

Användning av askor från förbränning med returpappersslam inom gruvindustrin

Erik Nordström, Mattias Holmström och Tomas Sandström



**Användning av askor från förbränning med
returpappersslam inom gruvindustrin**

**Use of ashes from combustion of de-inking
sludge in mining applications**

Erik Nordström
Mattias Holmström
Tomas Sandström

Q4-103

Abstract

- Försöken har visat att det borde vara möjligt att ersätta 50% av cementet med flygaska från förbränning av bränslemixer där returpappersslam ingår vid uppåtgående panelbrytning.
- Mycket långa lagringstider (6 mån) gav en ökning av tryckhållfastheten med mer än 35%.
- Vid användning av enbart aska som bindemedel bör ersättning av cement:aska i förhållandet (1:2) och/eller långtidslagring provas.
- Flygaskor från sopförbränning i rosterpannor var inte lämpliga att använda i obehandlad form p.g.a. gasutveckling.
- Laktester på färdig pasta (cement, anrikningssand och flygaska) jämfört med analys på aska visar att askan inte ger något nämnvärt tillskott av farliga ämnen.

Sammanfattning

Genom laboratorieförsök och en teknikdemonstration vid Zinkgruvan har möjligheterna till att ersätta cement med flygaska som bindemedel i gruvtillämpningar undersökts. Primärt har testerna utförts med tanke på att använda tekniken vid s.k. panelbrytning med primär- och sekundärstoper enligt det koncept som används vid Zinkgruvan Minings gruva i Zinkgruvan. Panelbrytning innebär vid Zinkgruvan att cementstabiliserad pasta används för att fylla gamla brytrum och möjliggöra uttag av angränsande delar av malmen. I grova drag eftersträvas i Zinkgruvan två olika typer av blandningar med cement, anrikningssand och vatten. Typerna indelas efter användningssätt i primär- och sekundärstoper. I den första eftersträvas någon eller några MPa tryckhållfasthet, medan en sekundärstop huvudsakligen skall vara vattenhållande (0,15-0,20 MPa). Liknande teknik och koncept fast med högre målhållfastheter har använts och kommer möjligen åter att användas i Garpenbergsgruvan.

Försöken har visat att det borde vara möjligt att ersätta 50 % av cementen med flygaskor från bränslemixer där avvattnat returpappersslam ingått, och att de borde kunna användas i både primär- och sekundärstoper. De använda askorna ger ett aktivt bidrag till hållfastheten och har den fördelen att de produceras året runt, vilket också är kravet från gruvan för att överväga ett byte av bindemedel. Flygaskor från sopförbränning i rosterpannor visade sig inte lämpliga att använda i obehandlad form p.g.a. gasutveckling. Det har också framkommit att hållfasthetstillväxten pågår under mycket lång tid och att man efter 6 månaders lagring ökat hållfastheten med mer än 35 % jämfört med 28-dygnsvärdet.

I kompletterande laboratorietester där all cement ersattes med aska, tänkta att användas i sekundärstoper, uppnåddes endast halva den önskade tryckhållfastheten. Vidare tester med ersättning av cement med större andelar än 1:1 eller med viss samblandning med cement för att aktivera puzzolana egenskaper hos askan skulle kunna vara en lösning på detta.

För att bedöma potentiell miljöpåverkan har laktester på färdig pasta med cement, anrikningssand och flygaska gjorts. Laktesterna visar att den provade askan inte ger något nämnvärt tillskott av miljöfarliga ämnen.

En grov bedömning av potentialen är att 20.000-50.000 ton/år kan finna avsättning vid de gruvor som använder tekniker där cement ingår som bindemedel i större stabiliserande gjutningar.

I den närmaste framtiden bör forskningen fokuseras på att utveckla konceptet att ersätta cement med aska för användning i sekundärstoper. Receptoptimering i lab följt av en provdrift i sekundärstoper är önskvärt. Erfarenheterna från detta kan sedan ligga till grund för bedömningen om användning även i primärstoper är aktuellt.

Summary

Via laboratory tests and a full-scale demo the possibilities to replace cement with fly ash been tested for mining applications. Primary the technique was to use it in panel stope mining according to the concept used in the Zinkgruvan Mining in Sweden. Panel stope mining means that a cement stabilised mix is used to fill out explored parts of the ore and make it possible to take out adjacent parts of the ore body. Mainly two different kinds of mixes with cement, sand and water are used. The types are called primary and secondary stopes. In the primary stope a couple of MPa compressive strength is needed, while a secondary stopy mainly should be possible to keep water in place and prevent hydraulic failures (0,15-0,20 MPa compressive strength). Similar technique is used in the Garpenberg Mine in Sweden but with higher target strengths.

The tests has shown that it should be possible to replace 50% of the cement with fly ash from fuel mixes with de-watered de-inking sludge both in primary and secondary stopes. They give an active contribution to the compressive strength and have the main advantage that they are produced all-year-round, which is also a demand from the main to even consider a change in binder. Fly ash from waste incineration in grate fired boilers has showed not to be suitable due to gas formation. The tests showed that a storage for 6 months gave an increase of the compressive strength of more than 35% compared to the 28-day test.

Complementary tests with solely ash to be used in secondary stopes gave that only half of the wanted strength could be achieved. Further tests with replacement of the cement with more than 1:1 or with a small amount of cement for activation of the ash could be a solution to this.

To estimate the potential environmental impact leaching tests on hardened paste with cement, sand and fly ash was made. The results showed that the tested ash did not contribute to the mix when it concerns environmentally dangerous substances.

A course estimation of the potential is that 20.000-50.000 ton/year can be utilised in the mines where this technique (with cement) is used or in other applications with larger amounts of stabilising casting.

In a close future research should be focusing on replacing cement in the secondary stopes so that experiences from this could be used also in the primary stopes. Optimizing recepies followed by pilot production in secondary stopes would be beneficial. The experiences from this can then be used before considering use in primary stopes.

Innehållsförteckning

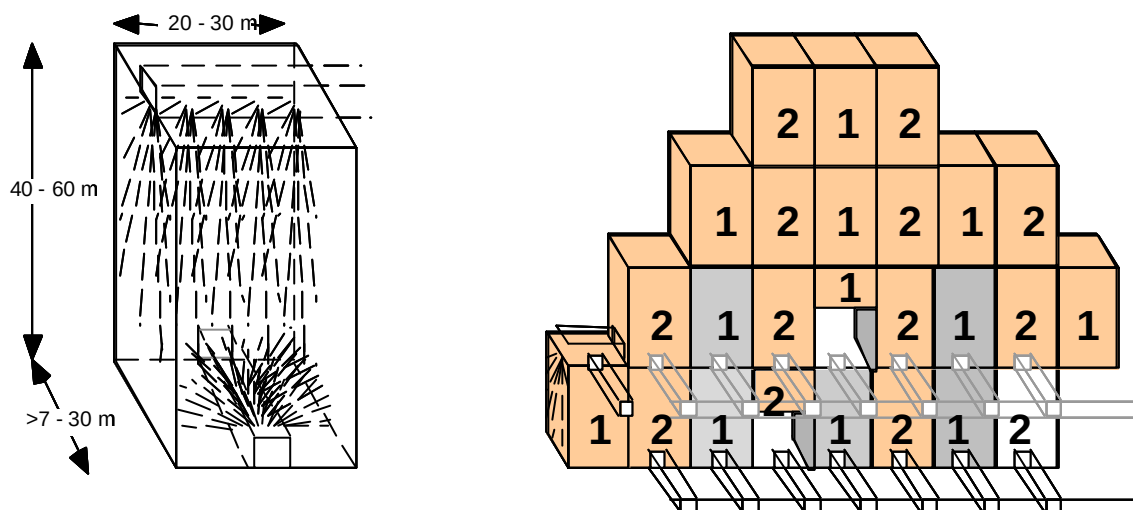
(Uppdateras automatiskt genom att markera och trycka F9 på tangentbordet!)

