tildelt midler fra Forskningsrådets BIA (Brukerstyrt Innovasjonsarena) for perioden 2013 til 2016. Vi har imidlertid ikke klart å få tilgang til data fra dette prosjektet.



Figur 4.12: Scanopor fra Scanwatts prosess, ref. /58/

Det må forventes at saltfraksjonen fra prosessen, som også skal inneholde tungmetallene i RGR, ikke kan legges på deponi sammen med ordinært avfall. Vi antar at en må gjennom en eller annen form for vaskeprosess, sannsynligvis med syrer for å oppnå et produkt som kan deponeres sammen med ordinært avfall. Etter selve vaskingen kan det forventes at vaskevannet må gjennomgå felling, flokkulering samt filtrering/pressing. Det kan også bli nødvendig med et poleringstrinn før utslipp til (saltvanns-)resipient eller en eller annen form for utnyttelse av metaller og/eller salt i RGR.

Etter vaskeprosessen mv. vil en sitte igjen med en fraksjon som må deponeres.

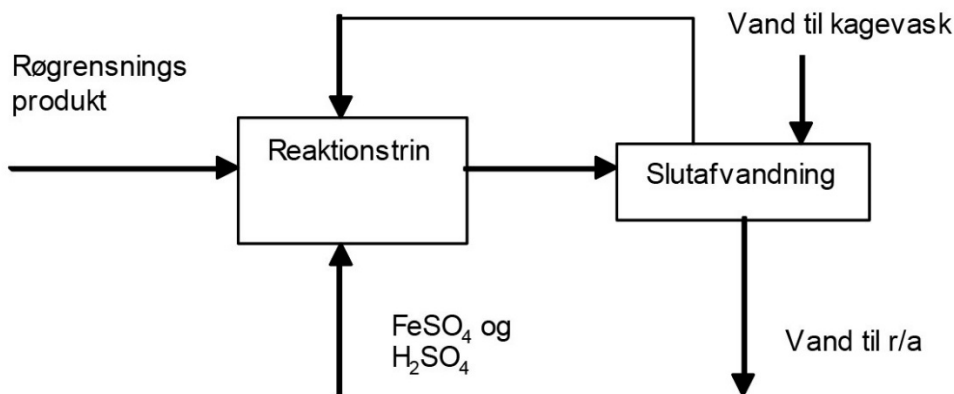
Det er et marked for skumglass, som benyttes i veifyllinger etc. Imidlertid kan det forventes at det er langt frem før en kan utnytte produkter produsert med utgangspunkt i farlig avfall i kommersiell sammenheng i Norge. Prosessen med å få frem tilstrekkelig dokumentasjon og eventuelt få myndighetsgodkjenninger må forventes å ta lang tid.

Erfaring har vist at det tar mange år å utvikle et konsept til en kommersiell teknologi. Mange aktører har arbeidet mange år med å utvikle vaskeprosesser før de kun i ett tilfelle (Fluwa) er blitt kommersialisert. Med bakgrunn i dette og at smelteprosessen kun er en av mange nødvendige delprosesser i behandlingsteknologien samt at det vi vil ta tid å få nødvendige myndighetsgodkjenninger for å kunne utnytte et produkt basert på farlig avfall i kommersiell sammenheng, antar vi at det er høyst usikkert om Scanwatts teknologi er kommersielt tilgjengelig som fullskala-anlegg innen 2030.

### 4.11.3 Ferrox

Ferrox-teknologien, som er eid av B&W Vølund, er en teknologi som det er arbeidet med i mange år. Den nevnes bl.a. i ISWAs posisjonspapir fra 2003, ref. /59/. Det er tilgjengelig en del opplysninger om Ferrox, i bl.a. ref. /60/, ref. /61/ ref. /62/ og Ref. /63/. Et grovt flytskjema er vist i Figur 4.13. I Ferrox-prosessen skjer det en utvasking av salter og stabilisering gjennom følgende prosessstrinn:

