

CHALMERS



Utvärdering av restprodukter från kraftvärmeproduktion för hårdgjorda arbetsytor

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

HENRIK RASILA
ROBIN SKANTZE

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:75

Examensarbete 2007:75

Utvärdering av restprodukter från kraftvärmeproduktion för
hårdgjorda arbetsytor

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

HENRIK RASILA
ROBIN SKANTZE

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007

Evaluation of decay products from power plants for hard surfaces
HENRIK RASILA, 1983
ROBIN SKANTZE, 1983

© FÖRNAMN I. EFTERNAMN

Diploma thesis 2007:75
Department of Civil and Environmental Engineering
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone + 46 (0)31-772 1000

Sammandrag

Ett viktigt led i ett fungerande kretsloppssamhälle är att minska användningen av jungfruligt material till förmån för återanvända material och produkter. En stor del i detta arbete är att ta tillvara på restprodukter från kraftvärmeproduktionen.

På Katrinefors värmekraftverk i Mariestad (KKAB) förbränns bibränslen och restprodukter från pappersindustrin för att generera fjärrvärme och elenergi. De partiklar som fastnar i värmekraftsverkets rökgasfilter kallas flygaska. Denna aska har en hög halt av kalciumhydroxid och tillsammans med vatten reagerar den på ett liknande sätt som cement. Tidigare undersökningar vittnar om att flygaskan kan användas som bindemedel och stabilisator till olika material. För att kunna nyttja askan i ovan nämnda användningsråden krävs det, förutom en erforderlig hållfasthet, att materialet inte lakar ut miljöfarliga ämnen.

Denna rapports syfte är att utvärdera och prova olika blandningar av flygaska, vitslam och ballast för att om möjligt skapa ett material som kan användas i hårdgjorda ytor.

De utförda laboratorieproverna har utgått från tidigare forskning på området samt från konventionella betongrecept. Proverna har testats med enaxliga tryckförsök i geolaboratoriet på Ramböll.

De utförda tryckproverna visar på en låg hållfasthet på blandningarna. Att enbart använda vitslam och flygaska för att stabilisera en stor kvantitet ballast är således ingen bra lösning. Proverna utan ballast visade dock på högre hållfasthet och gör dem således användbara på ytor med låga bärighetskrav t. ex ytskikt på deponier.

Abstract

In order to obtain a functional recycling society it is important to minimize the usage of finite materials on behalf of recycled products and materials. An important part in this work is to find scopes of use for decay products from power plants.

Katrinefors power plant (KKAB) in Mariestad incinerates bio fuels and decay products from the paper industry in order to generate distinct heating and electrical power. The particle which gets stuck in the smoke filters is called fly ash. This ash contains a high quantity of calcium hydroxide which together with water creates a reaction similar to the one in cement. Earlier research shows that the fly ash can be used as a binder or a stabilizer in different materials. In order to use the ash in those areas it is important, besides required strength, that the material does not leach any substances which could be harmful for the environment.

The purpose of this report is to evaluate and test different mixtures of fly ash, sludge from the paper industry and gravel in order to, if possible, create a material which can be used in hard surfaces.

The performed laboratory experiments has assumed from earlier research in the area and from conventional concrete recipes. The samples have been tested with single axle pressure tests in the geotechnical laboratory at Ramböll.

The performed laboratory experiments show that the mixtures have a low strength. To only use sludge from the paper industry and fly ash in order to stabilize a big quantity of gravel is therefore no good solution. The samples without gravel showed on a higher strength which makes them useable in surfaces with low requirements in bearing capacity, for example in landfill cover.

Förord

Detta examensarbete har utförts vid institutionen för bygg- och miljöteknik på Chalmers tekniska högskola i Göteborg på uppdrag av Ramböll Sverige AB i Göteborg.

Rapporten behandlar restprodukter från Katrinefors kraftvärmeverk, vilka har utvärderats och undersökts för att framställa en blandning lämpad för hårdgjorda arbetsytor.

Vi skulle vilja tacka följande personer som ställt upp och bidragit till resultatet i detta examensarbete:

- Kristina Hargelius som var vår handledare på Ramböll.
- Anna Nyström Claesson, vår handledare på Chalmers.
- Lennart Nilsson som handledde våra laboratorieförsök på Ramböll
- Lennarth Bengtsson på Färdig Betong som gav oss litteratur och recept.
- Jimmy Bengtsson på Thomas Concrete Group AB.
- Stig Jansson Cements AB
- Ingmar Löfgren Thomas Concrete Group AB

Göteborg, maj 2007

Henrik Rasila & Robin Skantze

Innehållsförteckning

Sammandrag	I
Abstract	II
Förord.....	III
Innehållsförteckning	IV
1. Inledning.....	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte.....	1
1.3. Problemformulering.....	1
1.4. Avgränsning.....	2
1.5. Metod	2
2. Samhällets miljökrav	3
2.1. Miljömålen	3
2.2. Miljökrav vid deponi	3
2.2.1. Miljöarbete vid Heås avfallsupplag	4
3. Laboratorieförsök	5
3.1. Vitslam.....	5
3.1.1. Materialets miljötekniska egenskaper	5
3.2. Flygaska	5
3.2.1. Materialets miljötekniska egenskaper	6
3.2.2. Flygaskans användningsområden.....	6
3.3. Tidigare försök på flygaska och vitslam	8
3.3.1. Materialets geotekniska egenskaper.....	8
3.4. Laboratorieförsök med flygaska och vitslam.....	8
3.4.1. Materialparametrar	9
3.4.2. Utförandebeskrivning.....	9
3.5. Beskrivning laboratorieförsök med flygaska och cement	10
3.5.1. Utförandebeskrivning.....	10
4. Resultat	12
4.1.1. Geotekniska egenskaper.....	12
5. Analys	14
5.1. Hållfasthetsanalys.....	14
5.2. Miljöteknisk analys	16
6. Diskussion	17
7. Slutsatser.....	18
7.1. Förslag på vidare forskning	18
8. Referenser	19
8.1 Muntliga referenser	20
8.2 Elektroniska referenser.....	20

Bilagor

- A **Totalinnehåll i aska och vitslam från Katrinefors Kraftvärmeverk**
- B **Analyser på flygaska från Katrinefors Kraftvärmeverk**
- C **Skickade slamprover från KKAB**
- D **Kriterier för användning av flygaska i betong**
- E **CRS-försök**

1. Inledning

Att använda restprodukter och återvunnet material i byggnationer är ett viktigt led för ett hållbart kretsloppssamhälle. Dels för att minska åtgången av jungfruligt material med också för att nyttja resurser som annars hade blivit deponerade. Stora vinster finns att hämta ur ett sådant resonemang, både ekonomiskt och ekologiskt. Alternativa material används för närvarande till vägbyggen, tätskikt på deponier, stabilisering av jord etc.

När biologiska och fossila bränslen förbränns i kraftvärmeverk så bildas restprodukter. Den del av dessa produkter som fastnar i verkets rökgasfilter kallas flygaska. Denna aska innehåller kalciumoxid, vilket gör den mycket reaktiv tillsammans med vatten. Denna reaktion är liknande den i cement, vilket gör att härdad flygaska kan användas som alternativ till traditionella bindemedel.

1.1. Bakgrund

Tjörns kommun ska sluttäcka Heås avfallsupplag. Det finns önskemål om att en hårdgjord arbetsyta ska beläggas med ett alternativt material bestående av vitslam och flygaska vilka är restprodukter från Katrinefors kraftvärmeverk (KKAB). Ytan kommer att användas till bland annat lastbilstransporter, vilket innebär att det ställs krav på hållfastheten på ytan. Ytan ingår som en del av deponitäckningen som skall skydda avfallsmassorna från regnvatten vilket innebär att materialet har låg lakbarhet.

Vid konventionell tillverkning av en hårdgjord arbetsyta på ett industriområde används ofta vältbetong. Signifikativt för detta material är den låga vattenkvoten som är nödvändig då betongen läggs ut med asfaltläggare. Vältbetongen har en stor bärförmåga (40 MPa efter 28 dygn), hög slitstyrka och en lång livslängd med minimalt underhåll.

1.2. Syfte

Syftet är att skapa och utvärdera ett bra material för hårdgjorda arbetsytor med hjälp av restprodukter från kraftvärmeproduktionen.