1	Bakgrund och brytningsteknik.....	1
2	Cementpasta för återfyllning	2
2.1	BLANDNINGSFÖRFARANDE OCH TRANSPORT	2
2.2	BINDEMEDEL.....	3
2.3	BALLAST OCH TILLSATSMATERIAL.....	3
2.4	FÄRSKA EGENSKAPER.....	4
3	Laboratorieundersökningar.....	7
3.1	ASKOR OCH ASKTYPEN	7
3.2	REAKTIVITET	8
3.3	FÄRSKA EGENSKAPER.....	10
3.4	TRYCKHÅLLFASTHET	11
3.5	LAKTESTER	16
3.6	SLUTSATSER FRÅN LABORATORIETESTER	18
4	Teknikdemonstration vid Zinkgruvan.....	19
4.1	FÖRBEREDELSE	19
4.2	BLANDNINGSFÖRFARANDE	19
4.3	PROVTAGNING OCH GJUTNING.....	20
4.4	SLUTSATSER FRÅN TEKNIKDEMONSTRATION.....	20
5	Diskussion och slutsatser	22
6	Forskningsbehov.....	23
7	Marknadsbedömning	24
8	Litteraturreferenser.....	25

1 Bakgrund och brytningsteknik

Inom gruvindustrin används ibland stora mängder betong eller betongliknande material med cement som bindemedel. Gjutningarna kan vara av allmänt stabiliserande karaktär, vara en del av driften eller göras i tillhörande konstruktioner som finns i gruvan. Betongsprutning är t.ex. en vanlig förstärkningsmetod men också konventionell gjutning av valv, väggar och balkar förekommer. Vid nedåtgående panelbrytning, jämte vid uppåtgående panelbrytning där malmkroppen delas upp i s.k. stoper används i regel cement för att stabilisera anrikningssanden som används för igensättning. Tekniken syftar till att stabilisera brytningsrum eller anslutningar mot gamla brytningsrum för att möjliggöra ett fortsatt uttag av malm.

Vid Zinkgruvan Minings gruva tas malmkroppen ut genom att s.k. primär- och sekundärstoper sprängs och lastas ut. I figuren nedan visas en skiss över brytningsprocessen.



Figur 1. Exempel på storlek av stop (vänster) och exempel på primär- (1) och sekundärstoper (2) (höger.)

Den finmalda sand som blir över efter anrikningsprocessen blandas med cement till en pasta som används för att återfylla de utsprängda bergrummen. Beroende på om det är primär- eller sekundärpall som skall återfyllas kan cementförbrukningen vara upp 5-6 % inblandning vilket i Zinkgruvans fall kan innebära upp emot 100 ton per dag. Ersättning av cement med aska till minst 50 viktsprocent skulle innebära en ökad lönsamhet i form av kraftigt sänkta bindemedelskostnader.

Panelbrytning med cement som stabiliserande material har tidigare använts vid Garpenbergsgruvan. Eventuellt skall tekniken återupptas vid en ny fyndighet i Garpenbergsgruvan. Tekniken används också internationellt och betraktas som en etablerad metod vid ett femtiotal gruvor i olika länder. Kolflygaskor och masugnsslagg är vanliga bindemedelsersättare. Ersättning av cement i nivåer om upp till 50 % är vanligt.

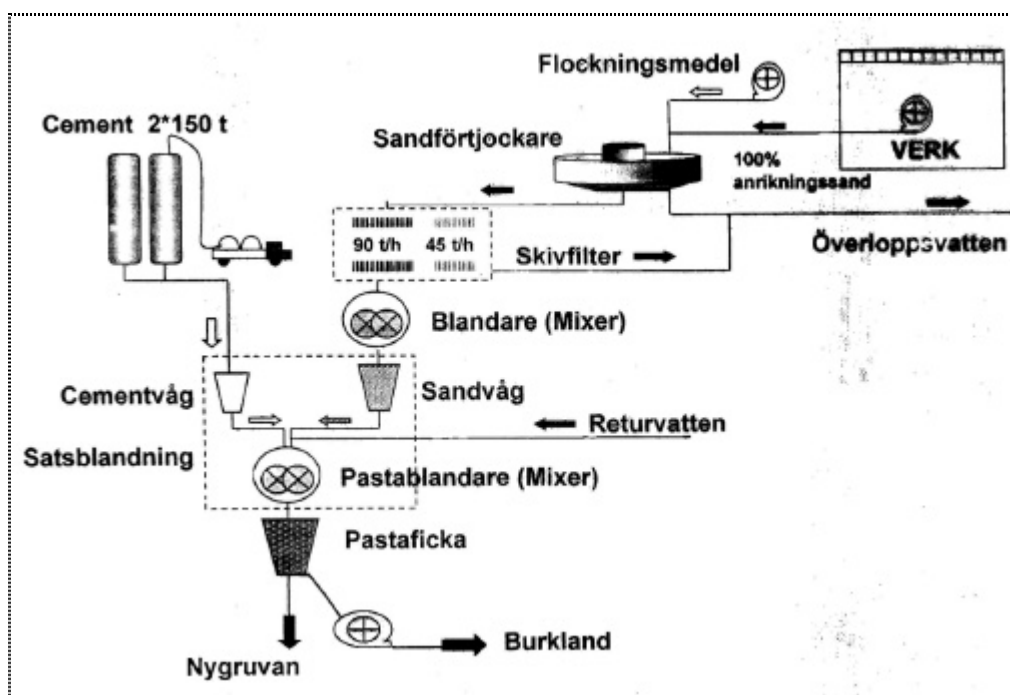
2 Cementpasta för återfyllning

Vid återfyllningen av primärutrymmen bör en hållfasthet av 0.5–1 MPa eftersträvas. Återfyllningen av sekundärutrymmen syftar endast till att binda vatten för att förhindra att stora hydrauliska tryck byggs upp i gruvan med risk för ras och vattenfyllnad av underliggande delar. Säkerhetsaspekterna är den enskilt viktigaste parametern.

2.1 Blandningsförfarande och transport

Som framgår av figur 2. sker pastatillverkningen i ett antal olika steg. När sanden kommer från sandförtjockaren sker blandningen i följande steg.

1. Sanden avvattnas till en TS-halt på ca. 75 % i ett skivfilter.
2. En förkonditionering av sanden sker i blandaren till en lämplig konsistens med hjälp av energiförbrukningen på blandaren.
3. Efter att cement och sand vägts upp släpps den ned i pastablandaren. Kontroll av konsistens sker med hjälp av energiförbrukningen på blandaren. Om blandningen är för trög tillsätts extra vatten.
4. Pastan släpps sedan ned i pastafickan där den mellanlagras för att undvika att få in luft i pumpsystemet.
5. All pasta transporteras ned till gruvan via pumpning. Om pastan skall transporteras till det s.k. Burklandsområdet måste pumpning ske ca. 1.5 km horisontellt.



Figur 2. Beskrivning av processteg vid tillverkning av pasta för panelbrytning (Zinkgruvan).

2.2 Bindemedel

Idag används ett portlandcement av typen Byggcement. Karaktäristiskt för Byggcementet är att man vid cementtillverkningen ersatt ca. 10-15% av den aktiva portlandklinkern med kalkfyller i syfte att göra högviskösa betongblandningar mindre känsliga för separation. Detta med bibehållen hållfasthet.

Vid Zinkgruvan används olika mängd cement beroende på önskad hållfasthet och i vilken del av gruvan som gjutningen skall göras. I primärutrymmen används ca. 5 % cement i blandningarna. Bedömningen av cementbehovet i primärutrymmena görs med önskad hållfasthet som utgångspunkt enligt "Moss formula". Parametrar som vägs in är rummets dimensioner, brukets densitet och önskad säkerhetsfaktor. För sekundärutrymmen används huvudsakligen en mix där ca. 1-2 % cement används. Där är syftet främst att binda vatten och att inte riskera några hydrauliska brott. Dessa pallar kommer att vara stabiliserade av primärstoper och skall endast ha hållfasthet nog att inte hydrauliska brott uppstår.

Bindemedlet hanteras idag torrt och det bör även alternativa bindemedel göras. Torr utlastning och transport med bulkbilar av askor krävs för att de skall vara ett realistiskt alternativ på kort sikt. Då bibehålls också bindningsegenskaperna hos askorna.