- Blanding av  $\text{FeSO}_4$ -løsning og RGR i en miksetank, der også resirkulert væske blir tilsatt. Pga. av den høye pH-en som den basiske asken fører til, vil  $\text{Fe(II)}$  reagere til  $\text{Fe(OH)}_2$ .
- Tilsetning av luft og sterk omrøring med tilstrekkelig oppholdstid fører til at det meste av  $\text{Fe(II)}$  blir oksidert til  $\text{Fe(III)}$ -oksider. Deretter bli pH-en justert fra 11-12,5 til ca. 10-11 (avhengig av type RGR) ved å tilsette ytterlige  $\text{FeSO}_4$  og eventuelt  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Etter pH-justering kreves ytterligere oppholdstid. Dette trinnet inkluderer også utvasking av oppløselige salter. pH holdes høy (10-11) 0,5-1 time for å få oppløste tungmetaller til å binde seg til jernforbindelsene som er utskilt
- Avvanning i filterpresse
- Vasking av restproduktet for å fjerne mest mulig av gjenværende salter
- Sluttrensing av avløpsvann fra prosessen, eventuelt resirkulering av avløpsvann.



Figur 4.13: Forenklet flytskjema Ferrox, ref. /62/

En utfordring ved prosessen er at tre-verdig krom blir oksidert til seks-verdig krom. Det kan forventes at ved deponering av restproduktet vil  $\text{Cr(VI)}$  etter hvert for en stor del blir redusert til  $\text{Cr(III)}$ , men at en del krom også foreligger som seks-verdig krom i det endelige produktet. Det har blitt foreslått å tilsette metallisk aluminium for å redusere  $\text{Cr(VI)}$ , ref. /60/.

Ellers nevner ref. /62/ at "Stabilisering av tørre og semitørre restprodukter ved bruk av Ferrox-metoden krever væsentlig flere ressurser end ved stabilisering av våde restprodukter. Det forventes p.t. at ferrox-metoden udelukkende vil blive anvendt på våde restprodukter, og der regnes derfor i nærværende kun med at ferrox-metoden anvendes til våde restprodukter."

B&W Vølund omtaler for øvrig Ferrox-teknologien blant "R&D Activities", ref. /64/.

Det er lite informasjon av nyere dato tilgjengelig om Ferrox, og om teknologien blir kommersielt tilgjengelig i løpet av de nærmeste årene, er usikkert.

## 5 SAMMENLIGNING AV METODER

En har foretatt en vurdering av de behandlingsløsningene som er vurdert i detalj. De kriterier som er benyttet er:

- Utviklingsstadium
- Miljøavtrykk, inkludert energiforbruk samt gjenbruk av kjemikalier som syrer
- Kostnadsnivå
- Andel av RGR som går til gjenvinning.

Vi har sammenstilt vurderingene i Tabell 5.1. En beskrivelse av hvordan en har vektet de enkelte metodene er vist etter tabellen.

Tabell 5.1: Samlet vurdering av behandlingsmetodene

Metode	Utviklingsstadium	Miljøavtrykk	Økonomi	Gjenvinning/produkter	Samlet
Fluwa/Flurec	6 <sup>15</sup>	5	1	3	15
Halosep <sup>16</sup>	5	5	3	3	16
OiW/Norsep	2	5	3	3 <sup>17</sup>	13
Carbon8/ATC	3 <sup>18</sup>	0	6	9	18
Ash2salt	3	1	3	3	10
ArcFume	1	4	1	3	9
Tyske saltgruver	9	2	3	2	16
NOAH	9	6	7	1	23
Terrateam	7 <sup>19</sup>	2	4	0	13
Raudsand <sup>20</sup>	3 <sup>21</sup>	4 <sup>22</sup>	3	3	13

### Utviklingsstadium

Utviklingsstadium for behandlingsløsningene er vurdert med følgende gradering:

- Ingen dokumentasjon: 0
- Utredninger/idé: 1
- Laboratorieforsøk: 2
- Pilotanlegg: 3
- Ett fullskalaanlegg under etablering: 5
- Fullskalaanlegg – vellykket drift: 7
- Driftserfaring – vellykket, minst tre år: 9

<sup>15</sup> Gjelder Flurec

<sup>16</sup> Forutsatt behandling ved det enkelte avfallsforbrenningsanlegg

<sup>17</sup> Forutsatt gjenvinning av både sink og salter

<sup>18</sup> Korrigert, pga. at aktuell bruk av RGR krever omfattende prosess før det evt. ville blitt godkjent i Norden

<sup>19</sup> Korrigert pga. usikkerhet omkring varslede krav bunn- og sidetetting

<sup>20</sup> Forutsatt bruk av Halosep behandlingsteknologi

<sup>21</sup> Vanskelig å vurdere; Halosep er vurdert til 5, men det er en del usikkerhet knyttet til bruk på Raudsand

<sup>22</sup> Uavklart mht. opprinnelse til syrer i prosessene



### Miljøavtrykk inkl. bruk av avfallssyrer og energiforbruk

I det etterfølgende er satt opp en oversikt over momenter som er tillagt vekt ved vurdering av behandlingsløsningenes miljøavtrykk. En har til en viss grad lagt vekt på at resultater er dokumentert eller sannsynliggjort, og om det i praksis er løsninger som er bærekraftige/økonomisk forsvarlige.