1.3. Problemformulering

För att ett material ska kunna användas i hårdgjorda ytor krävs det att det har hög bärförmåga. I traditionell betong används därför sand och grus (ballast) för att stabilisera och förstärka blandningen. En blandning av flygaska och vitslam ger en homogen blandning men med relativt låg hållfasthet. Tillsats av ballast skulle kunna ge materialet betydligt högre hållfasthet. Rapporten ska utreda om en blandning av vitslam och flygaska kan fungera som alternativ till ett konventionellt markbetongrecept.

Askan innehåller en del miljöfarliga ämnen. Lakvattnet från askan får även ett högt pH-värde på ca 11. Tidigare lakningsförsök har dock visat på mycket låg urlakning av tungmetaller.

1.4. Avgränsning

Laboratorieundersökningarna kommer endast att behandla materialets hållfasthetsegenskaper eftersom miljötekniska undersökningar på materialen redan har utförts.

1.5. Metod

I den inledande litteraturstudien används främst tidigare rapporter på området vilka är tillhandahållna av Kristina Hargelius på Rambölls miljöavdelning i Göteborg. Denna forskning ligger senare till grund för laboratorieförsöken. Litteratur från Internet har hittats vi sökord såsom "flygaska", "vitslam", "alternativa material" samt "restprodukter i vägbyggen". Laboratorieförsöken har utförts i Rambölls geologilaboratorium i Göteborg.

2. Samhällets miljökrav

Att använda restprodukter i t.ex. vägbyggnationer är ett viktigt led i samhällets kretsloppspolicy, som generellt innebär hushållning med jungfruligt material. Byggmaterial såsom bergkross, trä och metallprodukter är ändliga resurser vilka man måste hushålla med. Det är viktigt att materialen tas omhand efter nyttjande, för att återvinnas så långt som möjligt. Det är också viktigt att det återvunna materialet inte medför ökad miljöbelastning på grund av föroreningar. Att deponera produkter bör ofta ses som en sista utväg.

2.1. Miljömålen

Riksdagen har beslutat om 16 nationella miljömål för att uppnå ekologisk hållbarhet. Dessa mål ska reglera och begränsa den mänskliga miljöpåverkan. De 16 målen är:

1. Begränsad klimatpåverkan
2. Frisk luft
3. Bara naturlig försurning
4. Giffri miljö
5. Skyddande ozonskikt
6. Säker strålmiljö
7. Ingen övergödning
8. Levande sjöar och vattendrag
9. Grundvatten av god kvalitet
10. Hav i balans
11. Myllrande våtmarker
12. Levande skogar
13. Ett rikt odlingslandskap
14. Storslagen fjällmiljö
15. God bebyggd miljö
16. Ett rikt växt- och djurliv



Figur 2:1. Miljömålen logotype.

Målen är relativt generella och man har därför tagit fram 72 delmål och även specificerat dem ytterligare genom regionala och lokala tillämpningar.

Tre olika myndigheter har fått i uppdrag av riksdagen att formulera tre övergripande mål för området i relation till hållbar utveckling. Riksantikvarieämbetet ansvarar för kulturmiljön, Socialstyrelsen för hälsofrågor och Boverket ansvarar för fysisk planering och hushållning med mark och vatten samt byggnader. (www.miljomal.nu)

2.2. Miljökriterier vid deponi

Det finns inga generella kriterier för utsläpp av lakvatten vid deponering. Man bör emellertid sträva efter att uppnå miljömålen. Lokala kriterier för deponier regleras ofta av tillståndsbeslut och kontrollprogram. Kriterierna skiljer sig åt beroende på region och myndighet. Ett skäl till detta är naturligtvis att deponiernas lokalisering skiljer sig i geologi och att området för deponierna skiljer sig i känslighet.

För att uppnå miljömålen "Levande sjöar och vattendrag" och "Grundvatten av god kvalitet" krävs att lakvattnet från deponierna är tillräckligt rent och fritt från föroreningar som tungmetaller och organiska föreningar och inte utgör någon fara för recipienten. Ett sätt att rena lakvattnet är att avleda det till ett avloppsreningsverk. Denna lösning kan dock innebära en sämre reningsprocess i anläggningen på grund av spridning av metaller från deponislammets. (RVF, 2006). Ett annat sätt att rena lakvattnet är att låta vattnet rinna genom ett bäcksystem med filtrerande sedimenteringssdammar.

Även om det inte finns fastställda kriterier i kontrollprogram eller enligt andra beslut, måste verksamhetsutövarna själva ställa upp egna kriterier för att kunna uppfylla de krav som egenkontrollen kräver (RVF, 2006).

2.2.1. Miljöarbete vid Heås avfallsupplag

Heås avfallsupplag ligger centralt på Tjörn. Deponin består av blandat hushålls- och industriavfall. Den främsta miljörisken är lakvatten från avfallet. Det finns även en risk för gasläckage av framförallt metangas. Detta kommer att förebyggas med en gasdränering. Enligt Kristina Hargelius på Ramböll, som är involverad i projektet, är de uppmätta halterna metangas mycket låga.

Lakvattnet avleds via ett bäcksystem till naturreservatet Breviks kile som är ett fågelskyddsområde. Området är därmed känsligt för miljöfarliga ämnen såsom tungmetaller. Heås har inga bestämda riktvärden beträffande lakvatten. Men arbetet pågår ständigt med att försöka förbättra och utveckla reningsprocessen och kontrollen av vattnet.



Figur 2:2. Lakvattnet från Heås(A) avleds till recipienten Breviks kile (B)(www.eniro.se).

För att uppnå, de i sammanhanget relevanta, miljömålen "Levande sjöar och vattendrag", "Grundvatten av god kvalitet" och "Hav i balans" är ett lakvattensystem med sedimenteringsdammar och flerstegsfilter under byggnation. Detta ska begränsa utsläppen av miljöskadliga ämnen till Breviks kile. Då sedimenteringsdammarna blir fulla grävs de ur, material klassat som farligt avfall, forslas bort och filtermaterialen ska kunna bytas ut.



Figur 2:3. Lakvattnet från avfallsmassorna leds via flera sedimenteringsdammar ut i recipienten. (Ramböll, 2005)

3. Laboratorieförsök

Cementens egenskaper gör att ballast kan bindas ihop till en solid enhet med mycket bra hållfasthetsegenskaper. De utförda laboratorieförsöken har till syfte att utreda om en blandning av flygaska och vitslam kan fungera som alternativ till cement.

3.1. Vitslam

I restprodukter från pappersmassaframställningen skiftar materialens egenskaper beroende på ursprung. När finpapper (vitt skrivpapper osv.) används som råvara, blir halten lera och krita extra hög och fiberinnehållet förhållandevis lågt. Denna restprodukt kallas "vitslam".

Vitslam har visat sig ge, i olika blandningar, bättre tätande egenskaper vilket innebär att permeabiliteten blir lägre. Egenskapen är viktig eftersom ett tätt material är mindre vattengenomsläppligt än ett sprött och därmed minskar urlakningen av materialet. Slammet har däremot relativt dåliga hållfasthetsegenskaper i förhållande till flygaskan.

3.1.1. Materialets miljötekniska egenskaper

Det har inte utförts några lakningstester på slammet, då det anses vara ett alldeles för tätt och kompakt material för att tillförlitliga resultat skulle kunna fås. Vitslammet bör dock betraktas som inert avfall med avseende på de mängder föroreningar slammet innehåller (se bilaga A & C).

Om slammet blir klassat som organiskt kan det inte tas emot på en deponi för inert avfall (23 § NFS, 2004:10). Det finns en haltbestämning på rent kol men inte på organiskt kol (TOC). Risken finns att halten TOC överskrider 3 % vilket gör att materialet skall betraktas som organiskt (Hargelius, K. & Wilhelmsson, A., 2005).

3.2. Flygaska

Flygaska är de förbrända partiklar som följer de varma rökgaserna ut ur förbränningskammaren och som fångas upp i förbränningsfilter. Den innehåller oftast mer näringsämnen och mer oförbränt material än t.ex. bottenaskan (Larsson, M. & Lejon, A. 2003).

Flygaskan som studeras i denna rapport är färsk och är en restprodukt från KKAB:s kraftvärmeverk i Katrinefors. Avfallet som förbränns kommer dels från Mestä Tissue AB:s pappersbruk i Mariestad och dels består det av bark och kvistar från barrträd. Värme från förbränningen blir fjärrvärme och elenergi.

