

## Energiaskor i betongrelaterade tillämpningar - Normer, praxis och erfarenheter

Erik Nordström & Per-Erik Thorsell





**Energiaskor i betongrelaterade  
tillämpningar**

**Normer, praxis och erfarenheter**

**Q4 - 133**

**Ashes in concrete related applications**

**Regulations, best practice and experiences**

Erik Nordström  
Per-Erik Thorsell

Projekttitel: Kravprofiler och toleranser för energiaskors egenskaper vid  
användning i betongrelaterade tillämpningar



## Förord

Användning av askor i betong- och betongrelaterade tillämpningar har en lång tradition och kanske framförallt utanför Sveriges gränser. Utanför Sverige är det mycket vanligt med bränslemixer som enbart består av kol. Dessa flygaskor är vanligen mycket användbara vid t.ex. betongtillverkning. Svenska bränslemixer domineras av bio och ibland tillsammans (eller enbart) med kol. Askor från förbränning av biobränslen uppfyller sällan de kravprofiler som finns uppställda för askor från kolflygaskor. Regelverken är också i stor utsträckning anpassade för rena kolflygaskor.

Det har genom tidigare forskningsprojekt visats att även andra flygaskor än rena kolflygaskor kan vara användbara i betongsammanhang. Projektet som presenteras i det följande syftar till att sammanställa de kravprofiler som finns presenterade i olika regelverk. En frågeställning är vilka acceptabla variationer som finns stipulerade i regelverken. Föreliggande rapport omfattar också en beskrivning av potentiella tillämpningar med anknytning till betong där diskussioner och erfarenheter har sammanställts för varje område.

Syftet med projektet har varit att utröna vilken potential det finns för avsättning av flygaskor i betong- och betongrelaterade tillämpningar ur såväl teknisk som ekonomisk synvinkel.

Vi ber att få framföra vårt varma tack till Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse för deras generösa delfinansiering av projektet.

Stockholm september 2003

Claes Ribbing  
VÄRMEFORSK Service AB



## Abstract

- \* Tydliga regelverk tillgängliga enbart för konstruktionsbetong, annars skall likvärdiga egenskaper uppnås vid användning av alternativa material. Få regelverk anger vilka de acceptabla variationerna är för de alternativa materialens egenskaper.
- \* De rena betongtillämpningarna ger inte största avsättningsvolymerna, men kan ge lokala lösningar mellan askproducent och t.ex. lokal betongtillverkare. Den största ekonomiska drivkraften finns också där aska kan ersätta dyrt cement som bindemedel.
- \* Betongrelaterade geotekniska tillämpningar ger störst volymer, men kanske också tuffare miljöprövning p.g.a. närhet till grundvatten. Gruvtillämpningarna ger också stora volymer men väldigt lokalt.
- \* En mer positiv inställning till användning av alternativa material kan ses både hos beställare och tillverkare/entreprenörer. Detta är också avgörande för vilken marknad som kan skapas för alternativa material.





## Sammanfattning

I föreliggande rapport redovisas en sammanställning av regelverk och praxis ifrån olika avsättningsområden för askor i betongrelaterade tillämpningar. I begreppet betongrelaterade tillämpningar menas även geotekniska tillämpningar där cement används som bindemedel i någon form. Det kan konstateras att fullt utvecklade regelverk endast står att finna för konstruktionsbetong, medan det för övriga tillämpningar endast finns skrivningar som ger möjlighet att använda alternativa material så länge motsvarande prestanda uppnås. I vissa tillämpningar finns inget regelverk över huvudtaget utan bedömningen görs från fall till fall. Från början var tanken att belysa även acceptabla variationer för de parametrar som gränsvärden har formulerats, men det har under arbetets gång visat sig vara mycket svårt då detta sällan finns dokumenterat.

En övergripande marknadsbedömning där potentialen för varje delområde presenteras finns i slutet av rapporten. Sammanfattningsvis kan sägas att de rena betongtillämpningarna inte ger de enskilt största volymerna och att kraven är högst här, men också att den ekonomiska drivkraften är större och att restmaterialen därför också kan bringa en inkomst istället för en alternativkostnad. I de betongrelaterade geotekniska tillämpningarna finns betydande tekniska och ekonomiska möjligheter att finna avsättning, men att närheten till grundvatten och jord sannolikt ger en tuffare miljöprovning. Avslutningsvis kan tillämpningar med koppling till gruvsdrift ge enskilt stora volymer men att det också sker lokalt geografiskt vilket kan försämra kostnadsbilden för avlägsna förbränningsanläggningar.

