

Notat

Utnyttelse av avgangsmaterialer fra Nussir/Ulveryggen i Kvalsund

SAKSBEHANDLER / FORFATTER

Dr. Ove Paulsen (seniorforsker)

BEHANDLING**UTTALELSE****ORIENTERING****ETTER AVTALE****GÅR TIL**

Nussir ASA ved Øystein Rushfeldt

X

SWECO AS ved Thor-Arthur Didriksen

X

PROSJEKTNR / SAK NR
804047.06/01**DATO**
2011-04-29**GRADERING**
Fortrolig

Innhold

1	Bakgrunn	2
2	Generelt om anvendelser av avgangsmaterialer	2
2.1	Keramer/glass	2
2.1.1	Plastisk forming (porselen, leirgods, teglstein)	2
2.1.2	Tørrpressing	4
2.1.3	Dimensjonsstabilitet av teglstein	5
2.2	Glass og glasskeramer	6
2.3	Steinull	6
2.4	Lette tilslag (LECA, LWA), skumglass	7
2.4.1	Autoklavherdet kalk-sandstein	7
3	Avganger fra Nussir	8
3.1	Potensielle bruksområder for Nussir/Ulverygg-avgangene	9
3.1.1	Murstein	9
3.1.2	Glass, skumglass	10
3.1.3	Steinull	10
3.1.4	Andre anvendelser	10
4	Konklusjon	10
5	Referanser	11

1 Bakgrunn

Fra den planlagte kobberutvinningen i Nussir/Ulveryggenområdet i Kvalsund er det antydning at det med dagens kjennskap til forekomsten blir generert ca. 30 millioner tonn avgangsmaterialer i løpet av driftsperioden (Thor-Artur Didriksen, SWECO rapport 01 Mars 2010). Forekomsten er imidlertid ikke fullstendig utredet og er trolig mye større. Det betyr at deponibehovet vil øke tilsvarende. Kobberet foreligger primært i mineralene Bornitt (Cu_5FeS_4) og Chalkositt (Cu_2S). I tillegg finnes noe Chalkopyritt (CuFeS_2). Konsentrasjonen av disse mineralene er i snitt rundt 2.1 % i de nevnte områdene tilsvarende et Cu-innhold på ca. 1 %. Utenom de kobberholdige mineralene inneholder bergarten også små mengder gull, sølv og platina (Rapport fra SGS Canada inc. 27. april 2011). Det planlagte årlige uttaket er antydning å ligge rundt 1-2 millioner tonn tilsvarende 0.99-1.98 millioner tonn avgangsmasser. Med en anslått pakningsgrad på ca. 50 % og spesifikk vekt på 2.76 tonn/ m^3 (se kap. 4) blir deponeringsvolumet ca. 0.75 m^3 /tonn. Det betyr et årlig deponeringsvolum på ca. 750 000-1.5 mill m^3 . I følge nevnte SWECO rapport er avgangsmaterialene lite miljøbelastende, men avgangen er finkorning med anslagsvis 50 % < 45 μm (R. A. Kleiv 2011)

I følge forslag til reguleringsplan (SWECO) er både landdeponi og sjødeponi med kapasitet ca. 25-30 mill tonn utredet. Formålet med foreliggende notat er å se på alternative måter å utnytte overskuddsmassene.

2 Generelt om anvendelser av avgangsmaterialer

De siste 10-15 årene er fokuset på utnyttelse av avgangsmaterialer betydelig skjerpet ikke minst i de store voksende økonomiene Kina, India og Tyrkia som alle har en intens gruveaktivitet. Pga. de ekstremt store tonnasje av avgangsmaterialene representerer, er det bare anvendelser innen bygg og anleggsvirksomhet som kan være alternativer til deponering. Eksempelvis ble det i Norge i 2009 generert ca. 10 millioner tonn avgangsmaterialer fra gruve drift. I samme året var produksjonen av grus ca. 13 mill tonn (Kilde: NGU rapport "Mineralproduksjonen i Norge 2009"). Dvs. at grusbehovet innen bygge- og anleggsvirksomheten er omtrent på samme nivå som produksjonen av overskuddsmasse i gruveindustrien.

Anvendelser av avgangsmasser som fyllmasser, tildekningsmasser og tilslag i betong og asfalt er utredet av Bergfald & Co og vil ikke bli behandlet i foreliggende notat. I tillegg til bygg og anlegg er jordbruk også en potensiell stor bruker av avgangsmaterialer som jordforbedringsmiddel både som mineralkilde, kalkkilde og fosfatkilde. I dette notatet vil det fokuseres på mulige keramiske anvendelser av avgangene.

2.1 Keramer/glass

Keramer og glass framstilles stort sett av naturlige mineralske råstoff. Dette gjelder fortsatt for de store volumproduktene teglstein, takstein, glass, Leca (light expanded clay aggregate) og steinull, glassvatt. Når det gjelder mer avanserte keramer slik som konstruksjonskeramer (Alumina, SiC, ZrO_2 , Si_3N_4 etc.) så framstilles de av raffinerte og kostbare råmaterialer. Glass framstilles normalt av raffinerte råstoff der spesielt fargende oksider er fjernet for eksempel jern.