Pappersbrukets avfall består av slam från processerna för avsvärtning och fiberåtervinning från returpapper. Slammets innehåll består därför till största delen av fiberfragment och mineral från fyllningsmedel och bstrykningsmedel som finns i fin- och tidningspapper. Fyllnadsmedlet består främst av kaolinlera och krita. Restprodukten, slammet, innehåller lera, krita, pappersfibrer och trycksvärta. Vid förbränningen bränns fibrer och trycksvärta och kvar blir lera och bränd kalk (Hargelius, K. & Wilhelmsson, A., 2005).

Färsk flygaska är starkt basiskt med ett pH som ofta överstiger 12. Med färsk flygaska menas att kalken i askan inte har reagerat med vatten och släckts. När askan släcks hårdar den till ett hållfast material och får egenskaper som liknar cements. Reaktionen som sker när kalken släcks kallas puzzolanreaktion och kan kemiskt beskrivas enligt följande: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{värme}$.

3.2.1. Materialets miljötekniska egenskaper

De tester som utförts på den färska flygaskan från KKAB visar på att alla de analyserande parametrarna ligger inom eller under haltgränserna för icke miljöfarligt avfall. Testerna påvisar att vissa enskilda metaller lakar ut i mängder som ligger över gränsvärdena för inert avfall (se Bilaga A & B). De metaller som ligger över riktvärdena för inert avfall vid lakning är barium, krom och molybden (Hargelius, K. & Wilhelmsson, A., 2005).

3.2.2. Flygaskans användningsområden

Enligt rapporten "flygaska i geotekniska anläggningar" delas flygaska in i tre olika grupper:

- *Grupp A* finns askor med liten mängd osläckt kalk dvs. dåliga puzzolanegenskaper. Askorna är olämpliga att använda för att stabilisera t. ex vägkonstruktioner och behöver tillsats av cement eller annat bindemedel för att härda ordentligt.
- *Grupp B* är askor som har medelhöga halter av osläckt kalk. Askorna bör användas utan tillsats av bindemedel eftersom materialet då blir svårare att vibrera och således ger en sämre hållfasthet. Denna aska kan användas till bl. a deponitäckning, stabilisering av grusvägar samt som jordstabilisator.
- *Grupp C* består av flygaskor med höga halter osläckt kalk. Askorna har bra härdningsegenskaper och en tillsats av bindemedel kan ge materialet högre frostbeständighet och bättre bärförmåga. Askan kan användas i betong samt som stabilisator för miljöfarligt avfall. "Flygaska i geotekniska anläggningar" (Värmeforsk. 2004).

Flygaskan från KKAB har varierande innehåll beroende på vad som förbränns. Detta gör det svårt att kategorisera den enligt ovanstående system.

Stabiliserade grusvägar

I april 2005 gjordes en undersökning med flygaska som bindemedel på grusvägar. Askan som användes kom från Holmen papers Hallsta pappersbruk. Askan består, liksom askan från KKAB, av förbrända restprodukter från pappersindustrin och kan således antas ha liknande egenskaper (Jyrävä, H., Lahtinen, P., Maijala, A. & Mácsik, J., 2005).

Laboratorieförsöken visade att en tillsats av flygaska som bindemedel i en grusvägskropp ger bättre bärighet, högre hållfasthet samt mindre underhållsbehov. Om man dessutom tillsätter andra bindemedel t.ex. cement i små mängder skulle vägkroppen också kunna få frostbeständiga egenskaper (Jyrävä, H., Lahtinen, P., Maijala, A. & Mácsik, J., 2005).

Den miljötekniska undersökningen visade att lakningen av miljöfarliga ämnen låg under gällande riktvärden och visade att flygaska kan användas som bindemedel i vägkonstruktioner. Undersökningen omfattade även en pilotyta där resultaten från laboratorieförsöken tillämpades på Ehsjövägen i Hallstavik. Yta ska studeras under 5 år för att utvärdera materialets hållbarhet och tjälbeständighet under en längre tidsperiod och naturliga förhållanden (Jyrävä, H., Lahtinen, P., Maijala, A. & Mácsik, J., 2005).

Flygaska i betong

I många länder i Europa, där kolkraftverk används som energikälla, används flygaska mer frekvent än i Sverige. I t.ex. Danmark, Tyskland, Nederländerna och Storbritannien används flygaska i stor omfattning som tillsatsmedel i betong. I Danmark används cirka 300 000 ton flygaska till betongtillverkning.

Enligt Lennarth Bengtsson på Färdig Betong AB är en anledning att askan som används på kontinenten är restprodukter från kolkraftverk, vilka håller högre och jämnare kvalitet än den svenska askan som i princip baseras på biobränslen. Det förekommer även import av tysk flygaska till den svenska betongindustrin.

Enligt organisationen Emineral i Danmark har flygaska i betong flera fördelar:

- Volymen fast material i pastan är högre i betong med flygaska, vilket ger en mer stabil betong, där risken för blödning och separation minskar.
- Betong med flygaska är ofta lättare att pumpa och vibrera än portlandcementbetong eftersom askans sfäriska partiklar ger en lägre inre friktion i betongen.
- Flygaska kan även ge en tätare betong tack vare sina puzzolana egenskaper. Detta minskar risken för sprickbildning och gör även askan användbar i självkompakterande betong (Emineral, 2007).

Kriterier för flygaska i betong

I Svensk Standard (SS-EN 450-1:2005 Flygaska för betong – Del 1) tas riktlinjer och kriterier upp för användning av flygaska i betong. Beroende på betongkvalitet finns det olika parametrar som reglerar kvantiteten aska.

De viktigaste punkterna för användning av flygaska i betong är följande:

- Högsta tillåtna mängd flygaska som får tillsättas betongen.
- Högsta tillåtna mängd flygaska som får inräknas vid beräkning av det ekvivalenta vattencementtalet (ekv. Vct.).
- Fastställande av värde för k-faktorn. Med k-faktorn menas den mängd av askans puzzolanegenskaper som kan räknas i det ekvivalenta vattencementtalet. Vct-talet kan beräknas enligt följande formel:

$$\frac{v}{c} = \frac{\text{vatten}}{\text{cement} + k \times \text{flygaska}}$$

SS har också tydliga kriterier på askans kemiska och fysiska egenskaper (se bilaga D).

Flygaska som markstabilisator

Vid framförallt vägbyggnationer är det vanligt med förstärkningsåtgärder i form av kc-pelare (kalk-cement) där marken är instabil. Denna åtgärd är ett alternativ till utskiftning av jordmassor. Försök har visat att en blandning kalk-cement-aska bidrar till en betydande stabiliserande effekt i de aktuella jordarna. Lakningsegenskaperna för en sådan blandning visar sig även vara likvärdiga med traditionella kc-pelare (Rogbeck, Y, Larsson L, Åhnberg, H, Rodenstam, S. 2006).

3.3. Tidigare försök på flygaska och vitslam

Blandningar av flygaska och vitslam har tidigare gjorts för att undersöka blandningens fysiska egenskaper. Försöken har redovisat att aska blandat med slam ger bättre tätande egenskaper än varje material för sig.

3.3.1. Materialets geotekniska egenskaper

I rapporten "Utredning av restprodukter från kraftvärmeverk, egenskaper och möjligheter", gjordes tre olika blandningar med viktprocentsatser enligt följande:

1. Blandning 1: 30 % flygaska och 70 % vitslam
2. Blandning 2: 70 % flygaska och 30 % vitslam
3. Blandning 3: 100 % vitslam

Vid laboratorieförsöken härdades provkropparna i en kubisk geometri med måtten 150 x 150 x 150 mm. Efter 28 dygns härdning fick man fram resultat enligt följande.

Blandning 2 utvecklade den bästa tryckhållfastheten och blev därmed en naturlig utgångspunkt för våra blandningar.

Tabell 3.1 Tidigare försök på flygaska och vitslam (Hargelius & Wilhelmsson 2005).