Slutsatsen av arbetet är att det finns en rad olika möjliga applikationer för även icke kolbaserade askor i betongrelaterade tillämpningar. Typ av aska, tillgänglig mängd, lagringsmöjligheter, lokala förutsättningar, stabilitet i bränslmixer, personliga initiativ och intressen etc är parametrar som avgör vilka avsättningsmöjligheter som är lämpliga. Projektet har identifierat att det finns potential för flygaskor som:

- Filler i betong med krossballast samt i självkompakterande betong
- I gruvsammanhang: vid igensättningsbrytning och igengjutning av rasschakt
- Tjälegenskapsförbättrande förstärkningslager i vägar och ytor
- I kalk/cement pelare och i cementstabiliserat grus
- Injekteringsmedel för stabilisering av jordar och deponier.

Till sist bör också den allmänna inställningen till användning av restmaterial vägas in vid bedömning av avsättningspotentialen för askor i betongrelaterade tillämpningar. Bland fabriksbetongtillverkare finns en skepsis mot användning av flygaskor och restmaterial. En trendväxling kan dock skönjas där intresset för alternativ ökar och ett ökat miljömedvetande också leder till en ”ask-vänligare” inställning. Inte i något fall får säkerhet och beständighet äventyras, men där det är möjligt kan askor användas och också ge en bättre totalekonomi genom minskad cementförbrukning. Att ha i åtanke är också att cementet står för en betydande del av den miljöbelastning som betong ger, främst i form av stora CO<sub>2</sub>-utsläpp vid cementklinkertillverkning.



## Summary

A compilation of regulations and best practice from different techniques to utilize ashes in concrete related applications is presented in this report. The term “concrete related” applications also include geotechnical applications where cement is used as a binder. It can be seen that fully developed regulations is only available for concrete used as a structural building material. In other applications the formulations give an opportunity to use alternative materials as long as similar properties are achieved. In some applications not even this type of regulations are available but the alternative is judged from case to case. In the beginning the purpose with this work was to high-light acceptable variations for the parameters where limitations on constituent materials are formulated. During the work it has been stated that the task is not possible to solve since this kind of values seldom is available.

A discussion about the economical potential for different applications is presented in the end of the report. To summarize this discussion the concrete applications does not give the highest amount of ashes to be utilized and that the requirements on the ashes are high. But it can also be stated that the high costs for cement give a big incitement for change of binder in concrete to e.g. flyash. In the geotechnical applications there is also a big potential both regarding technical and economical aspects, but that the effect from ashes on soil and ground water can give more complicated <prövningar> at the environmental authorities. Finally the mining applications can give a large amount of ashes to be utilized in a small region, and that there is a risk for too high cost from transports from ash producers.

The conclusions from this work are that there are several possible concrete applications also for other ashes than pure coal ashes. Type of ash, available amounts, storage facilities, local market, stability in fuel-mix, personal interests are a couple of important parameters influencing the possibilities for utilization. This work has identified that there is a potential for utilization of ashes as:

- filler material i concrete with crushed aggregates and in self compacting concrete
- in mining applications
- road building material with improved frost properties.
- in ground stabilisation with lime/cement columns and in cement stabilised gravel
- in injection grouts for stabilisation of soil and depots

A final aspect on the possibilities to utilize ashes is the general acceptance level which influence the potential. Many concrete manufacturers are skeptical against use of flyashes in concrete. A change can be seen nowadays with an increased interest for ashes and residues in concrete. Higher level of environmental awareness further strengthen this change. By no means the safety and durability should be risked but where use of ashes is possible money can be saved and also the CO<sub>2</sub>-emissions are lowered (very high during cement production)