Om behandlingsmetodene er beregnet på å benyttes ved det enkelte forbrenningsanlegget eller i ett eller flere sentraliserte anlegg, vil ha betydning for transportkostnadene, da lokale anlegg medfører vesentlig mindre transport, og derved mindre miljøavtrykk. Imidlertid vil sentraliserte anlegg ha betydelige stordriftsfordeler og større anlegg har på en helt annen måte enn mindre lokale anlegg muligheter for å sikre nødvendig kompetanse og tilstrekkelige oppfølgingsressurser. Dette vil være en betingelse for optimal drift av omfattende og til dels komplekse behandlingsprosesser. Vi har derfor ikke lagt vekt på om behandlingsløsningene er lokale eller sentraliserte når vi har vurdert de enkelte behandlingsløsningenes miljøavtrykk. Et unntak er der behandlingsanleggene ligger svært langt unna hovedtyngden av aktuelle leverandører av RGR.

Ved vekting innen miljøavtrykk, kjemikalier og energiforbruk har vi gitt følgende "score":

- Gjenvinning av metaller (1)
- Gjenvinning av salter (1)
- Utgående RGR benyttes i nye produkter uten miljørisiko ved avhending (1-2)
- Restprodukter deponeres/oppfylles uten miljørisiko under bruk eller ved avhending (3)
- Bruk av avfallssyrer (1-2)
- (Nødvendig) oppfylling av eksisterende gruveganger (1-2)

Der det har vært relevant, har det blitt gitt "negativ score" for følgende forhold:

- Lang transport fra markedet for RGR til behandlingsanlegg og evt. til deponi/oppfylling (1-3)
- Høyt energiforbruk i verdikjeden (1-2)

I Tabell 5.2 har vi sammenstilt vurderingene som er gjort innen miljøavtrykk.

Tabell 5.2: Vekting/vurdering av miljøavtrykk, kjemikalier og energiforbruk

Metode	Poeng	Fluwa/Flurec	Halosep	OiW/Norsep	Carbon8	Ash2salt	ArcFume	Tyske saltgruver	NOAH-Langvik	Terrateam	Raudsand
Gjenvinning av metaller	1	1	1	1			1				1
Gjenvinning av salter	1	1	1	1		1	1				1
Utgående RGR benyttes i nye produkter uten miljørisiko	1						1				
Restprodukter deponeres/oppfylles uten miljørisiko	3	3	3	3	0	1	3	3	3	3	3
Bruk av avfallssyrer	1-2	2	1	1					2		1
(Nødvendig) oppfylling av eks. gruveganger	1-2							2	1	1	
Lang transport fra markedet for RGR til behandlingsanlegg og evt. til deponi/oppfylling)	÷(1-3)							÷3		÷2	÷1
Høyt energiforbruk i verdikjeden	÷(1-2)	÷2	÷1	÷1		÷1	÷2				÷1
SUM		5	5	5	0	1	4	2	6	2	4

**Kostnader i verdikjeden**

Når vi har vurdert kostnader i verdikjeden, har vi benyttet følgende skala:

- >3.000 NOK/tonn RGR: 1
- 2–3.000 NOK/tonn RGR: 3
- 1.500–2.000 NOK/tonn RGR: 5
- 1.000–1.500 NOK/tonn RGR: 7
- <1.000 NOK/tonn RGR: 9

**Andel av RGR som går til gjenvinning**

Vi har vurdert i hvilken grad behandlingsmetodene gjenvinner ulike fraksjoner. En har til en viss grad lagt vekt på at resultater er dokumentert eller sannsynliggjort og om det i praksis er løsninger som er bærekraftige/økonomisk forsvarlige. Graderingen som er benyttet er:

- Ingen utnyttelse av ressurser i RGR: 0
- Nødvendig oppfylling av gruver, der en erstatter andre materialer: 1-2
- Gjenvinning av 10-30% av RGR: 3
- Gjenvinning av 30-50% av RGR: 5
- Gjenvinning av 50-70% av RGR: 7
- Gjenvinning av 70-90% av RGR: 8
- 100% gjenbruk/gjenvinning av RGR: 9

## VEDLEGG A. Oversettelse av tysk tekst i figurer

Abgas Behandlungsreaktor:	Reaktor der forurensinger bindes til kjemikalier
Abgas-Filter:	Tekstilfilter
Abgaswäscher:	Våtkjemisk gassrensaneanlegg
Absorbens/Adsorbens:	Kjemikalier som binder forurensninger
Abwasser:	Avløpsvann
Abwasserbehandlung:	Vannbehandling
Aktivkohlefilter:	Filter som benytter aktivt kull for å binde forurensninger
Alkalisierung:	Alkalisering
Asche:	Aske
Ascheextraktion:	Ekstraksjon av stoffer fra aske
Basisch:	Basisk
Beladende Aktivkohle:	Brukt aktivt kull
Buntmetalle:	Uedle tungmetaller
Dampferzeuger:	Dampkjel
Edelmetalle:	Edelmetaller
Eisen:	Jern
Feste Reaktionsprodukte:	Faste reaksjonsprodukter (ikke væskefase)
Feuerung:	Fyring (forbrenningsenhet)
Filterstaub:	Filterstøv
Flugaschenrückführung:	Tilbakeføring av flyveaske
Hg-Abscheidung:	Utskillelse av kvikksølv
Kessel:	Kjel
Kesselasche:	Kjelaske
Müll:	Avfall
Nassverfahren:	Våtkjemisk gassrensaneanlegg
Nasswäsche:	Våtkjemisk gassrensaneanlegg
pH-Absenkung:	Senkning av pH
Primärabfall:	Tilført avfall til forbrenning
Quenchwasser:	Vann fra quench (reaktor der det blir tilsatt vann)
Reaktionsprodukt:	Reaksjonsprodukt fra gassrensing
Reingas:	Renset røykgass
Rostschlacke:	Slagg (bunnaske) fra risten i forbrenningsanlegg
Salze:	Salter
Sauer:	Sur
Schlacke:	Slagg (bunnaske)
Schwermetallionenaustauscher:	Ionebytter for utskilling av tungmetaller
Endkontrolle:	Sluttkontroll
Staubabscheider:	Støvutskiller
Stäube:	Støv
Trocken- und Quasitrocken verfahren:	Tørre og halvtørre kjemiske gassrensaneanlegg
Trockenreaktor:	Reaktor der forurensninger bindes gjennom tørrkjemiske reaksjoner
Vorfluter:	Utslipp
Wäscher:	Gassvaskeanlegg
Zementierung:	Sementering

**VEDLEGG B. Referanser**

---

1. "Rückstände aus der Abfallverbrennung. Möglichkeiten und Grenzen der Verwertung von Sekundärabfällen aus der Abfallverbrennung." Karl J. Thomé-Kozmiensky. 2013  
[http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2013\\_ass/2013\\_ASS\\_79\\_278\\_TK\\_1.pdf](http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2013_ass/2013_ASS_79_278_TK_1.pdf)
2. <https://www.itad.de/ITAD/reststoffe/>
3. <http://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=22068>
4. <http://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=24592>
5. <https://www.oeras.no/getfile.php/132411/Filer/Priser/Prisliste%20N%C3%A6ringskunder%20-%2001042017.pdf>
6. "Waste to Energy plant. Kårstø Gas Processing Plant." Rapport nr. 29375-RV-0001-E04. Norsk Energi. 10.03.2010.
7. <http://www.raumnes.no/nyheter/esval-tjener-300-000-1.2259878>
8. Salt Recovery from Waste to Energy Incineration Fly Ash. A process based on evaporation of brine. Master's Thesis within the Sustainable Energy Systems programme." Gustav Stenberg. Chalmers university of technology. Master's Thesis BOMX02-16-19. Gothenburg, Sweden 2016
9. "Framtidige mengder uorganisk farlig avfall." Rapport nr. 100534-1155. Mepex Consult AS i samarbeid med Profu AB.
10. <https://price.metal.com/prices/zinc>
11. <https://price.metal.com/prices/lead>
12. "Perspektiven der Untertage-Entsorgung in Deutschland." Verband der Kali- und Salzindustrie e. V. (VKS) Reinhardtstraße 18 A 10117 Berlin. 2012.
13. "Life cycle inventories of municipal waste incineration with residual landfill & FLUWA filter ash treatment. Technical report.". Doka Life Cycle Assessments, Zurich. March 2015.
14. "Neue Technologien und Möglichkeiten der Behandlung von Rauchgasreinigungsrückständen im Sinne eines nachhaltigen Ressourcenmanagements." Stefan Schlumberger. BSH Umweltservice AG, Allmendstrasse 6, 6210 Sursee, Schweiz. Ikke datert.
15. "Resource recovery from hazardous waste – The case of msw incineration fly ashes." Christian Doppler Laboratory for Anthropogenic Resources, Vienna University of Technology, Karlsplatz 13/226, 1040 Vienna, Austria. Ikke datert.
16. <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/wi.html>