	Blandning 1	Blandning 2	Blandning 3
Härdning och tryckhållfasthet (kPa)KPa)	365	1145	Ingen undersökning
Kompressabilitet (%) under tryckhållfastheten	9 %	1,5 %	Ingen undersökning
Permeabilitet m/s	$5,5 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
Tryckhållfasthet efter permeabilitetstesten (kPa)	370	1230	95

3.4. Laboratorieförsök med flygaska och vitslam

Hög hållfasthet hos betong beror till stor del av mängden ballast. Tidigare tester har visat att en förening med flygaska och vitslam ger ett material som kan användas till hårdgjorda ytor. Tester är gjorda utan inblandning av ballast som skulle kunna öka tryckhållfastheten avsevärt. Utgångspunkten är att restprodukterna lyckas binda ballasten så att materialet kan fungera som ett alternativ på ytor som inte ställer höga krav på bärförmåga.

I den första blandningen bestod bindemedlet av 70 % flygaska och 30 % vitslam. I denna blandning testades 0, 38, 65, 70 och 75-% ballast. Bindemedlet i den andra blandningen innehöll 50 % flygaska och 50 % vitslam, även här testades ballast i mängderna: 0, 65, 70 och 75-%. Den tredje blandningen innehöll endast 80 % flygaska, 20 % cement och vatten. Tre olika prover av varje blandning har utförts för att kunna testa proverna vid olika tidsintervall, totalt utfördes 30 prover. Tanken var att testa proverna efter 3, 10 och 28 dygn för att studera härdningens förlopp.

3.4.1. Materialparametrar

De olika materialen har olika T/S – halt. T/S - halten visar vilken mängd torr substans den totala massan innehåller.

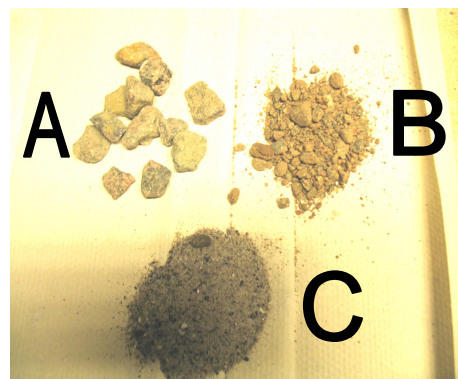
Förutsättningar		
Bindemedel	Vattenhalt	TS-halt
Flygaska	20 %	80 %
Vitslam	70,10%	29,9%
Ballast	3 %	97 %

Tabell 4.1 Förutsättningar för blandningsmaterial

De prover som innehöll ballast hade samma förhållande mellan de olika fraktionerna. Förhållandet är från ett standard markbetongrecept. Receptet och ballast har hämtats från företaget Färdig Betong AB.

Ballast	
8-16mm Tagene	37 %
0-8mm Östad	31,50 %
0-8mm Sjösand	31,50%

Tabell 4.2 Ballastförhållanden i viktprocent.



Figur 4.1 Använd ballast: A= "Tagenesten" B= "Östadgrus" C= "Sjösand"

3.4.2. Utförandebeskrivning

I den första blandningen bestod bindemedlet av 70 % flygaska och 30 % vitslam. Skillnaden mellan de olika proverna var mängden ballast. Proverna tillfördes 5 viktprocent vatten på den totala massan i varje prov.

I den andra blandningen bestod bindemedlet av 50 % flygaska och 50 % vitslam. Skillnaden mellan de olika proverna var även här mängden ballast. Proverna tillfördes 7 viktprocent vatten på den totala massan i varje prov och proverna fick härda i 28 dygn.

Material:

Bindemedel: Flygaska, vitslam (T/S 39.1)

Ballast: Sand (sjösand) 0-8 mm, sand (Östad) 0-8 mm, makadam 8-16 mm, kranvatten

Utrustning:

Blandningskärl (plasthinkar), våg, provtryckningscylindrar (D: 50 mm, H: 170mm), blandningsmaskin, packningsstav, förkläde, skyddsglasögon och skyddshandskar. Försöken genomfördes i rumstemperatur (22 °C).

Vitslam och flygaska beställdes från Katrinefors värmekraftverk. Efter materialinsamlingen beräknades torra och våta mängder för förhållandena aska/vitslam samt bindemedel/ballast i Excel för att få de blandningsproportionerna som recepten föreskriver.



Figur 4.2 Homogeniseringsprocess

Första blandningen bestod av 70 % flygaska och 30 % vitslam. Den andra blandningen bestod av 50 % flygaska och 50 % vitslam.

Aska och slam blandades till ett homogent material i blandningsmaskinen för att få en regelbunden härdning. Ballasten blandades sedan efter beräknade mängder i plastkärl på våg, (tabell 4.2). Efter detta blandades bindemedel och ballast noggrant i blandningsmaskinen tills materialet blivit homogent. Kranvatten tillfördes. En del för att askan skulle få rätt fuktkvot (20 %) och en del för att den totala blandningen skulle få rätt fuktkvot (5 %) enligt receptet. Blandningen ökade kraftigt i temperatur när vattnet tillsattes på grund av Kalciumoxiden i askan.



Figur 4.3 Provtryckningscylinder

Materialet packades noggrant med ett ungefärligt tryck på 20 kPa i 2-centimeterslager med packningsstav i plastcylindrar. Proverna förslöts, märktes upp och placerades i backar för att härddas i rumstemperatur.

Proverna från blandning 1 och 2 öppnades efter tre dygn och det visade sig att blandningen inte härdat färdigt. Konsistensen kunde jämföras med fuktig sand. Proverna hade inte förändrats efter tio dagar, så proverna återförslöts och fick härda i 28 dygn.

Efter 28 dygn togs proverna ut ur sina cylindrar för att tryckas. Tryckförsöken utfördes i Rambölls geolab. Först sågades de upp i 50-60 mm höga cylindrar. Därefter vägdes de och placerades i en enaxlig CRS-apparat som gav värden på tryck och skjuvhållfasthet samt deformation.

3.5. Beskrivning laborieförsök med flygaska och cement

Eftersom försöken med vitslam och flygaska inte kunde uppnå de önskade värdena, fanns anledning att blanda in cement. De tidigare resultaten visar att desto mindre ballast och vitslam proverna innehöll desto starkare blev de. Därav gjordes fyra nya blandningar med en fuktkvot på 47% som tidigare tester påvisar.

I den tredje blandningen testades att blanda flygaska och cement. Blandningen bestod av 80 % flygaska och 20 % cement. Flygaskan hade här en vattenkvot på 47 %. Provet fick sedan härda i rumstemperatur (22°C) i 10 dygn.

3.5.1. Utförandebeskrivning

Material: Flygaska, byggcement och vatten

Utrustning: Blandningskärl (plasthinkar), våg, provtryckningscylindrar (D: 50 mm, H: 170mm), blandningsmaskin, packningsstav, förkläde, skyddsglasögon och skyddshandskar.

Försöken genomfördes i rumstemperatur (22°C).

Först beställdes vitslam och flygaska från Katrinefors värmekraftverk. Byggcement hämtades från Cementa AB.

Efter materialinsamlingen beräknades torra och våta mängder för förhållandena aska/cement i Excel för att få de korrekta blandningsproportionerna som recepten föreskriver.

Aska och byggcement blandades efter beräknade mängder. Aska och cement blandades till ett homogent material i blandningsmaskinen för att få en regelbunden härdning.

Kranvatten tillfördes så att askan skulle få rätt fuktkvot (47 %). Blandningen ökade kraftigt i temperatur när vattnet tillsattes på grund av Calciumoxiden i askan.

Materialet packades noggrant med ett ungefärligt tryck på 20 kPa i 2-centimeterslager med packningsstav i plastcylindrar. Proverna gjordes endast 6 centimeter höga för lättare hantering. Proverna förslöts, märktes upp och placerades i backar för att härdas i rumstemperatur.

4. Resultat

Innan tryckförsöken utfördes mättes och vägdes provkropparna i syfte att räkna ut densiteten. Därefter placerades kropparna i en CRS-apparat som belastade dem vertikalt i ett enaxligt tryckförsök. Skjuvhållfastheten räknades ut med formeln:

$$\tau_{fu} = \frac{P}{2A}$$

där

τ_{fu} = skjuvhållfasthet, kPa

P = axiallasten vid brott

A = provets tvärsektionsarea

4.1.1. Geotekniska egenskaper

Blandning 1.

Den första blandningens resultat visade på att hållfastheten hos proverna minskade med ökad mängd ballast. Deformationen är här ett uttryck för förhållandet mellan provkroppens höjd innan tryckförsök och provförsökets höjd vid brott. I blandning 1 är det svårt att urskilja en trend i deformationen. Anledningen till detta är att tryckytorna på proverna inte var helt regelbundna vilket resulterade i en tryckaxel som inte var helt vertikal.