---

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Normkrav</b> .....	<b>2</b>
2.1	CEMENT – SS-EN 197-1:2000 .....	3
2.2	BALLAST OCH FILLERMATERIAL - EN 12620 .....	3
2.3	FLYGASKA I BETONG - EN 450 .....	4
2.4	BETONGMATERIAL - SS-EN 206-1 .....	6
2.5	SVENSK ANPASSNING AV EN206-1 - SS 13 70 03 .....	7
2.6	BOVERKETS HANDBOK OM BETONGKONSTRUKTIONER - BBK 94.....	7
2.7	BRO 2002 .....	9
2.8	ATB VÄG 2003.....	9
2.9	DISKUSSION.....	12
<b>3</b>	<b>Exempel på tillämpningar med energiaskor</b> .....	<b>13</b>
3.1	BETONGTILLÄMPNINGAR .....	13
3.2	GRUVTILLÄMPNINGAR .....	19
3.3	GEOTEKNISKA TILLÄMPNINGAR .....	21
<b>4</b>	<b>Klassificeringssystem för askor</b> .....	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Forskningsbehov</b> .....	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Marknadssituation</b> .....	<b>30</b>
6.1	VANLIGA KOSTNADER .....	31
6.2	ALLMÄN MARKNADSBEDÖMNING .....	31
<b>7</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>35</b>



## 1 Bakgrund

Det finns idag en stor flora av tillgängliga energiaskor som har potential att användas i betong och betongrelaterade tillämpningar. Olika bränslemixer, olika förbränningstekniker och olika utrustningar för askuttag ger energiaskorna olika karaktäristika. I betong och betongrelaterade tillämpningar finns olika krav beroende på vilket användningsområde som avses. I tillämpningar där t.ex. begränsade krav på hållfastheter finns så ges större möjlighet att acceptera variationer i askornas egenskaper. Det öppnar också möjligheter för användning av askor som skulle vara helt uteslutna i ”normal” konstruktionsbetong. För att skapa trovärdighet hos avnämare och betongtillverkare bör ett system för klassificering/kravprofiler av askor utformas.

De svenska bränslemixer och panntyper som finns tillgängliga för användning i betongsammanhang skiljer sig en del mot de flygaskor som vanligen har provats i betong. Framst har flygaskor från kolpulverförbränning provats och är också det som brukar avses om inget annat anges i t.ex. standards etc. Svenska flygaskor är t.ex. vanligen mycket kalkrikare, främst i de anläggningar där svavelrening genom kalktillsats används (torvbränslen t.ex.). Hur reaktiva dessa askor är styrs främst av hur stor del fri kalk som finns tillgänglig. I anläggningar med rent trä sker vanligen inge kalktillsats. Alkalihalter och kloridhalter kan också vara högre än de ”traditionella” asktyperna.

I föreliggande rapport redovisas en sammanställning av befintliga krav i såväl svenska som befintliga och kommande EU-normer m.a.p. användning i betong och betongrelaterade tillämpningar. Till skillnad från ett flertal andra länder finns det i dag inga specifika nationella miljökrav i Sverige för nyttiggörande av restprodukter. När det gäller miljöpåverkan regleras användningen främst av miljöskyddslagen. Om användning av en restprodukt bedöms medföra förorening av mark och vatten måste en provning ske enligt miljöskyddslagen. Beroende på om användningen anses ge upphov till en *ringa* eller *icke ringa* påverkan måste en anmälan alternativt en provning i varje enskilt fall göras. Att lagtexten är oklart skriven (det saknas riktlinjer för när påverkan anses som ringa) medför att skilda bedömningar görs hos olika länsstyrelser. Detta framgår också av erfarenheter från olika tillståndsprövningar.

## 2 Normkrav

Användningen av askor i betongtillämpningar kan huvudsakligen indelas i två typtillämpningar. Antingen används askorna för att ersätta bindemedel (främst flygaska) eller så används askan som tillsatsmaterial eller ballast (både flyg- och bottenaska). Nedan redovisas en sammanställning av kravnivåer på askor för användning som bindemedelsersättning och som tillsatsmaterial/ballast. Att ha i åtanke är att i princip alla normkrav som finns uppräknade härrör från användningar i ren konstruktionsbetong.

I flera andra länder är det praxis att använda framförallt flygaskor från kolförbränning vid betongtillverkning. Flera europeiska länder har detta som normalfallet och även i USA och Australien anses detta vara helt accepterat. Att ha i åtanke är dock att man inom betongområdet vanligen talar om flygaskor från kolpulverförbränning när man diskuterar flygaska. Det är också det dominerande bränslet. Begreppet sameldning i t.ex. flera andra europeiska länder (Tyskland, Danmark, Österrike) innebär en bränsemix om 90-95% kol och 5-10% bibränsle. I Sverige är förhållandena snarast det omvända.