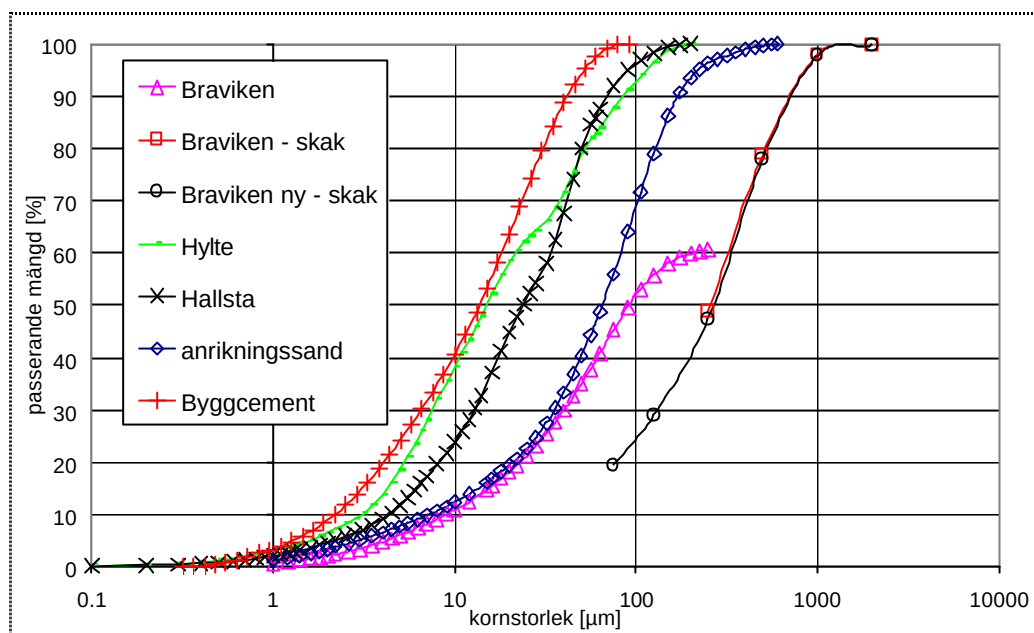
Om tillräcklig reaktivitet går att finna vid samblandning med askor kan delar av cementet ersättas med flygaska. Det är också detta som undersökningen syftar till att utreda.

2.3 Ballast och tillsatsmaterial

I cementpastan används endast sand från anrikningsverket som ballastmaterial. Ett sandprov och aska från Braviken har skickats till Cementas laboratorium i Slite för bestämning av kornstorleksfördelningen. I en tidigare undersökning [1] har även askorna från Hylte och Hallsta analyserats vilket också redovisas i figur 3. Kännedom om kornfördelningen ger en ökad förståelse för cement (-ask) pastans reologiska egenskaper. Som framgår av diagrammet nedan har sanden en max kornstorlek om ca. 0,25 mm. Bravikenaskan har på finandelarna en liknande kornstorleksfördelning som sanden. Att notera ur diagrammet är att det finns tre kurvor för Bravikens aska. De två kurvorna *Braviken* och *Braviken – skak* är siktanalyser på samma material, men utfört med olika metoder. De kurvor som benämns *Braviken - skak* och *Braviken ny- skak* är utfört som siktning av torrt material med skaksiktning. Alla övriga kurvor är framtagna med s.k. laserdiffraktionssiktning efter att materialet lösts upp i sprit. Ett annat sätt att karaktärisera askor skulle vara att mäta den specifika ytan på materialet. Det säger förmodligen mer om vattenuppsugande förmåga än kornstorleksfördelningen. Den metoden har inte använts inom ramen för detta projekt.

Testerna på *Braviken ny – skak* syftade till att undersöka om kornstorleksfördelningen förändrades efter installation av SNCR-utrustning. Poängen med SNCR-utrustning är att minska NO_x-utsläpp alternativt CO₂-utsläpp. I detta fall ger det också en fullständigare

förbränning av bränslet. Vid en okulär jämförelse ser den nya askan ut att innehålla en lägre andel rena kolbitar (del av det grövsta partiklarna) än tidigare. Ur diagrammen nedan kan man dock inte se någon skillnad i kornstorleksfördelning.



Figur 3. Siktcurvor på anrikningssand och askor (lasersiktning med askor upplösta i sprit för alla utom "Braviken – skak").

2.4 Färska egenskaper

För att få en stabil pasta som inte separerar under transport är det viktigt med god sammanhållning och rätt konsistens. Separation av bruket kan leda till att de långa pumpledningarna sätts igen med besvärande och produktionsstörande stopp som följd. I värsta fall kan också igengjutning av vertikala delar också ske, vilket måste lösas med t.ex. vattenbilning e.d.

Vid Zinkgruvan mäts effektförbrukningen på blandaren för att kontrollera pastans konsistens. Genom stickprovskontroll av sättmättet säkerställs att önskade flytegenskaper erhålles på pastan. Vanligen är målvärdet för sättmättet ca. 7-10 tum. Inom gruvindustrin används också begreppet slumpstal som är en försvenskning av det engelska namnet för sättmätt som är *slump*.

Det är vanligt att effektförbrukningen används som mått på färsk betongs egenskaper. Det är dock ett mycket grovt värde som ger en sammansatt bild av viskositet och flytgräns hos den färska betongen. Den pasta som tillverkas har i och för sig en mycket låg flytgräns vilket ger att huvudsakligen viskositeten mäts. Det är också inom betongreologin ett känt faktum att sättmättet huvudsakligen ger en uppfattning om betongens flytgräns. I de relativt lösa konsistenserna som önskas är sättmättet inte en optimal metod. För att få en säkrare

bestämning av pastan flytegenskaper, bör istället utbredningsmått enligt SS-EN 12350-5 bestämmas. En annan metod att bedöma viskositeten är att använda någon form av trattförsök där tiden för att rinna ur behållaren ger ett grovt mått.

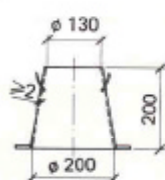
Idag utgör inte konsistensen något problem vid pumpning ned i gruvan, och sättmålet har hittills utgjort ett tillräckligt noggrant mått. För optimering av effektförbrukningens koppling till konsistensen torde dock utbredningsmålet vara ett bättre verktyg. I laboratorieundersökningarna har såväl sättmål som utbredningsmål använts. För mätning av konsistens vid små blandningsstorlekar har också s.k. slagbordsmätning gjorts. Nedan ges en kort beskrivning av de tre använda metoderna.

2.4.1 Sättmål

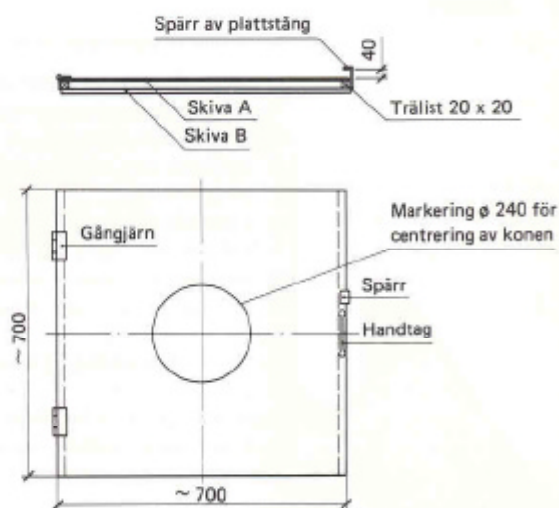
Sättmålet (mm) anger som hur mycket betong/pasta-konen sjunker ihop efter att stålkonen dragits bort. Ett högt sättmål anger att betongen är lös i konsistensen. Främst ger sättmålet en uppfattning om betongens flytgräns, vilket är ett mått på hur mycket energi som krävs för att få betongen i rörelse.

2.4.2 Utbredningsmål

Utbredningsmålet anger vilken diameter betong/pasta-konen får efter att stålkonen dragits upp och materialet utsatts för 10 stötar. Ett högt värde på utbredningsmålet anger att betongen är lösare i konsistensen. Utbredningsmålet ger en mer sammansatt bild av betongens flytgräns och viskositet, d.v.s. både hur mycket energi som krävs för att få betongen att röra sig och vilken energi som krävs för att hålla materialet i rörelse.



Figur 1. Kon av plåt



Figur 2. Fallbord

Figur 4. Utrustning för mätning av utbredningsmål.

2.4.3 Slagbord

Med slagbordet kan mätningar göras för mindre satsstorlekar då en mindre mängd material behövs för att utföra själva provet. Provningsen utförs enligt standard EN 459-2. Slagbordsmätningen ger ett mått (i mm) på vilken diameter en betong/pasta-kon får efter att en mässingskon dragits upp och utsatts för ett bestämt antal stötar stötar. Ett högt värde på slagbordet anger att betongen har en lösare konsistens. Mätningen med slagbord ger samma information om det reologiska beteendet som utbredningsmättet.

3 Laboratorieundersökningar

3.1 Askor och asktyper

Ett viktigt randvillkor vid val av askor att användas vid panelbrytning är att gruvdriften pågår året om. Den aska som skall användas måste därför vara tillgänglig året runt antingen genom lagring av tillräckligt stora volymer eller genom att använda askor från ett verk med åretruntproduktion. Det är också anledningen till att det i projektets titel framgår att primärt askor från bränslemixer där returpappersslam ingår skall provas. En annan anledning är att askan huvudsakligen utgörs av askan från returpappersslam som innehåller kaolin och krita vilket förväntas ge ett bidrag till hållfasthetsutvecklingen. Inledningsvis provades blandningar av flygaskor från avfallsförbränning (Linköping, Uppsala båda rosterpannor) också, men dessa gav alla upphov till tidig och kraftig gasbildning som skulle ge stora problem vid pumpning av pastan. Därför uteslöts dessa i de fortsatta testerna. Den uppkomna gasbildningen kan härröra från ett innehåll av partiklar av aluminiummetall som reagerar med cementpastan under bildande av vätgas. Hypoteser kring att det är ammoniak som bildas när aluminiumnitrid kommer i kontakt med vatten finns också, men vid blandningen kunde ingen ammoniaklukt kännas. Försättningsvis fokuserades arbetet på följande tre pappersbruks flygaskor.