Tabell 5.1 Resultat för första blandningen

Ballast (%)	Densitet (gr/cm ³)	Deformation (%)	Tryckhållfasthet (kPa)	Skjuvhållfasthet (kPa)
0	1,30	1,80	288,70	144,35
38	1,51	3,25	128,81	64,41
65	1,68	1,23	153,41	76,70
70	1,78	1,14	125,53	62,76
75	1,59	3,64	99,55	49,78

Blandning 2.

Den andra blandningen, där förhållandet flygaska/vitslam var 50/50, visade sig ha lägre hållfasthet än blandning 1 med 70 % flygaska. Den högre andelen vitslam i blandningen ger den en hög deformationsresistens. Det visar sig att en högre andel ballast ger en lägre deformationsresistens.

Tabell 5.2 Resultat för andra blandningen

Ballast (%)	Densitet (gr/cm ³)	Deformation (%)	Tryckhållfasthet (kPa)	Skjuvhållfasthet (kPa)
0	1,18	5,33	168,05	84,02
65	1,51	3,42	98,79	49,40
70	1,54	0,95	95,44	47,72
75	1,52	1,60	38,04	19,02

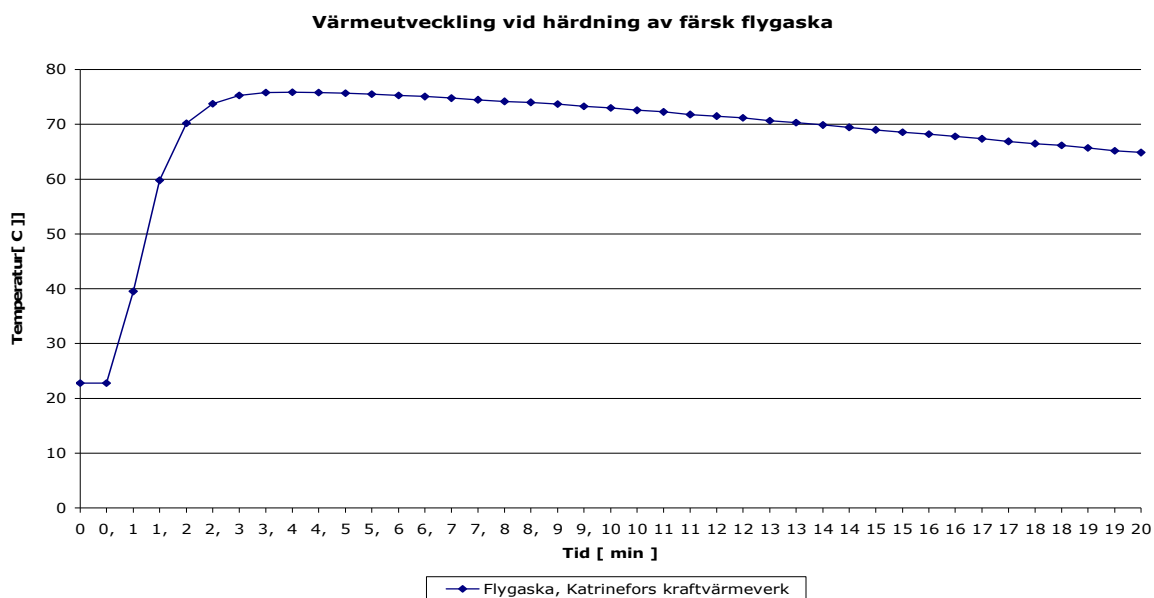
Blandning 3.

Blandning 3 hade en betydligt högre hållfasthet än de andra två blandningarna. Densiteten i detta prov är mindre än de övriga på grund av ballastens frånvaro.

Tabell 5.3 Resultat för tredje blandningen

Ballast (%)	Densitet (gr/cm ³)	Deformation (%)	Tryckhållfasthet (kPa)	Skjuvhållfasthet (kPa)
0	1,07	3,26	476,27	238,13

Askan från KKAB är helt torr. Vid tillförsel av vatten reagerar askan kraftigt med följd av en hög värmeutveckling. Ett par minuter efter tillförseln av vatten var temperaturen redan uppe i knappt 80 grader Celsius. Den stora värmeutvecklingen i flygaskan tyder på en kraftig exoterm reaktion. Med detta menas att en stor del av energin i den puzzolanreaktionen blir till värme istället för att binda ballasten med askan.



Figur 5.1 Värmeutveckling vid härdning av färsk flygaska

5. Analys

Resultaten visar på en låg hållfasthet i förhållande till traditionell markbetong vilken har en tryckhållfasthet på ca 40 MPa.

5.1. Hållfasthetsanalys

I betong är mängden ballast en direkt avgörande faktor för hur hög tryckhållfasthet materialet får. Detta beror på att cementpastan sammanfogar stenmaterialet till ett solitt material.

Laboratorieundersökningarna visar på att flygaskan inte har de bindningsegenskaper som cement har. En anledning till detta är mängden CaO i respektive material. I tabellerna nedan redovisas den kemiska sammansättningen i standard Portland cement och i flygaska från KKAB. Enligt Värmeforsk rapport (*Jyrävä, 2004*), så har halten CaO ett klart samband med hållfastheten i materialet. Ett bindemedel med en hög halt CaO ger starkare bindningar än ett bindemedel med låg halt CaO.

Tabell 5.1 Kemisk sammansättning av standard Portlandcement (*Johansson, J., 2006*).

Kemisk beteckning	Andel i %	Ämne
CaO	60-68	Kalciumoxid
SiO ₂	18-24	Kiselsyra
Al ₂ O ₃	4-8	Aluminiumoxid
Fe ₂ O ₃	2-5	Järnoxid
MgO	<5	Magnesiumoxid
K ₂ O	0,2-2	Kaliumoxid
Na ₂ O	0,5	Natriumoxid
SO ₃	<2,5	Svavelsyreanhydrid

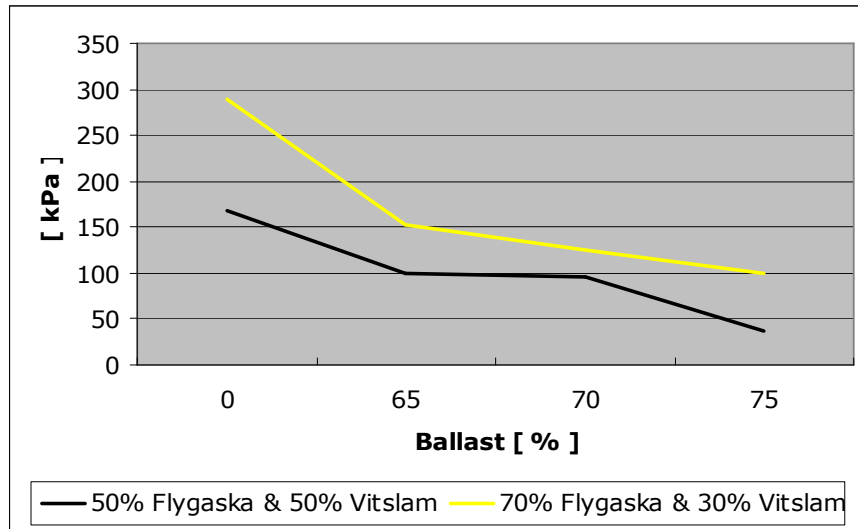
Tabell 5.2 Kemisk sammansättning av flygaska från KKAB (*Hargelius, K. & Wilhelmsson, A., 2005*).

Kemisk beteckning	Andel i %	Ämne
CaO	7,4-42	Kalciumoxid
SiO ₂	34	Kiselsyra
Al ₂ O ₃	14	Aluminiumoxid
Fe ₂ O ₃	2,3	Järnoxid
MgO	2,7	Magnesiumoxid
K ₂ O	1	Kaliumoxid
Na ₂ O	0,42	Natriumoxid
SO ₃	-	Svavelsyreanhydrid

Cementens och flygaskans reaktivitet beror bl. a. på förhållandet mellan kalk och kisel, CaO/SiO₂. Ju högre förhållande desto mer hydrauliskt är materialet, dvs. att materialet härdar utan tillgång till luft (*Janz, M & Johansson, S., 2002*).