När det gäller askors effekt i betong vid utbyte av cement mot aska beskrivs dess effekt kortfattat i t.ex. Betonghandboken – Material (1994) [1]. Askans från pulvereldade kolkraftverk avskiljs i filter. Flygaskan innehåller aluminium- och kiselföreningar, som har puzzolana egenskaper, vilket innebär att de reagerar med  $\text{Ca(OH)}_2$  som bildas vid cementets reaktion med vatten och ger en betydande hållfasthet. Flygaskans egenskaper varierar med kolsorten. Vissa krav på sammansättning och reaktivitet måste uppfyllas för att askan skall få användas som cementersättning.

Tillsatsen av flygaska ger långsammare hållfasthetsutveckling jämfört med portlandscement. Flygaskan bidrar till hållfastheten först efter flera veckor. Temperaturen har större inverkan på hydratationen för flygaska än för portlandcement och kan ge mycket långsam hållfasthetsutveckling vid låga temperaturer.

I följande delar av avsnittet redovisas ett antal regelverk med kopplingar till användning av alternativa bindemedel och ballastmaterial. Som nämnts tidigare är huvuddelen av de tillgängliga regelverken anpassade för betongtillverkning, men det finns även skrivningar som avser geotekniska tillämpningar.



## 2.1 Cement – SS-EN 197-1:2000

EN 197-1 [2] definierar och specificerar 27 stycken olika ordinära cement och deras beståndsdelar. Definitionen av varje cement inkluderar de proportioner av de olika beståndsdelar som konstituerar de olika cementen, och cementen inordnas i sex hållfasthetsklasser. Definitionen inkluderar också kraven på beståndsdelarna liksom de mekaniska, fysikaliska och kemiska kraven.

Flygaska kan vara kiselrik eller kalkrik. Den förstnämnda har puzzolana egenskaper och den senare kan dessutom ha hydrauliska egenskaper.

För kiselrik flygaska skall den reaktiva kalciumoxiden (CaO) vara mindre än 10 viktprocent och andelen fri kalciumoxid får inte överstiga 1%. Upp till 2,5% kan accepteras om volymbeständigheten är god. Andelen reaktiv kiseldioxid måste vara minst 25%.

För kalkrik flygaska skall andelen reaktiv kalciumoxid inte var mindre än 10%. Kalkrik flygaska innehållande mellan 10 och 15% reaktiv kalciumoxid ska inte ha mindre än 25% reaktiv kiseldioxid.

Kraven på initiell bindetid varierar beroende på hållfasthetsklass. Sulfathalten får vara max 3,5 resp. 4,0% av det slutgiltiga cementet beroende på hållfasthetsklass.

För betong till broar och tunnlar skall cement enligt typ I (>95% portlandklinker) användas. För förtillverkade betongpålar som installerade befinner sig i jord, godtas även cement enligt typ II. Till typ II-cement räknas bl.a. portland-slaggcement, flygaskecement, kalkstenscement och kalkstenslaggcement.

Tillåtet innehåll för flygaska i typ II cement är 6-20 % respektive 21–35 % beroende av exponeringsklass. Endast flygaska från kolpulvereldade förbränningsugnar får användas i cement enligt EN 197-1. Detta leder till att många svenska askor inte kan användas med hänsyn till alkali och kloridhalter, men undantag finns.

## 2.2 Ballast och fillermaterial - EN 12620

EU-standarden, EN 12620 [3], behandlar krav på ballast och fillermaterial. Både naturmaterial, krossat material och återvunnet material med en korndensitet på minst 2000 kg/m<sup>3</sup> för användning i betong behandlas. Endast inert material tas upp i standarden och alltså inte filler som används vid cementtillverkning eller som ersättare av bindemedel.

Filler definieras som ett material med kornstorleken huvudsakligen mindre än 0,063mm. Krav ställs på att det inte ska vara för stora variationer vid siktning av material. Uppgivet värde av producenten skall provas minst 20 gånger och uppfyllas vid minst 90% av tillfällena.