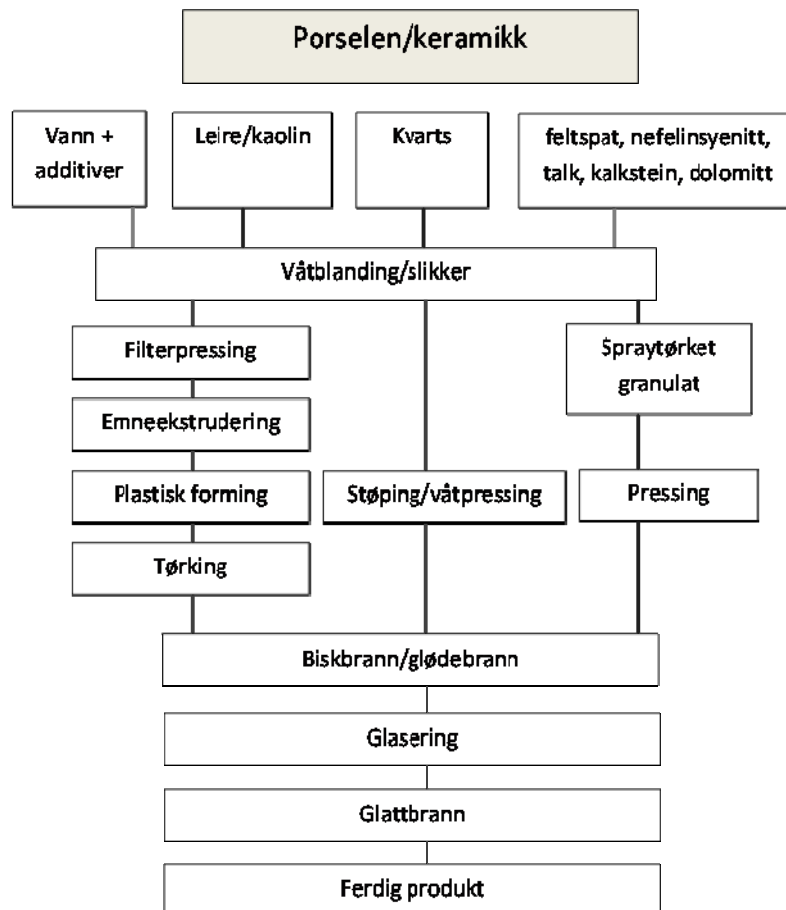
2.1.1 Plastisk forming (porselen, leirgods, teglstein)

Keramikk produsert av leire har helt opp til moderne tid vært enerådende, fordi leirer er lett tilgjengelig og er lett å forme til produkter både ved støping, pressing, dreining og ekstrudering (plastisk forming). De nevnte prosessene er alle våtprosesser som krever tørking til under 2% fuktighet før de formede produktene går til brenning ved 1000-1400 °C for sintring. I brennprosessen avspaltes krystallvann (400-600 °C) og karbonater og sulfater dekomponerer. Alkalier kombinert med silika danner lavsmeltende forbindelser som bidrar til rask sintring og dannelse av nye krystallinske faser. Sluttproduktet blir et hardt og sterkt materiale som tåler store trykkbelastninger og som er kjemisk og mekanisk stabilt over lang tid (tusener av år). Et typisk prosesskjema for produksjon av porselen/keramikk er vist i figur 1.

Naturlige råstoff blandes i vann til en slikker i henhold produktet som skal lages. Leireinnholdet er vanligvis i området 40-50 %. Dersom produktene skal formes plastisk blir slikkeren filterpresset. Filterkakene blir deretter ekstrudert til egnede emner for plastisk forming. For gjenstander som skal støpes brukes slikkeren direkte til støping i gipsformer, evt. trykkstøping i porøse polymerformer. En tredje prosessrute er basert på isostatisk pressing av spraytørket granulat. Dette er nå i ferd med å bli den vanligste formingsmetoden siden den er mye enklere enn den plastiske. Etter forming og evt. tørking blir produktene brent. Serviseporselen brennes vanligvis i to omganger, først en glødebrann ved ca. 1000 °C etterfulgt av glasering og en glattbrann (glasurbrann) ved 1200-1400 °C. Dersom produktene skal dekorerer, brennes de en tredje gang med dekor til 800-1050 °C. Sanitærporselen og elektrokeramer (isolatorer) glaseres etter tørking og brennes bare en gang.