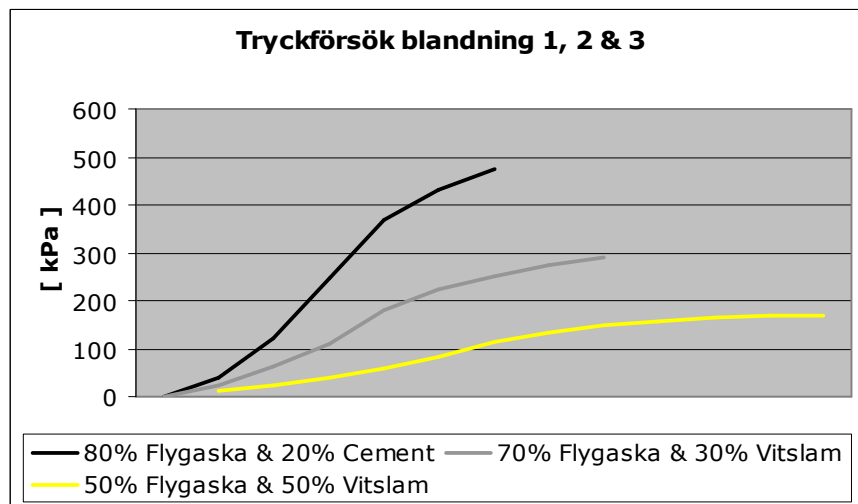
Förhållandet CaO/SiO_2 är högre i cement vilket kan förklara att flygaskan härdar sämre än cement i en provkropp med begränsad tillgång till luft. Cementens hydrauliska egenskaper gör att bindemedlet i tabell. 5.1 kan binda samman beståndsdelarna bättre än flygaskan i tabell. 5.2. Flygaskans resultat blir snarare ett poröst och inhomogent material. Proverna visar också att en blandning helt utan ballast har bättre hållfasthet än de blandningarna med ballast. En förklaring till detta är att de smala provtryckningscylindrarna kombinerat med en grov ballastfraktion inte ger regelbundna tvärsnitt och således en inhomogen provkropp.

Provresultaten visar även att en större kvantitet vitslam i blandningen ger lägre hållfasthet. Anledningen till detta är att vitslammet fungerar som fyllnadsmaterial och inte har några puzzolana egenskaper (figur 5.1).



Figur 5.1. Ballastens inverkan på hållfastheten.

Inblandningen av cement gav som förväntat ett mer hållfast resultat. Figur 5:1 visar ett tryckförsök med cement och flygaska i blandningen. Provkroppen klarade nästan av en tryckhållfasthet på 500 kPa innan den deformerades, medan den blandningen med 70 % flygaska och 30 % vitslam endast kom upp i knappa 300 kPa. Man kan även utläsa att den provkropp med den största delen vitslam klarade av mest deformation innan den gick sönder. Detta tyder på att vitslammet ger en mer elastisk kropp än de kroppar som innehöll större mängd flygaska (Figur 5.2).



Figur 5.2. Samband mellan tryckspänning och deformation på tre olika blandningar.

Den bästa blandningen med enbart flygaska och vitslam som bindemedel har en tryckhållfasthet på 288,7 kPa. Motsvarande blandning i de tidigare försök som utförts av Hargelius och Wilhelmsson (*tabell 3:1*) har en tryckhållfasthet upp till 1145 Kpa uppmätts (*Hargelius, K. & Wilhelmsson, A. 2005*). Askan i detta prov hade en CaO-halt på 42 % vilket är ett högt värde i sammanhanget. Denna skillnad i hållfasthet indikerar att CaO-halten i askan som används i blandning 1, 2 och 3 förmodligen är lägre än askan som används till proverna i tabell 3:1 och således har sämre härdningsegenskaper.

Eftersom flygaskan från KKAB varierar i innehåll och egenskaper beroende på vad som förbränns så är den inte lämplig att använda i betong eftersom recepten på de olika blandningarna skulle vara svåra att standardisera. Då askans kvalitet varierar så kraftigt är den inte lämplig att använda som bindemedel i en hårdgjord arbetsyta.

Askan och vitslammet är däremot användbar som t.ex. täckning av deponi där hållfasthetskriterierna inte är så höga. Detta är även ett bra alternativ till att deponera restprodukterna. Detta har tidigare utförts på Kikåsdeponin. Då detta projekt är relativt nytt har de långsiktiga resultaten inte utvärderats men de tester som gjorts har visat på liten miljöpåverkan (*Hargelius, K., Sjöbergh, O. & Pettersson, C. 2006*).

I tidigare studier av flygaska och vitslam (*Hargelius, K. & Wilhelmsson, A. 2005*) så har flygaska mycket bra resistens mot tjällyftning. Denna egenskap kan göra askan användbar som stabilisator i tjälfarliga vägar.

5.2. Miljöteknisk analys

De laktester som gjorts på den aktuella flygaskan visar på att mängden tungmetaller, som är de mest skadliga ämnena i flygaskan, håller sig inom de EU-bestämda gränserna för inert avfall. Enligt dessa tester skall det gå bra att deponera askan där länsstyrelsen givit tillstånd. Askan är dock av varierande kvalitet vilket innebär att kontinuerliga tester bör utföras på askan vid användning. Eftersom det inte finns några generella kriterier för utsläpp av lakvatten vid deponering, bör varje enskilt fall noggrant granskas och följas upp med avseende på recipientens känslighet.

Jämfört med betong har blandningarna med flygaska mycket högre permeabilitet. Vilket innebär att flygaskan släpper igenom mycket mera vatten per tidsenhet än vad betong gör. Detta gör att risken för att tungmetaller urlakas ur askan är betydligt större än hos betong. Dock bör det beaktas att som alternativ till deponering, kan flygaska ses som en såväl ekonomisk som miljövänlig valmöjlighet.

6. Diskussion

Den största svagheten som kan anknytas till våra undersökningar är att Calciumoxidhalten i den använda flygaskan inte fastställts. Askan från KKAB har ett varierande innehåll CaO beroende på vad som förbränns. Innan proverna blandades borde askans egenskaper studerats, så som halten CaO och SiO₂, för att kunna jämföras med cement. Detta hade kunnat ligga till grund för ett mer noggrant recept och därmed eliminerat vissa variabler så som kvoten vatten/flygaska. Om askan och cementen hade haft ett liknande förhållande mellan CaO och SiO₂, hade ett beprövat vct-tal kunnat användas. Askan innehöll förmodligen en relativt låg halt CaO jämfört med tidigare tester, vilket innebar att bindningsegenskaperna i blandningarna inte blev lika starka som förväntat.

I de tidigare laboratorieförsök som utförts härdades provkropparna i en kubisk geometri med måtten 150 x 150 x 150 mm (*Hargelius, K. & Wilhelmsson, A. 2005*). Detta gör att en fullständig jämförelse med denna rapporters försök inte är möjlig eftersom dessa provkroppar är cylindriska. Om större kubiska former hade använts även i dessa försök hade resultaten förmodligen blivit annorlunda. Eftersom ballasten som användes troligen var av för stor fraktion för att användas i cylindriska provtryckningsformer av storleken: D: 50 mm, H: 170mm. Detta gjorde att ballasten inte blev jämt fördelad och gav således oregelbundna provkroppar.

Blandningarna utgick från ett markbetongrecept vilket innehåller mindre vatten än konventionell betong. Eftersom ett optimalt förhållande mellan vatten och flygaska inte fastställts så skulle en ökning av vattenkvoten kunna ge starkare bindningar mellan materialets beståndsdelar och därigenom öka bärförmågan.

Vid tryckförsöken var vissa prover en aning oregelbundna pga. den porösa sammansättningen. Detta gjorde att provresultaten har en viss felmarginal, då de ojämna provkropparna gav ojämn belastning.

Flygaskan reagerar fort och intensivt men härdar långsamt. Vid de första försöken efter 10 dagar var proverna fortfarande lite fuktiga och behövde ytterligare härdningstid. Detta resulterade i att vissa planerade tryckprover inte kunde utföras.

Tillvägagångssättet och metoden har fungerat bra. En mera noggrann litteraturstudie angående materialets kemiska sammansättning kunde dock med fördel ha utförts innan laboratorieförsöken.

7. Slutsatser

Recepten utgick från ett konventionellt markbetongrecept som innehåller mycket ballast och lite vatten. Det stod, efter utförda tryckförsök, tämligen klart att ett bindemedel bestående av enbart flygaska och vitslam inte hade de nödvändiga egenskaperna för att stabilisera så mycket ballast.