Vidare ställs krav på följande egenskaper:

- Motstånd mot sönderfall/sönderslagning ställs enligt en sk. Los Angeles metod.
- Slitstyrka på makadam.
- Motstånd mot polering.
- Nöttningsbeständighet.
- Nöttningsbeständighet mot dubbdäck.
- Densitet.
- Vattenabsorption.
- Frostbeständighet.
- Volymbeständighet.
- Alkali-kisel skall fastställas.
- Vattenlösliga klorider skall bestämmas.
- Svavelinnehåll skall kontrolleras.

Ballast får inte accelerera betongens hårdnade mer än 120 min jämfört med ett referensprov eller göra så att 28-dygns hållfastheten reduceras med mer än 20%.

Ballaststandarden omfattar alltså främst inerta material och t.ex. bottenaskor eftersom flygaskor behandlas separat i EN 450 [4] som beskrivs i detalj i nästa avsnitt.

## **2.3 Flygaska i betong - EN 450**

Denna EU-standard innehåller krav på kemiska och fysikaliska egenskaper för flygaskor och beskriver även proceduren för kvalitetskontroll för flygaskors användning i betong.

Standarden behandlar formellt flygaskor från kolpulvereldning med puzzolana egenskaper. Dokumentet är dock tillämpligt även för andra bränslemixer och grundar sig i funktionskrav som omformulerats till gränsvärden på de olika ingående komponenterna. Flygaskan skall lagras och levereras torrt till användaren om inget annat överenskommit. En sammanställning av kravprofilen för flygaska visas i följande avsnitt.

### **2.3.1 Kemiska krav**

Glödförlusten får vara maximalt 5,0 vikt-%, men upp till 7,0 % kan accepteras nationellt. Det också viktigt att nivån är relativt jämn då variationer kan ge problem med dosering av tillsatsmedel. För att undersöka om flygaskan innehåller rester av oförbränt bränsle kan mätning av s.k. glödförlust göras. Detta genomförs genom kontroll av viktminskning efter upphettning från +105 °C till +1000 °C. För höga restkolhalter kan ha tre negativa effekter:

- Mörkfärgning av betongytan.
- Ökande och varierande tillsatsmedelsbehov för bibehållen effekt. (Gäller framförallt för luftporbildande tillsatsmedel som tillsätts betongen för att skapa ett luftporsystem som ger frostbeständighet).
- Förlängd tillstyvnadstid (speciellt i samband med tillsatsmedel).

Kloridinnehållet får inte överskrida 0,10 % med hänsyn till risken för armeringskorrosion och SO<sub>3</sub> innehållet får vara max 3,0 % med risken för bildandet av svällande produkter. Det fria kalciuminnehållet begränsas med hänsyn till svällande reaktioner till max 1,0 % eller max 2,5 % om verifiering med volymbeständighetstest genomförs (se fysikaliska krav).

### 2.3.2 Fysikaliska krav

Fördelningen av kornstorlekar har stor betydelse för betongens färska egenskaper. Flygaskans finkornighet kan t.ex. användas för att ge stabila blandningar, men också för att ersätta cement. Höga halter av s.k. fri kalk kan ge problem med svällning i hårdnat tillstånd (s.k. volymbeständighetsproblem) vilket leder till uppsprickning. Nedan redovisas några av de fysikaliska kraven.

- Maximalt 40 % av flygaskan får vara grövre än 0,045 mm. Medelvärdet på ett antal mätningar får inte heller variera mer än ±10 %.
- Ett s.k. aktivitetsindex där tryckhållfasthet jämförs mot referensprover utan flygaska får efter 28 resp. 90 dygns ålder inte vara mindre än 25 resp. 15 % av referensvärdet.
- Expansionen i volymbeständighetstest enligt Le Chatelier får vara max 10 mm.
- Kompaktdensiteten får inte variera mer än ±150 kg/m<sup>3</sup> från uppgivet medelvärde av producenten.

När det gäller kornstorleksfördelning och kornform pekar standarden på enbart kolpulverbränslen i pulverpannor, men när det gäller fördelningen så kan många andra typer askor från andra panntyper passa in. Pulverpannorna har dock en fördel i att ge rundare kornformer på askan.

### 2.3.3 Kvalitetskontroll

I kvalitetskontrollen ställs krav på att det inte är för stora variationer i materialet och hur ofta prov skall tas ut för provning. Frekvensen varierar för olika egenskaper. I standarden finns också en tabell som beskriver ett övre gränsvärde för ett enskilda värde på olika egenskaper. I huvudsak är detta mycket små övertramp som accepteras och i tabellen nedan redovisas några av de tolererade avvikelserna.