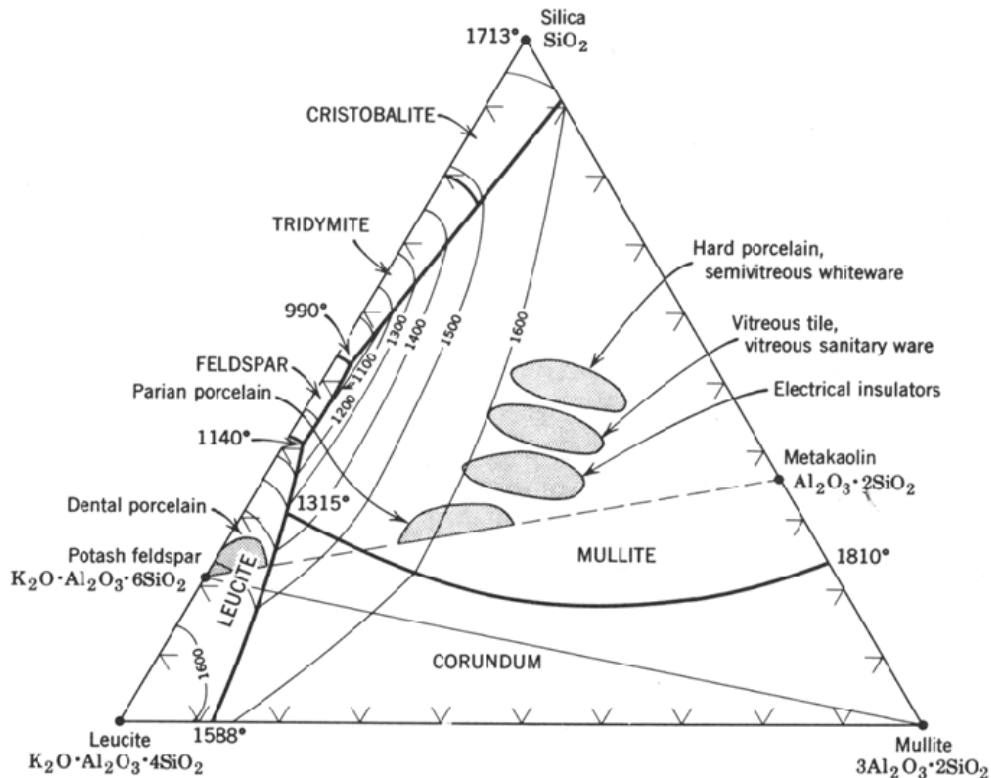
Klassisk feltspatporselen er laget av 50 % kaolin, 25 % kvarts og 25 % feltspat og brennes typisk ved 1400 °C. Keramikk er stort sett bare basert på vanlig leire og brennes ved 1100-1200 °C. Teglprodukter (murstein, takstein, marktegl, dekortegl osv.) lages hovedsakelig av leire, sand eller brent knust vrakstein og sagflis. Teglstein formes ved ekstrudering eller pressing.

Variasjonene i kjemisk sammensetning for tegl- og porselensprodukter er mange. Figur 2 viser grovt sett sammensetningsområdet for noen viktige keramiske produkter.



Figur 1

Typisk flytskjema for framstilling av glasert udekorert porselen med utgangspunkt i våt blanding av råstoffene.

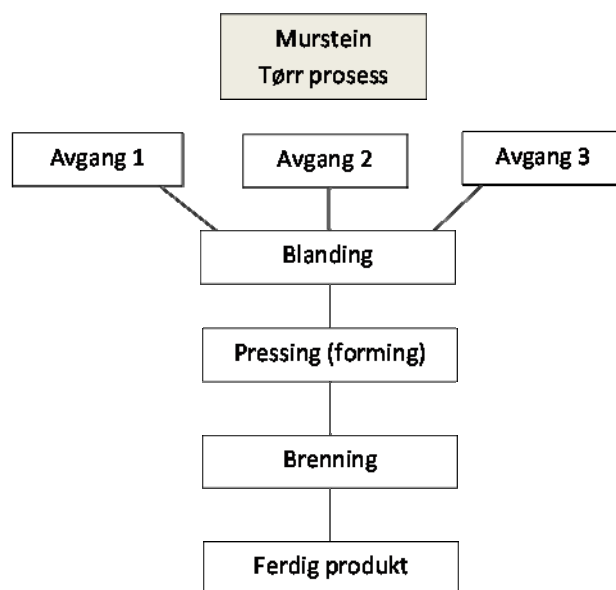


Figur 2
Fasediagram som viser typisk sammensetningsområde for ulike typer porselen (Kingery et al. 1976)

2.1.2 Tørrpressing

Mens tørrpressing har vært enerådende innenfor ildfastproduksjon og fliseproduksjon er denne formingsmetoden de senere årene blitt mer og mer tatt i bruk også innenfor serviseporselen, sanitærporselen og elektroporselensbransjen. Fordelene er at tørkettrinnet i prosessen kan sløyfes. Det sparer mye energi og plass samtidig som vrakandelen reduseres betydelig siden tørkesprekker ofte er en hovedårsak til at produkter må kasseres. En annen viktig fordel med tørrpressing er at utvalget av råstoff blir mye større enn for prosesser basert på leire. Det betyr for eksempel at finmalte avgangsmaterialer er perfekt for tørrpressing. For å oppnå tilstrekkelig håndteringsstyrke etter pressing (grønnstyrke) brukes ofte en liten leiretilsats (noen få prosent) eller evt. et uorganisk eller organisk bindemiddel. Figur 3 viser et typisk flytskjema for en tørrformingsprosess basert på for eksempel avgangsmaterialer. Moderne fliseproduksjon foregår omtrent etter et slikt prosesskjema.