Vitslammet gjorde blandningen tät men gav också en sämre hållfasthet. Proverna med hälften vitslam i bindemedlet gav en betydligt sämre hållfasthet än den med en större andel flygaska.

Generellt kan man säga att mängden cement är direkt avgörande för blandningens hållfasthet. I konstruktioner kan en tillsats av flygaska ge betongen bättre egenskaper men utan cement så blir materialet för svagt för att kunna ses som ett alternativ till cementbunden betong.

Trots att proverna fick lägre hållfasthet än förväntat så bör flygaska ses som ett material för framtiden. Användning av flygaska i olika beläggningar är både ett mer ekonomiskt och i många fall miljövänligare alternativ än att deponera den.

För att tillgodose Sveriges kretsloppspolicy krävs det att användningen av flygaska blir mer frekvent. På ytor som ställer låga krav på bärighet kan askan fungera som ett billigt och miljövänligt alternativ till traditionella bindemedel som cement och bitumen. Även på ytor med höga hållfasthetskrav kan en tillsats av flygaska ge betong bra egenskaper.

7.1. Förslag på vidare forskning

Vidare forskning på området skulle kunna utarbeta blandningar vars egenskaper matchar gällande kriterier för olika användningsområden som har lägre krav på bärförmågan.

En intressant infallsvinkel är även hur askan fungerar som stabilisator till exempel blålera och andra jordarter med små fraktioner och hög vattenkvot. Då en stor del av västra Sveriges infrastruktur är grundlagd på lera, finns ett stort behov av förstärkningsåtgärder som till exempel kc-pelare. Tidigare försök har visat på att flygaskan har goda egenskaper vid sådana åtgärder (*Rogbeck, Y, Larsson L, Åhnberg, H, Rodenstam, S. 2006*).

Man bör även studera hur flygaskans puzzolana reaktioner uppför sig på en yta i naturliga förhållanden där klimat och temperatur kan variera. Ett provförsök in situ skulle kunna visa flygaskans frostbeständighet och lakningsegenskaper.

Flygaskans kemiska sammansättning bör studeras närmare. Detta för att kunna utvärdera vilka eventuella tillsatsmedel som skulle kunna komplettera flygaskans svagheter och därigenom ge ett mer funktionellt material.

8. Referenser

Anderberg, A. (2002), *Förändring av arbetbarhet hos betong med anläggningscement*, Examensarbete TVBM-5050, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Carling, M., Ländell, M., Håkansson, K. & Myrhede, E. (2006), *Täckning av deponier med aska och slam – erfarenheter från tre fältförsök*, Värmeforsk Service AB, Stockholm.

Cementa AB (2002), *Handbok, Betong på mark – Platsgjutna lösningar*, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, ISBN 91-7332-995-9

Chauvet, C. (2003), *Treatment of contaminated leachate with natural and rest product adsorbent materials*, Master's thesis 2003:21, Water Environment Transport, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg & Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby.

Gustafsson, M. & Wiberg, K. (1998), *Geoteknisk och miljöteknisk karakterisering av restprodukter från pappers- och massaindustrin – Användning inom mark- och anläggningsområdet*, Examensarbete 1998:7, Institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Gustafsson, M. & Öberg-Högsta, A-L. (2000), *Användning av rest-, destruktions- och återvinningsmaterial inom mark- och anläggningsbyggande – En litteraturstudie*, Examensarbete 2000:2, Institutionen för geoteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Hargelius, K. & Wilhelmsson, A. (2005), *Utredning av restprodukter från kraftvärmeverk – Egenskaper och möjligheter*, Ramböll Sverige AB, Göteborg.

Hargelius, K., Sjöbergh, O. & Pettersson, C. (2006), *Möndals Stad, sluttäckning av Kikåsdeponin med alternativa material – Rapport på blandningar med flygaska och grönslutslam (FSG)*, Ramböll Sverige AB, Göteborg.

Janz, M & Johansson, S. (2002), *Olika bindemedels funktion vid djupstabilisering*, Rapport 9, Svensk Djupstabilisering.

Johansson, J. (2006), *Vattens påverkan på betongdammar*, Examensarbete 2006:16, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

Jyrävä, H., Lahtinen, P., Maijala, A. & Mácsik, J. (2005), *Flygaskor som bindemedel för stabilisering av grusmaterial - Laboratorieundersökningar samt förberedelser inför provbyggandet*, VÄRMEFORSK Service AB, Stockholm, ISSN 0282-3772.

Jyrävä, H., Lahtinen, P., Maijala, A. & Mácsik, J. (2004), *Flygaska i geotekniska anläggningar - Etapp 1: Inventering/Tillämplighet*, VÄRMEFORSK Service AB, Stockholm, Q4-107, ISSN 0282-3772.

Kalmykova, Y. (2004), *Leachate Treatment of Heavy Metals by Natural and Residual Product Materials*, Master's thesis 2004:3, Water Environment Transport, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Knutz, Å. (1999), *Användning av restprodukter i vägbyggnad*, Vägverket, Borlänge, ISSN 1401-9612

Larsson, M. & Lejon, A. (2003), *Cementstabiliserad granulerad flygaska och dess tekniska egenskaper*, Examensarbete 2003:272 CIV, Institutionen för Väg- och vattenteknik, Avdelningen för geoteknik, Luleå Tekniska Universitet, Luleå.

Lenströmer, S. (2002), *Avloppsslam som tätskikt på avfallsdeponier*, Examensarbete 2002:284 CIV, Institutionen för Väg- och vattenteknik, Avdelningen för geoteknik, Luleå Tekniska Universitet, Luleå.

Lind, B. (2004), *Tjårasfalt vid Spantgatan, Västerås – en konsekvensbeskrivning av olika hanteringssätt*, Preliminär rapport, Västerås Kommun.

(Miljöbalken, 1998)

Naturvårdsverket rapport 4913 (2000), *Bedömningsgrunder för miljö kvalitet – Sjöar och vattendrag*, Naturvårdsverket, Stockholm

Naturvårdsverket rapport 4918 (1999), *Metodik för inventering av förorenade områden*, Naturvårdsverket, Stockholm

Naturvårdsverket rapport 4638 (1996), *Generella riktvärden för förorenad mark*, Naturvårdsverket, Stockholm

Rogbeck, Y, Larsson L, Åhnberg, H, Rodenstam, S. (2006), *Kalkrik aska som bindemedel i markstabilisering*, SGI, Nordkalk AB.

Rylander, H. & Wiqvist, W. (2006), *Projekt Vändöra – En studie av långtidsegenskaper hos vägar anlagda med bottenaska från avfallsförbränning*, RVF rapport, Malmö, ISSN 1103-4092.

Svenska Geotekniska Föreningen (2003), *Att bygga med avfall – Miljörättsliga möjligheter och begränsningar för återvinning av avfall i anläggningsändamål*, SGF rapport 1:2003, ISSN 1103-7237

Svenska Renhållningsverksföreningens Service AB (2006), *RVF´s utvecklingsatsning deponering - Hur sätter man kriterier för utsläpp av lakvatten från deponier? – Kartläggning av nuläget och förslag till arbetsmetodik*, RVF rapport nr 4, Malmö, ISSN 1403-8617

Vägverket (2005), *ATB Väg 2005, Kapitel A Gemensamma förutsättningar*, Publ. 2005:112

Vägverket (2005), *ATB Väg 2005, Kapitel C Dimensionering*, Publ. 2005:112

Vägverket (2005), *ATB Väg 2005, Kapitel G Cementbundna lager*, Publ. 2005:112

8.1 Muntliga referenser

Bengtsson Lennarth, Betongteknik, AB Färdig Betong, Göteborg
Bengtsson Jimmy, Betongteknik, Thomas Concrete Group AB, Göteborg
Nilsson Lennart, Geoteknik, Ramböll Sverige AB, Göteborg
Jansson Stig, Marknadsutveckling, Cementa AB, Danderyd
Löfgren Ingmar, Betongteknik, Thomas Concrete Group AB, Göteborg
Svensson Steve, Byggt teknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg

8.2 Elektroniska referenser

<http://www.emineral.dk/swe/>, (2007-05-08)

<http://www.miljomal.nu>, (2007-04-24)