Holmen Paper, Hallsta bruk

Holmen Paper, Braviken

Stora Enso, Hyltebruk

Tabell 1. Panntyp och bränslemix för provade pappersbruksaskor (vikt-%)

	Braviken*	Hylte	Hallsta**	
Panntyp	Roster	CFB	CFB	
Bränslemix	29 %Slam	63% Slam	A-panna	HP3-panna
	41 % Bark	30% RT-flis/GROT	Slam	ReturTrä-flis
	26 % RT	7% kol	Olja	Bark
	3 % Rejekt (plast m.m.)			Slam
	0,5 % Olja			Olja

* Askor från Braviken i de kompletterande testerna har i princip samma bränslemix (inget reject).

** Askorna från de två olika bränslemixerna blandas i förhållandet 6:1 (A:HP3).

Tabell 2. Analyser för flygaskor som provats (metallmängden presenteras vanligen i oxidform, men behöver inte föreligga i just den presenterade formen)

		Braviken	Hylte	Hallsta	
				A	HP3
SiO ₂	% TS	30	28	30	35
Al ₂ O ₃	% TS	11	14	15	18
CaO	% TS	31	36	30	28
Fe ₂ O ₃	% TS	2,0	2	2,2	2
K ₂ O	% TS	1,4	0,8	1,2	1
MgO	% TS	5,6	6	4	4
MnO ₂	% TS	0,4	0,1	0,6	0,2
Na ₂ O	% TS	0,9	0,7	0,9	1
P ₂ O ₅	% TS	0,5	0,4	0,8	0,7
TiO ₂	% TS	-	0,5	0,4	0,4
Cl	% TS		0,2	-	-
S	% TS		0,6	-	-
SO ₃	% TS			-	-
SO ₄	% TS			-	-
LOI ¹	% TS	17 ²	10 ²	14 ³	5,3 ³
TOC	% TS	3			
Summa		99,8	99,3	99,1	95,6

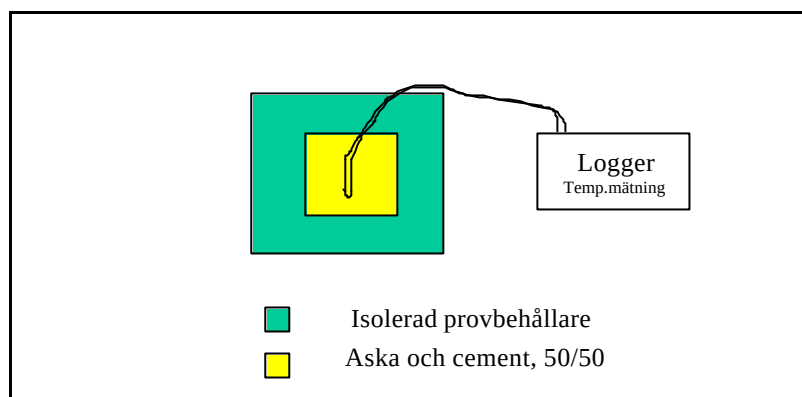
1 LOI-värdet ger huvudsakligen ett mått på mängden kemiskt bundet vatten

2 Analystemperatur okänd

3 1000 °C

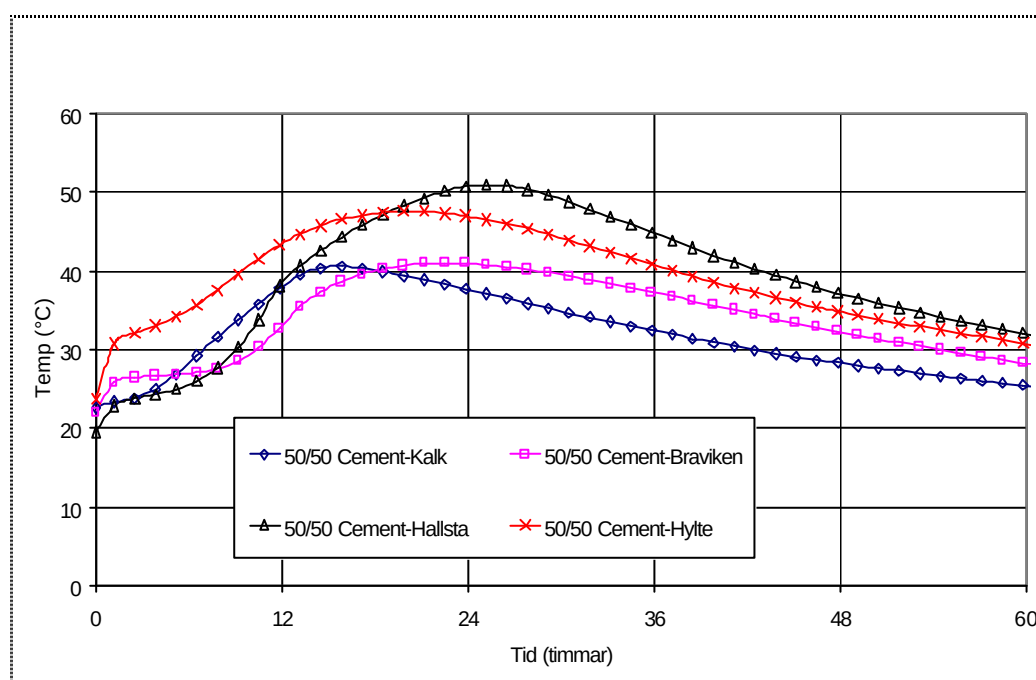
3.2 Reaktivitet

Om ersättning av cement med flygaska skall kunna vara möjlig måste reaktiviteten hos askan kontrolleras. Beroende på vilken typ av panna, förbränningstemperatur, bränslemix och tillsatser som används blir askan mer eller mindre reaktiv. Som ett mått på askans reaktivitet mäts värmeutvecklingen (t.ex. släckningsvärme från fri kalk och hydratationsvärme vid cement- och askreaktion) i en semi- adiabatisk försöksuppställning. Askans reaktivitet ger en indikation på hur stort bidrag till hållfastheten som kan förväntas för ett visst blandningsförhållande mellan aska och cement.



Figur 5. Semi-adiabatisk försöksupställning för kontroll av reaktivitet hos aska

För att prova askans reaktivitet har aska och cement blandats i förhållandet 1:1 med vbt = 1. Temperaturutvecklingen har mätts i en semi-adiabatisk försöksupställning under ca ett dygn (se figur 7). En blandning där 50% av cementet ersatts med kalkfyller har använts som referens. I samtliga blandningar har blandningsförhållandet varit 50/50 (cement/aska) och vbt har varit 1 (vbt= kvoten mellan vikten vatten och bindemedel, vattenbindemedelstalet).



Figur 6. Resultat från reaktivitetstester med vbt=1 och blandningsförhållande 1:1.

Ur reaktivitetstesterna kan man konstatera att Hallstas och Hyltes aska verkar vara mer reaktiva än Bravikenaskan. Jämfört med referensblandningen ger Bravikenaskan en något högre värmeutveckling. Om kurvformen studeras kan man se en snabb temperaturökning i början för Hylteaskan vilket troligen kan hänföras från släckning av fri CaO. De senare topparna härrör från den hydrauliska reaktionen.

3.3 Färska egenskaper

I Zinkgruvan används pasta med ett sättmått av 7-10 tum. I laboratoriet har blandningar i liten skala genomförts för att utveckla lämpliga provningsmetoder för att karaktärisera pastan i färskt tillstånd. Först har några blandningar gjorts för att återskapa en representativ referensblandning och sedan har utbyte av cement mot aska gjorts. Vid uppnådda färska egenskaper har också provkroppar (kuber) för kontroll av hårdnade egenskaper gjutits och provtryckts efter olika långa tidsintervall. I de följande avsnitten nedan redovisas både de inledande testerna som syftat till ersättning av cement med 50% för primärstopper, men också de kompletterande testerna med enbart aska för användning i sekundärstopper.