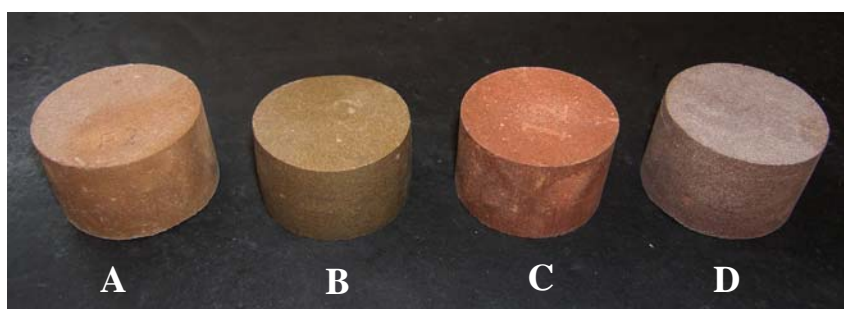
At avgangsmaterialer kan brukes direkte til framstilling av murstein ble demonstrert i et SINTEF-prosjekt i 1999-2001, der målsettingen var å utrede hvilke keramiske produkter inkludert glass som kunne lages av avgangsmaterialer [Øye, Paulsen 2001]. I den forbindelse ble det framstilt "murstein" fra bl.a. avganger fra ilmenittgruvene til Titania, avganger fra NCM (Sibelco) på Stjernøy, olivin fra Åheim og Jaorosittresidu fra Norzink i Odda (Boliden). Eksempler på dette er vist i Figur 4. Fargene spenner stort sett fra grått via rødt til nesten svart avhengig av jerninnholdet i avgangsmaterialene, dvs. typisk terrakottafarger. Prøvene som er vist i figur 4 ble presset uten bindemidler. Etter brenning var de harde, faste og sterke.



Figur 3
Flytskjema for tørrpressing av murstein basert på avgangsmaterialer

2.1.3 Dimensjonsstabilitet av teglstein

I sintringsprosessen krymper keramer typisk 10-15 % i alle retninger (volumsvinn på 30-45 %) når de lages av bare små partikler (leire). Denne krympingen kan reduseres til nesten 0 % ved å tilsette grove partikler (1-5 mm) en teknikk som brukes både i teglsteinsprosessen og ved produksjon av ildfaste materialer der dimensjonstoleransene er svært små. Sluttproduktet blir i dette tilfellet porøst med 10-30 % porøsitet, men styrken er likevel mer enn tilstrekkelig for byggformål.



- A 100% Avgang fra Titania AS (Hauge i Dalane)
- B 60% Titania avgang, 40% nefelinsyenitt avgang (NCM-Stjernøy)
- C 50% Olivin, 50% Nefelinsyenittavgang
- D 30% Jarositt, 40% Titaniaavgang, 30% nefelinsyenittavgang

Figur 4
Keramer ("murstein") laget av diverse norske avgangsmaterialer. Brenntemperatur 1060-1160 °C. Diameter på prøvene er 50 mm (O. Paulsen, SINTEF 2001)

2.2 Glass og glasskeramer

Glass defineres som et amorf materiale, mens et glasskeram er et helt eller delvis krystallisert materiale med utgangspunkt i glass. For å lage glass trengs først og fremst en glassdanner eller nettverksdanner. Den aller vanligste glassdanneren er kvarts (SiO_2) som danner glass uten andre tilsetser. Rent silikaglass er bygget opp av tetraedere med Si i sentrum og ett oksygenatom i hvert hjørne. Alle tetraederne er koblet sammen i hjørnene, derfor er silikaglass et rigid glass med høyt mykningspunkt og lav termisk utvidelse. Ved å tilsette alkalier brytes hjørnebindinger, glasset får en åpnere struktur, mykningspunktet senkes og den termiske utvidelseskoeffisienten øker. Av andre viktige glassdannere er B_2O_3 , P_2O_5 m.fl., men i foreliggende rapport vil bare silikaglass bli omtalt.

Glassprosessen består av at en råstoffblanding i form av ulike typer sand (kvarts, feltspat, kalk, etc. etc.) smeltes i en ildfast digel ved 1400-1500 °C for at glassmelten skal bli homogen. Deretter formes glasset ved en lavere temperatur (viskositet ca. 10^3 - 10^4 Pas) før det ferdige produktet avkjøles.

Ingen glass er termodynamisk stabile. Ved riktig temperatur vil alle glass etter relativt kort tid krystallisere med dannelse av ulike krystaller bestemt av glassets kjemiske sammensetning. Ved produksjon av glasskeramer blir glasset etter forming avkjølt ned til mykningspunktet og deretter varmet opp til den optimale temperaturen for krystallvekst. Etter krystallisering blir produktet avkjølt langsomt for å fjerne evt. spenninger. Glasskeramer er mye sterkere enn glass fordi krystallene virker som fiberarmering.