Tabell 1. *Acceptabelt övertramp av enskilda värden enligt EN 450*  
*Acceptable overstep of single values according to EN 450*

	EN 450
CaO	+ 1 %
Fri CaO	+ 0,1 %
SO <sub>3</sub>	+ 0,5 %
Ekv. Na <sub>2</sub> O	+ 0,5 %
Cl-	+/- 0,0 %
LOI	+ 2 %

## 2.4 Betongmaterial - SS-EN 206-1

EN 206 [5] är den EU-standard som reglerar materialet betong och dess sammansättning. I regelverket finns vissa krav på delmaterial, men huvudsakligen hänvisas till andra delmaterialstandards. De svenska myndigheterna har ändrat sina föreskrifter och upphandlingsregler så att SS-EN 206-1 skall användas. Boverket, Vägverket och Banverket hänvisar i sina föreskrifter och regler (Boverkets KonstruktionsRegler, Bro 2002 respektive BV BRO) till SS-EN 206-1 i de delar som behandlar kraven på betong. I BKR (Boverkets Konstruktionsregler) föreskrivs bl.a. att enda undantaget är betonger med hållfasthet max C 20/25 (innebär lägsta karaktäristiska tryckhållfasthet på kub 25 MPa). Ur SS-EN 206-1 ställs krav på delmaterial och tillsatsmaterial enligt nedan.

### 2.4.1 Delmaterial:

Endast delmaterial med påvisad lämplighet (enligt t.ex. EN 450 för flygaskor) för den avsedda användningen i betong får användas.

- Skall vara lämpliga för avsedd användning i betong.
- Får ej innehålla skadliga beståndsdelar i sådan mängd att det kan vara menligt (avseende beständighet hos betong och korrosion av armering).

Allmän lämplighet är påvisad för bl.a.:

- |                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| • Cement             | EN 197-1 (SS-EN 197-1 Cement)      |
| • Ballast och filler | EN 12620 (Aggregates for concrete) |
| • Flygaska           | EN 450 (Fly ash for concrete)      |

### 2.4.2 Tillsatsmaterial (oorganiska material):

Tillsatsmaterial skall användas i sådan mängd som täcks av förundersökningen.

Denna standard behandlar två typer av oorganiska tillsatsmaterial:

- Nära inerta (icke reaktiv) tillsatsmaterial (typ I)
- Puzzolana eller latent hydrauliska tillsatsmaterial (typ II).

Puzzolana material är t.ex. silikastoft, flygaska och naturliga puzzolaner. Latent hydrauliska material är t.ex. mald granulerad masugnsslagg.

Tillsatsmaterial av Typ II kan inräknas i bindmedelshalten (cement+tillsatsmaterial) och i det ekvivalenta vattencementtalet ( $v_{ct}$ ) om lämpligheten är påvisad. Effektivitetsfaktorn  $k$  reglerar hur stor del av den tillsatta mängden tillsatsmaterial som får tillgodoräknas vid beräkning av det ekvivalenta vattencementtalet (vikt vatten) / (vikt cement +  $k$ \*vikt tillsatsmaterial). Den största mängd flygaska som får medräknas med effektivitetsfaktorn  $k$  för det ekvivalenta vattencementtalet ges av villkoret

---

Flygaska / cement < 0,33 efter vikt.

Följande värden för faktorn  $k$  är tillåtna för betong med cement av typ CEM I (95-100% portlandcementklinker) överensstämmande med EN 197-1:

CEM I 32,5  $k = 0,2$

CEM I 42,5 och högre  $k = 0,4$

Påvisande av lämplighet kan härröra från:

- Ett europeiskt tekniskt godkännande
- En tillämplig nationell standard som överensstämmer med EN 206-1.

Att ha i åtanke vid betraktande av effektivitetsfaktorn  $k$  är att de är konservativt satta. I de flesta fallen är effektiviteten betydligt högre än den faktor som ges av regelverket. Det finns också stora skillnader beroende på vilken bränslemix och panntyp som används.