3.3.1 Primärstoppsblandningar

I tabell 3 nedan redovisas mätningar av de färska egenskaperna på blandningarna med 50/50 cement och aska.

Tabell 3. Sammanställning av försöksdata på färska egenskaper.
(R= referens; Br= Bravikenaska; Hy= Hylteaska; Ha= Hallstaaska; Z= mätningar Zinkgruvan; 7"/8"/10"= önskat sättmått i tum; -1/-2= blandningsnr)

MIX	R8"- 1	R7"- 2	Br7"- 1	Br7"- 2	Hy7"- 1	Ha7"- 1	Z10"- 1*
sand (kg)	8.60	8.18	2.90	12.27	12.27	12.27	4700**
cement (kg)	0.53	0.43	0.09	0.32	0.26	0.26	
cement (vikt-%)	5.8	5.0	2.9	2.5	2.0	2.0	6.0
aska (kg)	-	-	0.090	0.323	0.255	0.255	
aska (vikt-%)	-	-	2.9	2.5	2.0	2.0	
asktyp	-	-	Braviken	Braviken	Hylte	Hallsta	
vatten (kg)	2.820	3.015	0.970	5.030	4.630	4.710	
vbt***	5.3	7.0	5.4	7.8	9.1	9.2	
RESULTAT							
Målsättmått (mm)	200	175	175	175	175	175	200
Sättmått (mm)	190	140	-	225	175	175	250
Utbredning (mm)	560	625	-	590	585	522	650
Slagbord (mm)	175	167	170	190	177	179	207
Densitet (kg/m ³)	-	1930	-	1930	1920	-	
ANM							
* Prov uttaget vid normalproduktion i Zinkgruvan							
** sand+vatten							
*** vattenbindemedelstal= (vikt vatten)/ (vikt aska+cement)							

Som framgår av tabell 3 så är askorna från Hylte och Hallsta något mer vattenkrävande än Bravikenaskan och referensen med enbart cement. Trots enbart 4% bindemedel vid Hylte och Hallstablandningarna krävs ett högre vbt för att närma sig önskad konsistens. Skillnader i kornstorleksfördelningen där Hylte och Hallsta har en större andel fint material framgår av figur 3. Eventuellt kan tidiga reaktioner av fri kalk också ge upphov till dessa skillnader. Alla mixer med aska uppfyller dock kravet på sättmått större än 140 mm gott och väl. Ett högre sättmått innebär att pastan är lösare i konsistensen och är t.ex. också lättare att pumpa. Vid höga

sättnått (>250) finns dock risk för att separationen blir för stor och därför också svårt att pumpa pastan.

3.3.2 Sekundärstopsblandningar

De kompletterande testerna på blandningar med enbart aska undersöktes bara grundläggande och resultaten redovisas i tabellen nedan. Som framgår av tabellen provades även en ”ny” aska från Braviken där man installerat en ny reningsteknik som ger askan en lägre restkolhalt. Inga analyser finns dock på den aktuella askan. Precis som i primärstopstesterna krävde Hallstaaskan en större inblandning av vatten för att uppnå samma konsistens (nästan). Målsättnåttet uppnåddes i princip för alla blandningar.

Tabell 4. Sammanställning av försöksdata på färskas egenskaper.
(R= referens; Br= Bravikenaska; BrN= Ny Bravikenaska; Ha= Hallstaaska)

MIX	R	Br	BrN	Ha
sand (kg)	17.100	18.700	18.700	18.700
cement (kg)	0.343	-	-	-
cement (vikt-%)	2	-	-	-
aska (kg)	-	0.377	0.377	0.377
aska (vikt-%)	-	2	2	2
asktyp	-	Braviken	Braviken, ny	Hallsta
vatten (kg)	5.160	6.360	6.120	6.810
vbt***	15.0	16.9	16.2	18.0
RESULTAT				
Målsättnått (mm)	200	200	200	200
Sättnått (mm)	195	205	195	185
Utbredning (mm)	560	570	560	540
ANM				
*** vattenbindemedelstal= (vikt vatten)/ (vikt aska+cement)				

3.4 Tryckhållfasthet

Beroende på storleken av bergrummet och om det är ett primär- eller sekundärutrymme som skall återfyllas varierar cementmängden mellan 2-8 %.

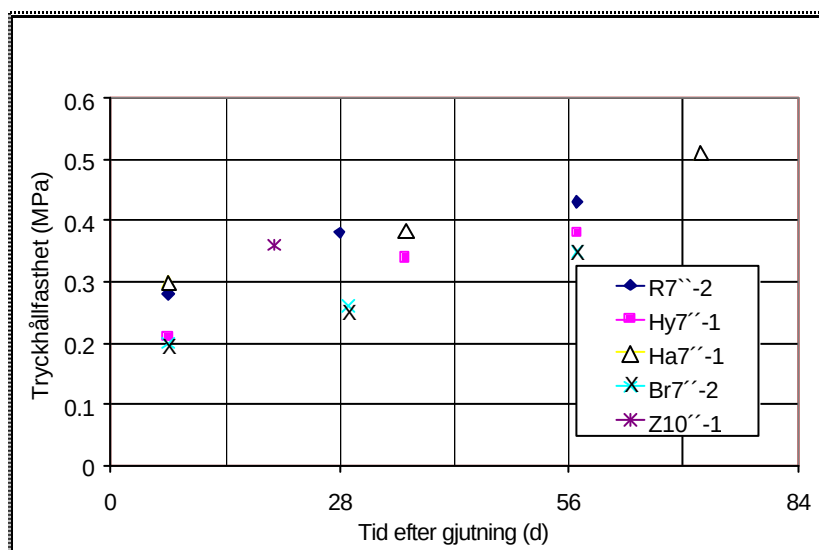
3.4.1 Primärstopsblandningar

Hållfasthetsprovning har utförts med 45% bindemedel i blandningsförhållandet 1:1 mellan aska och cement och ett sättnått av 7 tum (~175mm). Vid Zinkgruvan har pasta med cementmängden 6 % också tagits direkt ur produktion för provning av hållfasthet, sättnått och utbredningsmått.

Ur tabell 5 kan man konstatera att man t.ex. trots den låga reaktiviteten hos Bravikenaskan, och ett högre vbt, ändå får en god hållfasthetsutveckling jämfört med referensblandningen. Efter att undersökningarna genomförts har det framkommit att man siktar på ett sättmått om runt 8" (ca. 200 mm). Om referensblandningen spätts för att nå 200 mm sättmått hade också skillnaden mellan referens och Bravikenprover varit mindre. Med samma resonemang ger Hallsta- & Hylteaskan en bättre hållfasthetsutveckling trots en lägre bindemedelshalt (4%). I figur 8 kan hållfasthetsutvecklingen för de olika blandningstyperna studeras grafiskt.

Tabell 5. Sammanställning av försöksdata på hårdnade egenskaper.
(R= referens; Br= Bravikenaska; Hy= Hylteaska; Ha= Hallstaaska; Z= mätningar Zinkgruvan; 7"/10"= önskat sättmått i tum; -1/-2= blandningsnr)

MIX	R8"-1	R7"-2	Br7"-1	Br7"-2	Hy7"-1	Ha7"-1	Z10"-1*
sand (kg)	8.60	8.18	2.90	12.27	12.27	12.27	4700**
cement (kg)	0.53	0.43	0.09	0.32	0.26	0.26	
cement (vikt-%)	5.8	5.0	2.9	2.5	2.0	2.0	6.0
aska (kg)	-	-	0.090	0.323	0.255	0.255	
aska (vikt-%)	-	-	2.9	2.5	2.0	2.0	
asktyp	-	-	Braviken	Braviken	Hylte	Hallsta	
vatten (kg)	2.820	3.015	0.970	5.030	4.630	4.710	
vbt****	5.3	7.0	5.4	7.8	9.1	9.2	
RESULTAT							
Tryckh. 7d (MPa)	-	0.28	-	0.2	0.21		
Tryckh. 14d (MPa)	-		-			0.3	
Tryckh. 28d (MPa)	-	0.38	-	0.26	0.34	0.38	0.36***
Tryckh. 57d (MPa)	-	0.43	-	0.35	0.38		
Tryckh. 72d (MPa)	-		-			0.51	
ANM							
* Prov uttaget vid normalproduktion i Zinkgruvan							
** sand + vatten							
*** 20dygn							
**** vattenbindemedelstal							



Figur 7. Hållfasthetsutveckling av pastor med aska enligt tabell 2.

3.4.2 Sekundärstopsblandningar

Provningen av de härdade provkropparna gjordes vid två olika tidpunkter. För att kunna mäta hållfastheten hos provkropparna så användes tre olika metoder. Första provningstillfället inföll efter 28 dygns härdning genom täckning med plast. Det andra tillfället var efter 56 dygn. Som framgår av den inledande texten provas här Bravikens askor (gamla & nya) och Hallstas askor.