En fordel med glassprodukter med hensyn til sammensetning er at glass kan framstilles av nær sagt hvilket som helst mineralsk råstoff så lenge de inneholder nok silika (typisk over 50 %). Det muliggjør bruk av et meget vidt spekter av mineralske råstoff inkludert avgangsmaterialer. Siden alt skal smeltes er heller ikke partikkelstørrelsen så viktig så lenge den er liten nok (<1.5 mm [Bray 2000]). En annen viktig faktor er at tungmetaller kan immobiliseres ved å bruke de tungmetallholdige mineralene i glass [Colombo et al. 2003, Ciccu et al 2003]. Avganger som ikke kan deponeres pga. tungmetallutløsning kan derfor brukes til å lage glass. Dette glasset kan deponeres uten fare for miljøet, for eksempel som fyllmasse i veier eller tilslag i betong. Glass og glasskeramer laget av avgangsmaterialer er beskrevet i en rekke artikler [Marabini et al. 1998, Liu et al. 2009, Colombo et al. 2003, Lay et al. 2009, Erol et al. 2007, Shao et al 2005, Barbieri et al. 2000 og 2002]

2.3 Steinull

Steinull (Rockwool) lages ved å smelte stein (basalt, diabas), kalkstein, resirkulerte brikketter mm. ved en temperatur på ca. 1500 °C. Glassmelten går videre til spinnemaskinen der den spinnes til tynne fibre som etterpå formes til ulike isolasjonsprodukt. Totalt produseres det i Norge beskjedne 70 000 tonn steinull pr. år, men med økte krav til bedre isolering av hus er det forventet at dette tallet vil øke betydelig i kommende år.

Steinull er et produkt som er relativt fleksibelt med hensyn til sammensetning og kan utmerket godt lages på basis av ulike avgangsmaterialer. Marabini et al. 1998, så på muligheten for å lage glass og steinull fiber basert på bl.a. Red Mud (avgang fra Bayerprosessen for framstilling av alumina for aluminiumelektrolyse), avganger fra kromittgruver og talkavganger. Konklusjonen var at nesten alle typer avganger som er rik på MgO, Al_2O_3 jern og kalsiumsilikater kan brukes til formålet selv om de inneholder tungmetaller. Studiet viste at tungmetaller ble effektivt immobilisert. Scarinci et al., 2000, framstilte glassfiber av en blanding av bunnaske fra søppelforbrenning, havneslam fra Venezia og returglass.

2.4 Lette tilslag (LECA, LWA), skumglass

Lette tilsalg, LWA, (light weight aggregate) til betong er viktige tilsatser i store betongkonstruksjoner for å redusere vekt. Lette tilsalg med høy styrke og lav vannoppsuging (lukket porøsitet) er spesielt etterspurt bl.a. i jordskjelvutsatte områder. Materialer med volumvekt under 1.2 g/cm^3 regnes som LWA. Det kanskje mest kjente letttilslaget i Norge er LECA (light expanded clay aggregate) som lages av vanlig leire med et relativt høyt innhold av jern. Leiren med ulike tilsatser (spillolje, kalk etc.) pelletiseres og varmes opp i en roterovn til overflaten begynner å smelte. Samtidig utvikles gass inne i pelletsene som får dem til å ekspandere. Etter en gitt ekspansjonstid bråkjøles kulene etterfulgt av sikting og utstøping til ulike mureprodukter eller de selges løst som tilslag i betong, dreneringsmasse, vannrensefilter etc. Den norske lecaproduksjonen er på ca. $500\,000 \text{ m}^3/\text{år}$ som tilsvarer $150\,000$ tonn, mens den europeiske er ca. 10 ganger høyere.

Leca er et billig produkt som krever billige råstoff. Hovedelementene er SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO og andre alkalier (Na_2O , K_2O) som finnes naturlig i vanlig blåleire. For å oppnå svelling må sammensetningen ligge innenfor et visst område slik figur 5 viser [Riley 1951]. Gassutvikling kan oppstå ved dekomponering av karbonater, sulfider, avbrenning av biologisk materiale eller reduksjon av hematitt til magnetitt.

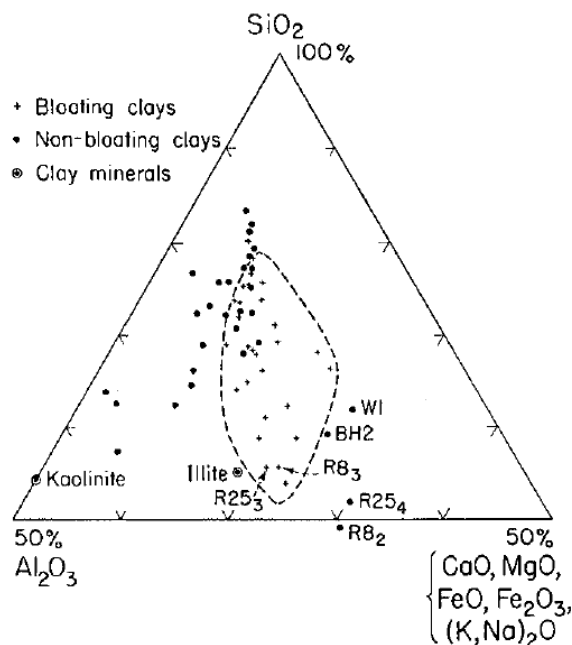


Fig 5
Svellingområdet for lette tilslag (stiplet område), Riley 1951.