17. "Sambehandling af RGA og scrubbevæske fra forbrændingsanlæg med HALOSEP processen. Miljøprojekt nr. 1648, 2015." Miljøstyrelsen. ISBN nr. 978-87-93283-72-5.
18. "Norsep. Fra avfall til råvare. Fremstilling av råvarer fra avfallsstrømmer." Per Bakke OiW Process AS. Foredrag på Avfall Norges workshop om flygeaske. 15. Februar 2018.
19. <https://www.heroya-industripark.no/aktuelt/testanlegg-for-gjenvinning-av-flygeaske-bygges-paa-heroeya>
20. <http://c8a.co.uk/applications/>
21. [https://consult.environment-agency.gov.uk/psc/ls9-0nx-carbon8-aggregates-limited/supporting\\_documents/Forms%20and%20supporting%20documents.pdf](https://consult.environment-agency.gov.uk/psc/ls9-0nx-carbon8-aggregates-limited/supporting_documents/Forms%20and%20supporting%20documents.pdf)
22. <http://www.ucl.ac.uk/impact/case-study-repository/treating-waste-with-carbon-dioxide>
23. <http://www.statesassembly.gov.je/scrutinyreports/2012/report%20-%20ash%20disposal-technical%20report%20-%2017%20december%202012.pdf>
24. <http://nas-sites.org/dels/files/2018/02/1-5-CAREY-Carbon8-Systems-NAS.pdf>
25. <http://c8a.co.uk/wp-content/uploads/2015/01/Block-Mix-No-1-Data-Sheet.pdf>
26. "Behandling och återvinning av outnyttjade resurser i flygaska från avfallsförbränning." Rapport 2016:327. Energiforsk. ISBN 978-91-7673-327-1.
27. [http://www.energiaskor.se/goda%20ex\\_asktvatt\\_sundvall.html](http://www.energiaskor.se/goda%20ex_asktvatt_sundvall.html)
28. <http://www.easymining.se/our-offer/incineration/>
29. <http://www.easymining.se/our-technologies/ash2salt/>
30. "Metallurgisk behandling av flygaska från avfallsförbränning." ScanArc Plasma Technologies. 31.01.2017. Energimyndigheten. Projektnr. 42450-1.
31. "Bioenergi. Miljø, teknikk og marked." 1. opplag 2001. Morten H. Soma et. al.. ISBN 82-995884-0-5.
32. <https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/rapporter/rapportera/article/arcfume-for-metallurgisk-behandling-av-flygaska-fran-avfallsforbranning/>
33. <http://www.scanarc.se/arcfume/>
34. "Livscykelanalys av behandlingsprocesser för flygaska från avfallsförbränning – Jämförelse av Ash2Salt-processen med befintliga metoder." Kristin Johansson. Civilingenjörsprogrammet i energisystem Examensarbete 2017:03. ISSN 1654-9392. Uppsala 2017.
35. <http://www.ks-entsorgung.com/en/geschaeftsfelder/verwertung/>
36. [http://www.ks-entsorgung.com/de/data/pdf/standortablauf/standortablauf-utv-ha\\_en.pdf](http://www.ks-entsorgung.com/de/data/pdf/standortablauf/standortablauf-utv-ha_en.pdf)