28-dygnstester

Kuberna hade, trots att de härdades täckta med plast krympt i storleksordningen 1 cm i höjdd. Troligen på grund av inledande vattenseparation och möjligen otätheter i plasttäckningen. Samtliga provkroppar visade tydliga tecken på låga hållfastheter då de vid formrivning fortfarande var fuktiga samt att material lossade från kuberna vid avformningen. På samtliga kuber lämnades avtryck där fingrar trycktes mot ytorna.

Först provtrycktes en av de tre referenskuberna, hållfastheten uppgick till 0,2 MPa vilket betraktades som väl lågt (målvärde ca. 0,5 MPa). Traditionell kubtryckning blir svår att genomföra då ingen markant "peak" kan noteras vid så låga hållfastheter. Materialets ickelinjära beteende med krypning etc. ger dessa svårigheter. Eftersom referensproverna bedömdes vara av betydligt högre hållfasthet än rena askprover gjordes bedömningen att det vore lämpligt att avvakta tills alla prover uppnått 56 dygns ålder. Med långsam hållfasthetsutveckling kan tillräckligt hög hållfasthet ha uppnåtts då.

56-dygnstester

Provkropparna lagrades under tiden från 28 dygn till 56 dygn i laboratoriemiljö utan täckning. För att mäta tryckhållfastheten på ett säkrare sätt än enbart med traditionell kubtryckning provades tre olika provningsmetoder. 1. traditionell provtryckning (samma som efter 28 dygn). 2. "manuell" provtryckning och 3. tillstyvnadstidskontroll (TSK).

Den manuella provtryckningen är manuell så till vida att det är möjligt att manuellt styra den belastningshastighet med vilken kraften anbringas på provkroppen. Då provkropparna uppvisade tydliga tecken på mycket låga hållfastheter torde denna metod visa de mest rättvisa resultaten.

TSK utförs med hjälp av en stav/krycka som för hand belastar en nål eller stämpel som trycks in i provkroppen. Vid inträngning så kan kraften som anbringades läsas av, i enheten Newton, på en mättsticka sittandes på handtaget. Nålen/stämpeln på stavens ände är utbytbar så dess area kan varieras beroende på material som provas, se figur 9 nedan. TSK visade sig vara en svår metod för denna typ av provning, då det är svårt att belasta provkroppen vinkelrätt under

hela belastningsförloppet. Det finns också en stor risk att kraften endast belastar en del av ytan vilket kan leda till lastkoncentration som ger brott i förtid. Resultaten på tryckhållfastheter från samtliga provningsmetoder redovisas nedan i tabell 6.



Figur 8. Beskrivning av TSK-utrustning, utförande (t.v.) samt utseende (t.h.)

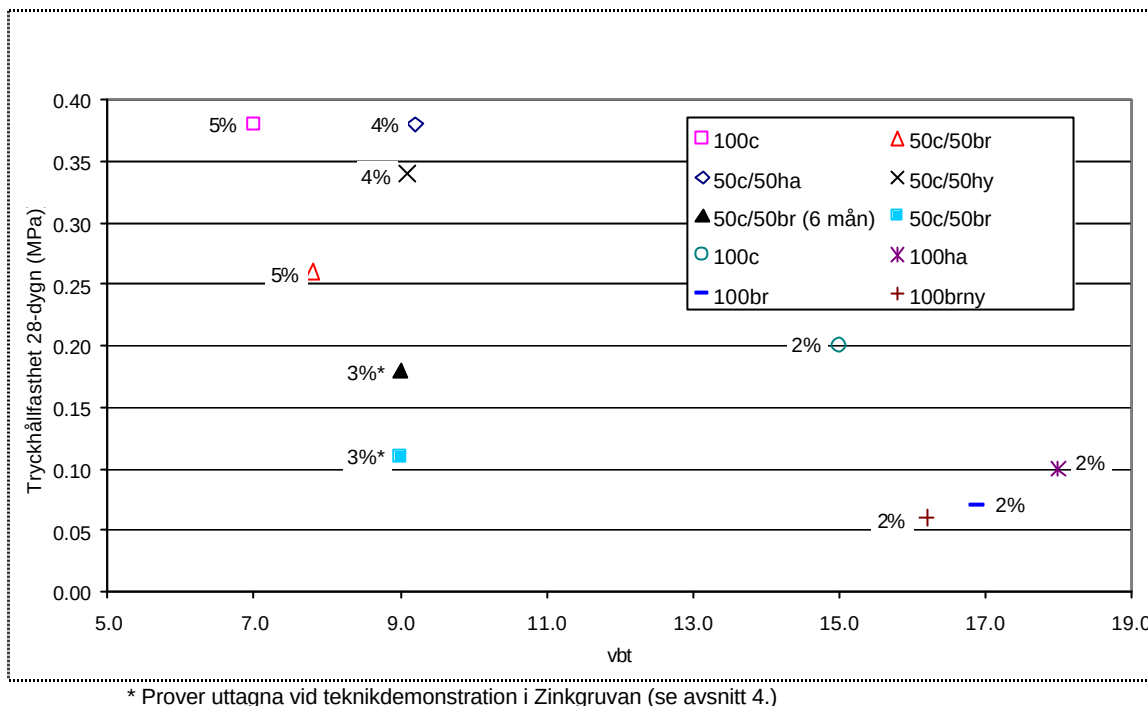
Tabell 6. Resultat av provningsresultat av hållfastheten

MIX	R	Br	BrN	Ha
sand (kg)	17.100	18.700	18.700	18.700
cement (kg)	0.343	-	-	-
cement (vikt-%)	2	-	-	-
aska (kg)	-	0.377	0.377	0.377
aska (vikt-%)	-	2	2	2
asktyp	-	Braviken	Braviken, ny	Hallsta
vatten (kg)	5.160	6.360	6.120	6.810
vbt***	15.0	16.9	16.2	18.0
RESULTAT				
Trad. tryckhållf 28d (MPa)	0.20	0.07	0.06	0.10
Trad. tryckhållf 56d (MPa)	0.20	-	-	-
"Manuell" belastn. 56d (MPa)	-	-	0.05	0.07
TSK 56d (MPa)	-	0.12	0.07	-
ANM				
*** vattenbindemedelstal= (vikt vatten)/ (vikt aska+cement)				

Den slutsats som kan dras av de olika provningarna ovan är att kuberna visar så låg hållfasthet att det är svårt att tyda resultaten på ett rättvist sätt. Utrustningen som användes vid försöken är antingen för "grova" och/eller för osäkra (TSK) för de aktuella hållfasthetsnivåerna för att erhålla entydiga resultat. Vidare var kubernas skick dåligt (ytskador) redan vid avformningen vid 28 dygn. Den enda bedömningen som kan göras är att samtliga provkroppar har en hållfasthet som ligger inom intervallet 0,05-0,12 MPa. Jämfört med referensen är det som bäst hälften av dess hållfasthetsnivå.

3.4.3 Sammanfattning tryckhållfastheter

I diagrammet nedan har resultaten från mätningar av tryckhållfasthet sammanställts för att ge en överblick över inverkan av asktyp, mängd bindemedel och förhållande mellan vatten och bindemedel ($vbt = \text{vattenmängd}/(\text{cement} + \text{aska})$).



Figur 9. Sammanställning av tryckhållfasthetsvärden vid 28-dygn från både primär- och sekundärstoppsblandningarna (c= Cement, br= Braviken, brny= Braviken nya, ha= Hallsta, hy= Hylte).

I diagrammet kan man se att samtliga askor har ett högre vbt. Förklaringen är att de krävde mer vatten för att uppfylla kraven på arbetarhet i form av sättmått. Att ha i åtanke vid studium av sekundärstoppsblandningarna är också att ett annat målsättmått användes (200 mm istället för 170 mm) vilket gav ett högre vbt för att klara detta.

3.5 Lakteter

Om cement skall ersättas med flygaska under produktionsförhållanden krävs att miljöanalyser genomförs på den färdiga produkten. För att genomföra framtida fullskaleförsök under jord med aska som bindemedel ställde Länsstyrelsen i Örebro som villkor att lakteter måste utföras på hårdnad blandning.