Pga. de relativt store variasjonsmulighetene som foreligger ved produksjon av LWA er det gjort forsøk med å lage letttilslag ved bruk av en rekke ulike avgangsmaterialer og askeavfall [Huang et al. 2007, González-Corrochano et al. 2009]

2.4.1 Autoklavherdet kalk-sandstein

Autoklavert kalk-sandstein er et stort produkt i land som India og Kina. Steinen lages av kvartssand, kalsiumhydroksid og vann. Etter blanding presses råstoffene til stein av ulike format og blir deretter herdet i en autoklavprosess ved $125\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$ og trykk $3\text{-}15$ bar. Bindingene utgjøres av ulike CaO-SiO_2 -hydrater på samme måte som i betong.

Dette er en robust prosess der kravet til sanden er et relativt høyt silikainnhold (>40 %), men toleransegrensene er vide og gjør dette produktet velegnet for anvendelse av avgangsmaterialer. I en rekke arbeider er bl.a. flyveaske (inneholder mye $\text{Ca}(\text{OH})_2$ fra kullkraftverk brukt for å lage slik stein [Cicek et. al 2006], kobbergruveavganger [Fang et al. 2011] og mineralavganger med relativt beskjedent silikainnhold [Feng-qing 2009] brukt til å produsere denne typen murstein.



Figur 6
Autoklavert kalk-sandstein ferdig til bruk. (www.masa-group.com)

3 Avganger fra Nussir

Vurderingen av avgangsmaterialene er basert på den informasjonen som foreligger fra SGS Mineral services i Canada som har analysert borkjerner fra ulike deler av forekomstene i Nussir og Ulveryggen. Mineralanalysene SINTEF har mottatt er fra de tre områdene; Nussir nord-øst (N-NE), Nussir-vest (N-OW) og Ulveryggen (U) slik som vist i tabell 1. SINTEF har ikke mottatt oksidanalyser for respektive mineralanalysene. Den eneste komplette oksidanalysen fra SGS som er mottatt er ”Whole Rock analyses F12 Comb TLs” (tabell 2).

Tabell 1

Mineralanalyser fra Nussir (nord-øst (N-NE), Nussir vest (N-OW) og Ulveryggen (Data fra Nussir ASA)

Sample Fraction	N-NE Comp -600/+3um	N-OW Comp -600/+3um	U Comp -600/+3um	
Mass Size Distribution (%)	100.0	100.0	100.0	
Particle Size	27	23	33	
	Sample	Sample	Sample	
Mineral Mass (%)	Chalcopyrite	0.11	1.04	0.27
	Bornite	1.14	1.53	0.87
	Covellite	0.02	0.02	0.02
	Chalcocite	0.50	0.05	0.88
	Pyrite	0.00	0.00	0.07
	Other Sulphides	0.00	0.00	0.00
	Quartz	24.6	28.9	53.8
	Plagioclase	13.5	10.0	24.3
	K-Feldspar	8.60	7.69	1.58
	Amphiboles	0.26	0.80	0.08
	Micas/Clays	16.8	15.5	15.1
	Talc	0.03	0.72	0.01
	Chlorites	0.22	0.05	1.90
	Calcite	32.0	2.67	0.04
	Dolomite	1.10	30.6	0.01
	Fe-Ti Oxides	0.65	0.31	1.03
	Other	0.43	0.19	0.12
Total	100.0	100.0	100.0	

For å finne ca. oksidsammensetning av de tre mineralanalysene er hovedmineralene unntatt sulfatene omregnet til oksider med utgangspunkt i oksidsammensetninger for de respektive mineralene hentet fra http://webmineral.com/Mineral_Definition.shtml. For gruppen mica/clay er sammensetningen for biotitt lagt til grunn. De tre beregnede analysene pluss Whole Rock analyses F12 Comb TLs er vist i tabell 2. I samme tabell er oksidsammensetningen til noen typiske keramiske produkter [vanlig flaskeglass/vindusglass (soda-kalk-silikat) og steinull (Rockwool)], også vist. I en supplerende rapport til

Tabell 2

Typiske oksidanalyser for noen keramiske produkter sammenlignet med mineralanalyser fra Nussir/Ulveryggen