37. "Hantering av flygaska från avfallsförbränning. Dagens hantering och framtid valg." Rapport 2015:27. ISSN 1103-4092. Avfall Sverige.
38. "Kan flyveaske benyttes til å fange CO<sub>2</sub>?". Morten Breinholt Jensen, NOAH. Foredrag på Askdagen 2017 5. april 2017 Stockholm.
39. <https://langvik.noah.no/om-deponiet/logistikk-og-frakt/>
40. "NOAH". Karsten Rabe, NOAH. Foredrag på Avfall Norges workshop om flygeaske. 15. Februar 2018.
41. "Tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for NOAH AS." Miljødirektoratet. Sist endret 7. september 2017.
42. <https://www.noah.no/wp-content/uploads/2018/03/Utslipp-til-hav-fra-Lang%C3%B8ya-pr-februar-2018.pdf>
43. "Norcem AS – NOAH AS Endret råvareforsyning til Norcem Brevik med etterbruk av Dalen gruve til avfallsbehandlingsanlegg og deponi. Områderegeringsplan Forslag til fastsettelse av planprogram." Hjellnes Consult. 16. desember 2014.
44. "NOAH AS, Norcem. Miljørisikovurdering. Underjordisk deponering av farlig avfall i Brevik." Dok.nr. 20120726-02-R. Rev.nr. 2/2016-04-28. NGI.
45. "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment." Final Draft (October 2017).
46. "Miljørisikovurdering – farlig avfallsdeponi Mofjellet Berghaller. Underjordisk deponering av farlig avfall i Mofjellet Berghaller." Dok.nr. 20140308-01-R. Rev.nr. 01/2015-05-20. NGI. 6. januar 2015.
47. Opplysninger gitt av Terrateam.
48. <http://www.terrateam.no/dev/#om-oss>
49. <http://www.norskeutslipp.no/no/Diverse/Virksomhet/?CompanyID=5179>
50. <http://www.mip.no/2016/en-gjenvinningspioner/>
51. <http://www.neset.kommune.no/Handlers/fh.ashx?MIId1=831&FilId=4019>
52. "HALOSEP FLYVEASKE BEHANDLING." Erik Rasmussen og Geir Sørensen, Stena Recycling AS. Foredrag på Avfall Norges workshop om flygeaske. 15. Februar 2018.
53. <https://www.tu.no/artikler/to-steder-kan-fa-norges-deponi-for-farlig-avfall/426438>
54. "Utvalgte lokaliteters egnethet for mottak, behandling og deponering av uorganisk farlig avfall. Vurdering." Oppdragsnr.: 5156643 Dokumentnr.: 1 Versjon: A05. Norconsult. 04.05.2015. Miljødirektoratet M-55312016.

55. [http://www.energiaskor.se/nyhet\\_22aug12.html](http://www.energiaskor.se/nyhet_22aug12.html)
56. <http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/ExjobbCivIngET/Presentationer/Kenneth.pdf>
57. <https://www.nrk.no/sorlandet/fra-miljofarlig-aske-til-miljovennlig-stein-1.12885896>
58. <https://innoventussor.no/cubeportfolio/scanwatt/>
59. "ISWA Position Paper on handling of APC residues." Approved by Dieter Reimann and Jeff Cooper. ISWA 2003.
60. "Management of APC residues from W-t-E Plants. An overview of management options and treatment methods. Second Edition." October 2008. ISWA.
61. "The Ferrox-process in an industrial scale - Developing a stabilisation process for air pollution control residues from municipal solid waste incineration." Kasper Lundtorp. Ph.D. Thesis, August 2001. Environment & Resources DTU. Technical University of Denmark. ISBN 87-89220-60-9.
62. "Livscyklusvurdering af deponeret affald." Miljøprojekt Nr. 971 2004. Miljøstyrelsen/Cowi.
63. "Askor från avfallsförbränning, farligt avfall eller en framtida resurs." Annica Öberg. Huvudområde: Miljövetenskap. Nivå: Grundnivå. Nr: 2013:M6.
64. [http://www.volund.dk/~media/Downloads/Brochures\\_-\\_WTE/Advanced\\_concept\\_for\\_waste-fired\\_power\\_plants.pdf](http://www.volund.dk/~media/Downloads/Brochures_-_WTE/Advanced_concept_for_waste-fired_power_plants.pdf)