## 2.5 Svensk anpassning av EN206-1 - SS 13 70 03

För att EN 206-1 ska kunna användas i hela Europa ger den valmöjligheter i ett antal frågor. I SS 13 70 03 [6] anges vilken nivå/klass/värde som gäller i Sverige.

Användning av icke beprövade cementtyper förutsätter att cementets lämplighet dokumenteras genom en teknisk utvärdering för aktuell betong och aktuell exponeringsklass. Utvärderingen baseras på laboratorieprovningar eller fältförsök eller långvarig väldokumenterad användning eller någon kombination därav.

Ballast till betong i exponeringsklasserna XF1-XF4 (exponeringsklasser för angrepp av frysning/upptining med olika hög grad av vattenmättnad) skall vara frostresistent. Om vattenabsorptionen understiger 1,0vikt-% anses materialet vara frostbeständigt. Om absorptionen är högre än 1,0 % krävs provning.

Vid användning av tillsatsmaterial tillsammans med cement av typerna CEM II och CEM III skall den totala mängden flygaska per cementklinker inte överstiga 25 respektive 50 % beroende på exponeringsklass.

## 2.6 Boverkets handbok om Betongkonstruktioner - BBK 94

BBK 94 [7] behandlar bärande konstruktioner av normal betong eller lättballastbetong. Med normal betong avses här betong med cement och eventuella tillsatsmaterial som bindemedel och ballast av bergartsmaterial. Handboken behandlar både oarmerade och armerade platsgjutna eller förtillverkade konstruktioner. Armeringen kan också vara både spänd eller ospänd (s.k. slak).

Från 1 april 2003 har ny konstruktionsregler (BKR) givits ut av Boverket. I dessa hänvisar man i större omfattning till EN 206 och detta bland annat när det gäller mineraliska tillsatsmaterial. Rent principiellt innebär detta att BBK 94 inte gäller för nyprojekterade arbeten, men värdena redovisas ändå i denna rapport då pågående eller redan projekterade arbeten kan vara aktuella.

Under 2004 kommer en revidering av Boverkets handbok BBK som i ännu större grad kommer att hänvisa till gällande EU-standards där t.ex. EN206-1 kommer att utgöra huvuddokumentet.

### **2.6.1 Delmaterial till betong**

Delmaterialens kloridhalt bör begränsas, så att betongmassans totala kloridhalt, uttryckt som jonhalten Cl, inte överstiger 0,1 % av bindemedlets vikt. Högre kloridhalt kan leda till armeringskorrosion och kan även ge ett snabbare härdande av betongen.

#### *Cement*

Cement bör uppfylla kraven i SS-EN 197-1 (2000)

#### *Mineraliska tillsatsmaterial*

Flygaska är ett exempel på tillsatsmaterial som kan användas. Tillsatsmaterial indelas i två klasser, A och B, med hänsyn till deras reaktivitet och användningssätt. Tillsatsmedel i klass A jämföras med bindemedel, medan tillsatsmaterial i klass B jämföras med ballast.

I CEM I får maximalt 35 % av cementklinkern ersättas av flygaska.

Användning av tillsatsmaterial förutsätter att man genom förundersökning kontrollerar att materialet inte menligt påverkar betongens egenskaper.

Gränsvärden enligt supplement 1 (1996) nedan bör inte överskridas för flygaska. Även halten av andra reaktiva oxider bör redovisas.

- Cl                                    0,10 %
- SO<sub>3</sub>                                    3,0 %
- CaO (fri kalk)                    1,0 % (provn. enl. SS-EN196-3 ger max 2,5%)
- Glödförlust                        5,0 %

Flygaska bör uppfylla kraven i SS EN-450. Provning av tillsatsmaterials reaktivitet provas enligt SS-EN 450.

Kravet för ekvivalent alkalihalt gäller endast när risk för alkali-kiselsyrareaktioner (AKR) föreligger och då vid användning av CEM I. Reaktionen uppstår mellan den alkaliska porlösningen och eventuell reaktiv ballast och ger upphov till svällning som kan leda till

omfattande uppsprickning. Flygaska bör inte innehålla svavel- eller ammoniumhaltiga produkter. Tillsatsmaterialets fysikaliska egenskaper och dess kemiska sammansättning, liksom variationsområdet för dessa egenskaper, bör redovisas i en särskild egenskapsdeklaration. Exempel är specifik yta och siktkurva. Variationer bör begränsas för att inte betongens egenskaper ska variera allt för mycket. Ett mineraliskt tillsatsmedel bör vara typgodkänt eller tillverkningskontrollerat.