Gjutning av kuber som sedan nedkrossats gjordes därför. Efter härdning i 28 dygn nedkrossades dessa och skickades till SGAB Analytica för laktest medelst kolonnförsök. En utförlig beskrivning av kolonnförsök återfinns i [4], men i grova drag låter man avjoniserat vatten perkolera genom det nedkrossade materialet i olika koncentrationer mellan vätska och

fast material (L= liquids & S= solids) det uppsamlade eluatet analyseras sedan m.a.p. de parametrar som redovisats i tabellen. Syftet med testet är att efterlikna när regnvatten filtreras genom materialet. Resultaten av testen kan ses i tabellen nedan där en jämförelse med det s.k. deponidirektivet för inert avfall och jungfrulig Bravikenaska görs. Deponidirektivet är inte direkt applicerbart på den aktuella tillämpningen då inget sådant krav idag finns. Gränsvärdena används istället primärt för att belysa nivåerna.

Ur tabell 7 kan man notera att några procent flygaska (2.5%) inte ger någon nämnvärd ökning av analyserade komponenter i laktestet. Man kanske t.om. skulle kunna klassa den färdiga pastan som inert eftersom enstaka värden får överskridas upp till tre gånger (klorider och sulfater överskrider något). P.g.a. förvecklingar vid framtagande av eluater har tyvärr inte kvicksilverhalten kunnat mätas.

Tabell 7. Resultat av laktester med kolonnförsök

	EU – direktiv (inert avfall)			Bravikenaska			Pasta med Bravikenaska		
	L/S 0,1 (mg/l)	L/S 2 (mg/ kgTS)	L/S 10 (mg/ kgTS)	L/S 0,1 (mg/l)	L/S 2 (mg/ kgTS)	L/S 10 (mg/ kgTS)	L/S 0,1 (mg/l)	L/S 2 (mg/ kgTS)	L/S 10 (mg/ kgTS)
Al							1.37	5.62	41.5
As	0.06	0.01	0.5	0,0317	0,176	0,207	0.001	0.0024	0.0105
Ba	4	7	20	0,0071	0,127	1,37	0.5	0.2	0.5
Ca							1390	470	912
Cd	0.02	0.03	0.04	0,00001	0,00010	0,00050	0.0015	0.0002	0.0006
Co							0.02	0.0048	0.0060
Cr tot	0.1	0.2	0.5	0,361	1,65	1,86	0.0051	0.0027	0.0128
Cu	0.6	0.9	2	0,0022	0,0072	0,0152	0.0117	0.0336	0.0597
Fe							0.004	0.008	0.0695
Hg	0.02	0.003	0.01	0,00001	0,00006	0,00022			
Mo	0.2	0.3	0.5	0,378	1,63	1,93			
K							1860	355	420
Mg							0.09	0.1831	0.9071
Mn							0.0008	0.0005	0.0021
Na							810	109	115
Ni	0.12	0.2	0.4	0,00006	0,00101	0,00499	0.0242	0.0093	0.0191
Pb	0.15	0.2	0.5	0,0125	0,0764	0,113	0.0591	0.0655	0.2950
Sb	0.1	0.02	0.06	0,0129	0,0901	0,134			
Se	0.04	0.06	0.1	0,00233	0,0120	0,0144			
S							35700	5121	5484
Zn	1.2	2	4	0,119	0,367	0,441	0.0157	0.0104	0.0259
Klorid	460	550	800	176	1120	1827	610	806	816
Flourid	2.5	4	10	0,574	10,9	23,1	0.5	1.1	6.0
Sulfat	1500	560	1000	129	515	605	1800	1280	1831
Fenolindex	0.3	0.5	1						
DOC	160	240	500				60	10	58

3.6 Slutsatser från laborietester

De inledande försöken visar att det är möjligt att ersätta cement med aska vid gjutning av primärstoper. Förhållandet mellan aska och cement och inblandad bindemedelsmängd kan optimeras med avseende på önskad hållfasthet och konsistens. Klart är också att en aska med hög restkolhalt är användbar i tillämpningen. Eftersom askan från Holmen Paper i Braviken gav ett acceptabelt resultat bedömdes att denna skulle användas vid teknikdemonstrationen. Om utfallet av teknikdemonstrationen var gott med den askan, bedömdes de askor som uppvisade bättre resultat i labförsök också kunna fungera i full skala.

När det gäller sekundärstoper är det oklart om askorna ger tillräcklig hållfasthet vid de låga inblandningsmängder som är brukligt (ca. 2% bindemedel). För att klarlägga detta bör kompletterande tester göras.

4 Teknikdemonstration vid Zinkgruvan

Underlaget till detta avsnitt baseras huvudsakligen på noteringar av Kjell Tillman [2] som gjorts i samband med teknikdemonstrationen våren 2003.

4.1 Förberedelser

Inför teknikdemonstrationen hade flygaska skickats från Holmens Paper i Braviken. Askan var förpackad i dubbla säckar om ca 20 kg. per säck. Eftersom inte resultaten från laktesterna bedömdes bli färdiga under en snar framtid fanns endast ett tillstånd från Länsstyrelsen i Örebro att utföra ett mindre fältförsök om max. 3m³. Begränsningen kanske var mindre lämpligt formulerad då inget sagts om acceptabel koncentration av flygaska i pastan. Lämpligare hade nog varit att definiera en gräns för hur stor mängd aska som fick användas i försöken. Pumpning ned till gruvan fick ej göras så det material som ej användes för tillverkning av lab.prover samlades upp i stora plasttankar med lock för lagring.

4.2 Blandningsförfarande

Tidpunkten för teknikdemonstrationen valdes i anslutning till att pastaverket stängdes ner för ett ordinarie driftstopp. Själva blandningen av pasta med flygaska gjordes när den ordinarie pastafyllningen till gruvan avslutats. Fördelen med detta var då att arbetet kunde ske utan tidspress från rengöringsarbeten och övrig produktion.

För försöken behölls en sats sand i mixer 1 som sedan fick gå på tomgång med sanden i tills allt var klart för provningen, vilket tog ca en timme. Tyvärr visade det sig att den långa tiden med omrörning påverkade sandens egenskaper negativt. Slutresultatet blev en blötare mix än planerat och en potentiell förklaring är att rester av flockmedel kan ha orsakat detta. Den relativt sett längre blandningstiden kan ha möjliggjort en reaktion man annars inte ser.

Från början var tanken att blanda en sats med 75 kg cement (1,5%), 75 kg flygaska och 4850 kg sand. Om flygaskan ger samma effekt som cement skulle blandningen motsvara en 3%-ig sats där hälften av cementen bytts ut mot flygaska. För en sekundärstop är målet att hålla ett sättmått på 250 mm (10 tum). Bedömningen av konsistensen görs genom mätning av effektförbrukningen för mixer 2. Erfarenheten ger att effektförbrukningen skall vara 12,8 kW.

Inblandningen av flygaskan gjordes genom att släppa ner den genom ett ventilationsrör som är beläget ovanpå mixer 2. Mixern skapar under blandningen ett undertryck i röret vid drift vilket gjorde att flygaskan sögs in och dammbildning på så vis undveks helt. Vid större tillsatser under kontinuerlig drift krävs dock större kapacitet än vad denna lösning ger.

Blandningsordningen var sand-flygaska-cement. Efter att alla material tillsatts kunde inte någon förhöjning av effektbehovet på mixer 2 noteras. Både mixer 1 (enbart sanden) och 2 visade på 11 kW och riktvärdet är som sagt 12,8 kW för en sekundärstopsblandning. Det normala är att

extra vatten krävs för att nå målvärdet men Bravikenaskans grövre kornstorleksfördelning är den troliga orsaken till detta.

Blandningstiden i mixer 2 blev något längre än de ca 2,5 minuter som är normalt, detta på grund av att den manuella tillsatsen av flygaskan tog längre tid.

4.3 Provtagning och gjutning

För uttag av pasta ur vågfickan användes det tvåtumsrör som sitter i botten på vågfickan och som normalt används vid uttag av prov för mätning av sättmått. Den första pastan släpptes ut i en av plasttankarna för att undvika inverkan av det vatten som trängt in vid spolning av en igensatt ventil. Därefter mättes sättmättet på pastan till 270 mm, vilket stämde med de indikationer som kunnat ses vid mätning av effektbehovet (inverkan av den överbearbetade sanden). Två provkuber tillverkades för kontroll av tryckhållfastheten vid Vattenfall Utveckling. Plasttankarna (tot. 3 st) fylldes därefter och flyttades. Ytterligare ett sättmått visade åter på 270 mm. Samtidigt tillverkades också ytterligare två provkuber.

Ett pastaprov togs ut för bestämning av fukthalten i pastan. Syftet var att få en vägledning om vilket vattenbindemedelstal blandningen har. Detta är viktig information vid bedömning av flygaskans inverkan på tryckhållfastheten. Det uppmätta fukttinnehållet vid torkning i 105°C var 28.7% vilket motsvarar vbt=9. Hydratisering under inledningen av torkningen kan dock ha konsumerat vatten och det verkliga vbt är därför troligen högre.