Oksid	Nussir	Nussir	Nussir	Ulveryggen	Teglstein	Porselen	Vitropors	Leirgods	Veggflis	Flaskeglass	Rockwool
	F12 Comb 10265-Feb11	N-NE	N-OW	U							
SiO ₂	48.8	56.6	59.4	81.6	46-62	70	60	67.0	72.0	70.0	39.6
Al ₂ O ₃	9.41	7.5	6.5	7.0	11-35	25	35	24.0	16.0	2.0	21.5
Fe ₂ O ₃	2.41	1.9	1.8	1.5	1-11			3.0	0.6		2
TiO ₂	0.32	0.0	0.0	0.0	0.5-1.5			1.3	0.3		6.4
Na ₂ O	1.62	0.9	0.7	1.5	0.2-1.2	2	2	1.2	0.1	23.0	0.1
K ₂ O	3.49	4.0	3.8	2.0	1.5-4.7	3	1	2.3	1.2		0.8
CaO	16.5	23.8	14.8	2.7	0.3-19		1	0.5	9.3	5.0	15.4
MgO	2.27	5.3	12.9	3.7	0.4-12.8		1	0.7	0.5		10.7
Ref.	SGS	SGS	SGS	SGS	Worrall	SINTEF	SINTEF	R & R	R & R	Bray	Rockwool

SGS rapporten utført av Kleiv ved NTNU (Kleiv 2011) er bl.a. partikkelstørrelsesfordeling og midlere spesifikk vekt av flotasjonsavgangene Comb Tails F6/F9 (Combined Nussir Tails), Comb Tails F11 (Combined Ulveryggen Tails), F12 Comb tails (Combined Nussir Tails), LCT-1 Ro Tails C (Nussir Rogher Tails) og LCT-2 Ro Tails C (Ulveryggen Rougher Tails) målt. Resultatene viste at 90 % av avgangene hadde partikkelstørrelse under 110 µm og 50 % var mindre enn ca. 45 µm. Gjennomsnittlig densitet var 2.76 g/cm³. Pakningstettheten i avgangen er anslått til vel 1 tonn/m³ (Rushfeldt i e-mail til O. Paulsen 16. mai 2011). Det tilsvarer en pakningsrad på vel 36 %. Trolig vil reell pakningsgrad ligge rundt 50 %¹.

3.1 Potensielle bruksområder for Nussir/Ulverygg-avgangene

3.1.1 Murstein

Ved å sammenligne avgangsmaterialene med typiske teglsteinsammensetninger ser det ut til alle avgangene kan brukes til produksjon av ulike mursteinsprodukter basert på tørrpressing og brenning rundt 1150-1200 °C. For å unngå lang transport av råmaterialene bør et evt. produksjonsanlegg for eksempel for murstein basert på avganger plasseres ved oppredningsanlegget. I tilfellet Nussir kan naturgass brukes til brennovnene. I den grad det er nødvendig å tilsette en binder for å oppnå høy grønnstyrke kan evt. mindre tilsetser av lokal leire brukes. En mursteinsfabrikk basert på pressing er lite arbeidsintensiv og kan kjøres nesten helautomatisk fra råstoff til ferdig produkt. Men tonnasjemessig monner det lite dersom det skandinaviske markedet er målområdet. For eksempel var totalproduksjonen av teglstein ved Norges eneste teglverk Wienerberger AS-Bratsberg tegl i 2010 på 21 000 tonn.

¹ Pakningsgraden for runde partikler med samme diameter er ca. 62 %. I en fordeling av partikler med forskjellig størrelse vil pakningsgraden øke.

Det høye silikainnholdet i avgangene spesielt fra Ulveryggen gjør disse egnet til produksjon av autoklavert sand-kalkstein, men det krever lett tilgang til en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kilde. Det er mye kalsium i Nussir, men siden den foreligger som kalsitt og ikke som kalsiumhydroksid (portlanditt) er trolig denne anvendelsen av avgangene uaktuell.

3.1.2 Glass, skumglass

Pga. glassets fleksibilitet med hensyn til sammensetning ser det ut til at alle avgangene kan brukes til direkte framstilling av glassprodukter. For eksempel glassfliser for veggdekoring, skumglass til bruk som lette tilsalg i betong, isolerende fyllmasser i veier osv. Laboratorieforsøk vil vise hvilke glass som kan lages og hvilke egenskaper de har. Ved å krystallisere glasset kan styrken økes betydelig og dermed utvide bruksområdet.

3.1.3 Steinull

Steinull er også trolig et aktuelt produkt som kan framstilles av Nussir- og Ulveryggavgangene. Steinullprosessen er også en glassprosess med relativt stor fleksibilitet. Sammensetningen av steinull oppgitt fra Rockwool (tabell 2) og avgangsmaterialene er meget lik bortsett fra aluminainnholdet som er lavere i avgangene. Alumina øker bl.a. viskositeten på glass på samme måte som silika. Mangel på alumina kan derfor kompenseres med økt mengde silika. Med økte krav til bedre isolasjon av bygninger vil etterspørselen etter steinull øke. Avgangsmaterialer som råstoff for steinullproduksjon er derfor interessant å se nærmere på selv om det monner lite rent tonnasjemessig. Rockwools produksjon i Norge i 2010 var eksempelvis på 70 000 tonn (tall oppgitt fra Rockwool).