Bilaga A

Totalinnehåll i aska och vitslam från Katrinefors Kraftvärmeverk

Innehåll i aska och slam						
		aska	vitslam	Släckt aska	Bottenaska	
datum		2004-05-05	2004-03-26			Bottenaska 2 feb-05
oföbränt	%Ts	<0,1				
Askhalt	%Ts		628		99,9	
TOC	%TS			0,2	<0,1	
C	g/kgTS		244			
H	g/kgTS		25			
N	g/kgTS		5			
O(ber)	g/kgTS		97			
Cl	g/kgTS	1,7	<0,1			
S	g/kgTS	4,4	0,5	2,72	0,184	94,7
Si	g/kgTS	180				
SiO2	g/kgTS	340				70,9
Al	g/kgTS	74			49	
Al2O3	g/kgTS	140				10,1
Ca	g/kgTS	300			49,9	
CaO	g/kgTS	420				8,8
Fe	g/kgTS	16		23,5	28	
Fe2O3	g/kgTS	23				2,25
K	g/kgTS	8,2			24,5	
K2O	g/kgTS	9,9				3,94
Mg	g/kgTS	16			3,77	
MgO	g/kgTS	27				0,845
Mn	g/kgTS	0,9			0,913	
MnO2	g/kgTS	1,4				0,158
Na	g/kgTS	3,1		2,37	17,7	
Na2O	g/kgTS	4,2				2,28
P	g/kgTS	1,7		2,49	0,935	
P2O5	g/kgTS	3,9				0,281
Ti	g/kgTS	2,4		1,57	1,85	
TiO2	g/kgTS	4				0,245
Sb	mg/kgTs	4,5	<0,20	<200	<200	
Al	mg/kgTs		12200	90400		
As	mg/kgTs	46	0,88	<200	<200	10,5
Pb	mg/kgTs	83	8	<200	2870	90,8
Ba	mg/kgTs	330	38	276	658	856
Be	mg/kgTs	<2,5		2,15	1,88	1,56
B	mg/kgTs	56	<51			
Br	mg/kgTs		1,8			
Ca	mg/kgTs		142600	235000		
Cd	mg/kgTs	2	0,17	<30	<40	<0,1
Co	mg/kgTs	9	1,6	<30	<40	7,11
Cu	mg/kgTs	330	47	277	1880	709
Cr	mg/kgTs	140	18	62,1	137	59,3
F	mg/kgTs		25			
Fe	mg/kgTs		4300		28	
Hg	mg/kgTs	0,22	<0,02	<0,1	<0,1	0,0108
K	mg/kgTs		360	7440	24500	
Mg	mg/kgTs		2300	13500		
Mn	mg/kgTs		100	753		
Mo	mg/kgTs	6,3	5,1	<30	<40	<6
Na	mg/kgTs		2,4			
Ni	mg/kgTs	74		63,7	79,5	17,2
P	mg/kgTs		170			
V	mg/kgTs	23	4,8	<30	<40	18,4
Se	mg/kgTs		0,51			
Si	mg/kgTs		33600			
Sn	mg/kgTs	12	0,99	<20	<20	<20
Ti	mg/kgTs		51			
Zn	mg/kgTs	640	30	187	1770	880

Bilaga B

Analyser på flygaska från Katrinefors Kraftvärmeverk

	2003-04-25			2003-04-25		Gränsvärden för inert enligt EU			Gränsvärden för ickefarligt		
	kolonntester			Tvåstegsläkning		L/S 2 mg/kg TS	LS 10 mg/kg TS	L/S 0,1 mg/l	LS 10 mg/kg TS	L/S 0,1 mg/l	
	L/S 2 mg/kg TS	L/S 10 mg/kg TS	L/S 0,1 mg/l	L/S 2 mg/kg TS	L/S 10 mg/kg TS						
Ca	529	3389	42,3	1880	8584						
Fe	<0,01	<0,042	0,0247	0,02	0,0632						
K	2417	3889	4980	816	931						
Mg	<0,2	<0,9	<0,09	< 0,18	< 0,9						
Na	385	831	564	87	90,2						
S	19,8	27,3	70,6	2,66	7,99						
Al	7,03	14,4	12,2	0,352	3,4						
As	<0,02	<0,01	0,00138	< 0,002	< 0,01	0,1	0,5	0,06			
Ba	8,81	34,3	0,825	25,6	41,3	7	20	4	100	20	
Cd	<0,00014	<0,0005	<0,0004	0,00031	< 0,0006	0,03	0,04	0,02			
Co	0,0001	<0,0005	0,00009	0,00038	0,001						
Cr	0,0582	0,089	0,209	0,00402	0,0153	0,2	0,5	0,1		2,5	
Cu	0,00342	<0,012	0,0133	0,00438	< 0,011	0,9	2	0,6			
Hg	<0,00004	<0,0002	<0,00002	< 0,00004	< 0,0002	0,003	0,01	0,002			
Mn	0,000653	<0,0023	0,000795	0,00448	0,0111						
Mo	0,205	0,34	0,827	0,019	0,0756	0,3	0,5	0,2		3,5	
Ni	<0,001	<0,005	<0,0005	< 0,001	< 0,005	0,2	0,4	0,12			
Pb	0,016	0,0389	0,0136	0,0336	0,103	0,2	0,5	0,15			
Sb	0,00048	0,0015	0,00121	0,00046	0,002	0,02	0,06	0,1			
Se	0,0011	0,0022	0,00401	0,00023	0,0008	0,06	0,1	0,04			
Zn	0,00741	0,0179	0,00552	0,01034	0,0284	2	4	1,2			
Cl	56,6	145	110	52	168	550	800	460			
SO ₄	54,3	<95	220	< 10	< 50	560	1000	1500			
F	2,41	5,53	3,2	3,8	14,4	4	10	2,5		40	
DOC	7,8	15,2	21	11,6	18,5	240	500	160			
Fenoler	0,0188	0,163	0,017	< 0,01	< 0,05	0,5	1	0,3			
						Gräns för inert avfall					
	mg/kg TS		% av TS	mg/kg							
TOC	830		0,83%	30000							3%
BTEX	1,14			6							
PCB (Sum 7)	<0,01			1							
Mineralolja(C10-C<)	<20			500							
PAH - cancerösa	<0,07			10							
PAH - övriga	0,31			40							

Bilaga C

Skickade slam-prover från KKAB.

Kvartal	Torrhalt, %	Kviksilver, Hg, mg/kg TS	Kadmium, Cd, mg/kg TS	Bly, Pb, mg/kg TS	Krom, Cr, mg/kg TS	Nickel, Ni, mg/kg TS	Koppar, Cu, mg/kg TS	Zink, Zn, mg/kg TS
1, 2003	46,9	0,020	<0,20	3,3	12	4,1	94	45
2, 2003	45,5	0,021	<0,20	4,4	15	5,3	99	40
3, 2003	50,3	0,030	0,060	4,5	16	6,7	89	42
4, 2003	46,9	0,026	<0,12	3,7	17	6,4	93	49
1, 2004	47,8	0,026	<0,15	5,6	16	6,1	120	60
2, 2004	44,0	0,021	<0,16	4,1	15	4,9	110	40
3, 2004	50,0	0,021	0,23	5,1	18	7,7	99	51
4, 2004	48,3	0,030	<0,23	6,3	19	8,5	100	50

Krav på kemiska egenskaper enligt SS-EN 450-1

Egenskap	Referens i SS-EN 450-1	Krav i SS-EN 450-1		
		Kategori A	Kategori B	Kategori C
Glödförlust	5.2.2	≤ 5,0 %	≥2 - ≤7 %	≥4 - ≤9 %
Kloridhalt	5.2.3	≤ 0,10 %		
Svavelsyra-anhydrid (SO ₂)	5.2.4	≤ 3,0 %		
Fri kalciumoxid (Fri CaO)	5.2.5	≤ 1,0 % ¹⁾		
Reaktiv kalciumoxid (Reakt. CaO)	5.2.6	≤ 10,0 %		
Reaktiv kiseldioxid (Reakt. SiO ₂)	5.2.7	≥ 25 %		
Innehåll av SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ ²⁾	5.2.8	≥ 70 %		
Totalt alkalinnehåll (Na ₂ O _{equiv}) ²⁾	5.2.9	≤ 5,0 %		
Magnesiumhalt (MgO) ²⁾	5.2.10	≤ 4,0 %		
Lösligt fosfat (P ₂ O ₅) ³⁾	5.2.11	≤ 100 mg/kg		