Plasttankarna med pasta förseglades med lock och kan framöver användas för att ta ut fler prover - ex. kärnor, ur burkarna, för bedömning av långtidshållfasthet.

Resultaten av provtryckningarna visade att pastan höll en hållfasthet om 0,11 MPa efter 28 dygn. Efter ca. 6 månader hade pastan erhållit en hållfasthet om 0,18 MPa (lagring i plastpåsar). Spridningen mellan de två proverna var dock relativt stor (0,21 resp. 0,15 MPa). Det finns dock alltså indikationer på att en fortsatt hållfasthetsutveckling är att vänta.

4.4 Slutsatser från teknikdemonstration

-Metoden att tillsätta flygaskan genom mixerns ventilation fungerade mycket bra med mycket liten dammspridning.

-Både mixer 1 och 2 visade lägre effektförbrukning än "normalt". 11 kW mot 12,8 kW. Resultatet blev för lös pasta med förhöjt sättmått. Möjligen är rester av flockmedel kombinerat med längre blandningstid orsaken.

-Fyra provkuber för tryckhållfasthetsprov togs ut. Efter 28 dygn uppvisades 0,11 MPa i tryckhållfasthet vilket är lågt och detta är delvis beroende på hög vattenhalt. Efter 6 månader hade 0,18 MPa uppnåtts vilket är fullt tillräckligt. Hållfasthetstillväxten pågår alltså under mycket lång tid.

-Fukthaltsmätning gjordes på den färdiga blandningen vilket gav 28.7 % fukt. En uppskattning av vattenbindemedelstalet (vbt) visar att blandningen höll ca. vbt= 9 Dock kan en del av vattnet förbrukats vid hydratisering och det egentliga vbt är då högre.

5 Diskussion och slutsatser

De utförda laboratorieförsöken och teknikdemonstrationen påvisar en tydlig möjlighet att använda askor från förbränning av bränslemixer där returpappersslam ingår som ersättare för cement i den aktuella tillämpningen.

En till synes medelmåttig aska med låg reaktivitet och för hög LOI-halt jämfört med krav i betongsammanhang, kan vara en tillräckligt bra ersättare för cement i bruk eller pasta med låga krav på hållfasthet. För askor som utsatts för fukt säger dock inte LOI mycket om restkolhalten utan mest om mängden kemiskt bundet vatten i ett prov. TOC-halten ger en bättre bild av vad som är att betrakta som restkol i flygaskan och bör användas.

De testade flygaskorna kan ersätta delar av cementen i primär- och sekundärstoperna. Det framgick också tydligt av teknikdemonstrationen att hållfasthetstillväxten pågår under lång tid efter tillverkningen. Långtidshållfastheten (6 månader) på prover från teknikdemonstrationen uppfyller också kraven för en sekundärstop. Det krävs dock ytterligare optimering av recepten och kompletterande hållfasthetstester för att säkerställa produktionsprocessen och önskad hållfasthetsnivå (läs säkerhet).

Testerna där all cement ersattes med samma mängd aska för användning i sekundärstoperna gav inte tillräcklig hållfasthet. Hållfastheten blev i bästa fallet med enbart aska som bindemedel ca. 50 % av referensmixens med enbart cement. Möjligen kan en större askmängd eller långtidslagring (6 mån?) ge tillräcklig hållfasthet. Det kan också visa sig att en mindre mängd cement krävs för att aktivera askan som då ger önskade egenskaper i mindre mängder. Val av andra, mer reaktiva, askor än de provade kan också ge förbättrade resultat.

Ett randvillkor för användning av askor i den aktuella tillämpningen är att askan skall finnas tillgänglig året runt. Det är också detta som gör att askor från pappersbruk lämpar sig väl. Laktesterna på slutprodukten gjorda med "pappersbruksaska" visar att de ur miljösynpunkt går att använda och att de inte ger något tillskott av farliga ämnen till den färdiga pastan.

Vad gäller kvalitetskontroll av den färska pastans egenskaper vid produktion rekommenderas att en kompletterande metod till sättmättet användas. Utbredningsmättet är det vanliga konsistensmättet för betong och bruk med de konsistenser som önskas och detta ger troligen ett mer utslagsgivande mått vid optimering.

6 Forskningsbehov

Ett troligt framtida scenario är att optimering av recept i lab. följs av fullskaletester med gjutning av sekundärstoper även under jord. Optimeringen i lab. bör ske m.a.p. ersättningsförhållande (cement:flygaska) – tryckhållfasthet - utbredningsmått. Detta för att säkerställa önskade egenskaper i färskt och hårdnat tillstånd. Även om låga hållfastheter eftersträvas måste de uppnås med tillräcklig marginal för att säkerställa fullgod säkerhet i gruvan. Det är i labtesterna också viktigt att tillräckligt långa lagringstider föregår provningen. Lagringstiden bör avspegla den tid som en sekundärstop lagras före den avsedda hållfastheten eftersträvas. Erfarenheterna från sekundärstoperna ligger sedan till grund för ett beslut om användning även i primärstoper.

I de utförda testerna för sekundärstoper med enbart aska så ersattes aska med cement i förhållandet 1:1. Resultatet blev att hållfasthetsnivån som bäst var ca. hälften av den nivå som referensblandningen gav. Andra blandningsförhållanden (ersättning av cement:aska t.ex. 1:2) eller användning av andra reaktiva askor kan ge förbättrade resultat och bör provas. Effekten av långtidslagring bör också studeras.

Om askor skall användas i primärstoper måste även andra mekaniska egenskaper hos pastan undersökas. T.ex. måste väggen på en primärstop kunna vara självbärande och därför skall kraven på böjdragförmågan uppfyllas.

Produktionsprocessen innebär att idag gjutna primärstoper inte exponeras eller friläggs förrän ända upp till 3 år efter tillverkning. Under tre års tid gjuts många stoper och har man haft ett felaktigt koncept under tre års gjutningar riskerar man att få stora produktionstekniska och svårlösta problem.

Vid ökad mängd aska eller prov av andra askor bör nya och kompletterande laktester göras.

7 Marknadsbedömning

Enligt en annan undersökning i askprogrammet [3] så finns det få aktiva gruvor där tekniker med betongrelaterade användningssätt är aktuella. I de gruvor där denna teknik används handlar det dock vanligen om stora volymer som avsätts kontinuerligt. Det kan ställas olika krav på vilken prestanda som bruket/ betongen som används skall ha. Allt från att binda vatten och ge ett stabiliserat "hydraulfyll" (panelbrytning) som i Zinkgruvan till att skapa betongpluggar med hög hållfasthet (rasschakt) som hos t.ex. LKAB i Kiruna.

I de fall där i princip endast en vattenhållande förmåga är målet krävs ändå noggranna undersökningar. När det gäller mer aktiv stabilisering måste också långsiktig hållfasthet och beständighet säkerställas för att bibehålla en hög bergmekanisk säkerhet. I många fall kan man inte se resultatet av gjutningar förrän efter flera år då det blir dags att bryta ut ett utrymme som angränsar till det gjutna bruket. Det gör försiktigheten stor innan man överväger att byta bindemedel och tester för att verifiera funktionen även på lång sikt är ett måste.

Den begränsade geografiska spridningen av gruvorna gör att transportavstånden från en förbränningsanläggning till en gruva kan vara en känslig faktor. I de fall man ersätter cement kan dock relativt långa transporter göras med bibehållen ekonomi. Är den ursprungliga hanteringskostnaden hög ger det ytterligare en förstärkning av möjligheterna till framgång. En preliminär bedömning enligt [3] är att volymer om 20.000-50.000 ton/år torde kunna finna avsättning i gruvtillämpningen, och detta också mycket lokalt.

8 Litteraturreferenser

- [1] **Nordström E.**, ”Användning av flygaska från förbränning av returpappersslam vid betongtillverkning - pilotförsök”, Vattenfall Utveckling AB, rapport nr. U 01:10, Älvkarleby, Sweden, 2001.

- [2] **Tillman K.**; Zinkgruvan Mining AB, Zinkgruvan, 2003

- [3] **Nordström, E. & Thorsell, P-E**, Energiaskor i betongrelaterade tillämpningar – Normer, praxis och erfarenheter, Värmeforsk rapport 828, 2003

- [4] **Naturvårdsverket**, rapport nr. 5207, maj 2002.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET



VÄRMEFORSK SERVICE AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80

Fax 08-677 25 35

www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker

Fax 08-677 25 35