3.1.4 Andre anvendelser

Anvendelser til betongtilslag, asfalt, tildekkingsmasser og fyllmasser er behandlet i rapporten fra Bergfald & Co, men potensialet som jordforbedringsmateriale burde absolutt være aktuelt siden avgangsmaterialene inneholder mye kalsitt samtidig som mengden løsbare tungmetaller er svært lav. I motsetning til keramer og glass kan jordforbedring være et typisk storvolummarked. Det avgjørende blir trolig transportkostnader siden de store jordbruksområdene ligger langt unna Finnmark.

4 Konklusjon

Med forbehold om en viss usikkerhet i oksidanalysene av avgangsmaterialene fra Nussir/Ulveryggen ser det ut til at avgangene er velegnet til både ulike mursteinsteinsprodukter og fliser, ulike typer glassfliser og glasskeramiske fliser og til isolerende steinull. Dette er områder der avganger kan brukes til å framstille avanserte produkter i sterkt automatiserte produksjonsprosesser. På den andre siden er tonnasjene små. Det største potensialet tonnasjemessig ligger i utnyttelse av avgangsmaterialene til ulike typer fyllmasser, tilsalg (betong, asfalt, LWA) og jordforbedringsmasse. Tilgangen på naturlige grusforekomster er raskt fallende noe som kan aktualisere bruk av avgangsressurser. Dersom det skjer er det en fordel at avgangsdeponiene er lett tilgjengelige og at det finnes gode muligheter for sjøtransport.

5 Referanser

- Barbieri Alkaline and alkaline earth silicate glasses and glass ceramics from municipal and industrial waste. *J. of Eur. Cer. Soc.* 20 (2000) s.2477-2483
- Barbieri Thermal and chemical behaviour of different glasses containing steel fly ash and their transformation into glass-ceramics
J. of Eur. Cer. Soc. 22 (2002) s.1759 -1765
- Bray Charles Bray, *Ceramic and Glass: A basic technology.*
Society of glass Technology, Sheffield UK, 2000
- Ciccu Heavy metal immobilization in the mining-contaminated soils using various industrial wastes. *Minerals Engineering* 16 (2003) s.187-92
- Cicek Lime based autoclaved fly ash bricks
Construction and building materials 21 (2007) s.1295 -1300
- Colombo Inertization and reuse of waste materials by vitrification and fabrication of glass based products
Current Opinion in Solid State and Materials Science 7 (2003) s.225-239
- Erol Production of glass-ceramics obtained from industrial wastes by means of controlled nucleation and crystallization
Chem. Eng. Journal 132 (2007) s. 335-343
- Fang Utilization of copper tailing for autoclaved sand-lime brick
Construction and building materials 25 (2011), s. 867-872
- Feng-qing Autoclaved brick from low-silicon tailings
Construction and building materials 23 (2009) s. 538-541
- G.-Corrochano Production of light weight aggregates from mining and industrial wastes
J. of Environmental Management 90 (2009), s.2801-2812
- Huang Production of lightweight aggregates from mining residues, heavy metal sludge and incinerator fly ash. *J. of Hazardous Materials* 144 (2007) s.52-58
- Kingery *Introduction to Ceramics* Wiley Interscience, N.Y. 1976
- Kleiv Rolf A. Kleiv. Fysiske og kjemiske egenskaper til flotasjonsavgang fra nussir-og Ulveryggen-forekomstene. NTNU rapport M-RAK 2911:7, 17. mai 2011 (ikke endelig rapport)
- Lay Characteristics of silicate glasses derived from vitrification of manganese crust tailings *Ceramics International* 35 (2009) s.1961-1967
- Liu Review on treatment and utilization of bauxite residues in China

In. J. Miner. Process. 93 (2009) s.220-231

- Marabini New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass-and rock-wool fibre. In. J. Miner. Process. 53 (1998) s. 121-134
- Øye, Paulsen Bruk av avgangsmaterialer Fase 1: Kartlegging
SINTEF rapport STF24 F01510 (2001) 41 sider
- Paulsen Gjenvinning og framstilling av nye produkt fra avgang og eksisterende material
Norsk Bergforenings vårmøte, Molde 20-22 april 2005
- R & R W. Rayan and C. Radford Whitewares production, testing and quality control
Pergamon Press 1987
- Riley Relation of chemical properties to the bloating of clays
J. Am. Cer. Soc.4 (1951) s.121-128
- Rockwool <http://www.Rockwool.no>
- SINTEF Diverse arbeider utført for Norsk porselensindustri av Ove Paulsen i perioden
1980-2002
- Scarinci Vitrification of industrial and natural wastes with production of glass fibres
J. of Eur. Cer. Soc. 20 (2000) s.2485-2490
- Shao Production and properties of cordierite-based glass-ceramics from gold tailings
Minerals Engineering 18 (2005) s.635-637
- Worral Clays and ceramic raw materials, second edition.
Elsevier Appl. Sci. Publ. 1986