### *Ballast*

Oprövad ballast skall undersökas genom petrografisk analys som ger svar på vilka mineraler som ballastens bergarter är uppbyggd av. Skadliga ämnen kan vara sulfater, sulfider, salter m.m. Ballastkornens vattenabsorption bör inte överstiga 1,0 vikt-%.

## **2.7 Bro 2002**

Bro 2002 [8] (VV Publ 2002:47) innehåller Vägverkets krav på det mesta som rör broar. Delmaterial (betong, stål, ytbehandlingar etc.), konstruktionsutformning, utförande och detaljer är några exempel på saker som behandlas av Bro 2002. Den används som underlag vid upphandling av byggande och förbättring av broar. För varje bro kompletteras kraven i Bro 2002 med krav som är specifika för respektive brolägg.

### **2.7.1 Tillsatsmaterial**

Andra tillsatsmaterial än mineraliska godtas inte för inblandning i betong. Med ändring av vad som anges i SS 13 70 03 får flygaska inblandas i betong med högst 6 % av cementvikten i exponeringsklass XF4 och högst 11 % i övriga exponeringsklasser. Detta vid användning av rena portlandcement. Exponeringsklassificeringen är en kategorisering med hänsyn till risken för armeringskorrosion och frostangrepp enligt EN206.

### **2.7.2 Kontroll – Cement & mineraliska tillsatsmaterial**

Mineraliska tillsatsmaterial (t.ex. flygaska) skall vara **certifierade** av organ ackrediterat av SWEDAC som kan visa att de kan uppfylla kraven i SS-EN 45 010. Att notera är att det idag inte finns någon certifierad flygaska tillgänglig i Sverige. Det gör att flygaska inte är aktuell för brokonstruktioner som byggs i Vägverkets regi. Banverket hänvisar i stora delar till Vägverkets skrifter och därför gäller detta även deras konstruktioner.

## **2.8 ATB VÄG 2003**

Allmän Teknisk Beskrivning (ATB) VÄG [9] innehåller Vägverkets krav på vägkonstruktioner. Den används som underlag vid upphandling av byggande av vägar. Vägöverbyggnader utformade enligt ATB VÄG förväntas få en teknisk livslängd på minst 20-40 år beroende på konstruktionstyp. Vid underhåll och bärighetsförbättring skall dimensioneringsperiod väljas i varje enskilt fall.

Enligt definitionen i ATB VÄG 2003 definieras mineraliska tillsatsmaterial som :

*Finkorniga oorganiska material som tillätts vid tillverkning av betong och som bidrar till betongens hållfasthet. Boverket ger ut regler för typgodkännande av mineraliska tillsatsmaterial till betong.*

Man hänvisar också till att mineraliska tillsatsmaterial skall uppfylla följande krav med hänsyn till hygien, hälsa och miljö.:

*Material får användas om de accepteras av beställaren och:*

- *är acceptabla ur miljö- och hälsosynpunkt*
- *inte ger problem vid återanvändning, deponering eller destruktion*

### **2.8.1 Bärlager av cementbundet grus.**

Vid vägbyggnation där ökad bärighet eller begränsad vägkroppstjocklek eftersträvas kan en stabilisering av bärlagergruset göras genom inblandning av cementpasta.

#### *Ballast*

Vid tillverkning av cementbundet grus skall ballast som är lämpligt med hänsyn till kemisk och fysikalisk påverkan användas. Krav enligt BBK 94, 7.2.4 skall uppfyllas. Största stenstorlek skall vara 32 mm

#### *Cement*

För cement förutom CEM I (Portlandcement) & II/A-LL (Portland Kalkstencement=Byggcement) skall förprovning utföras.

#### *Tillsatsmedel och mineraliska tillsatsmaterial*

Tillsatsmaterial som inte är mineraliska behandlas inte. Mineraliska tillsatsmaterial skall visas ha minst lika goda egenskaper som de material de ersätter.

### **2.8.2 Lager med cementbetong**

Uttrycket cementbetong härrör från asfaltterminologin där beteckningen på ”vanlig” asfalt är asfaltbetong. Om bindemedlet istället för bitumen är cement blir då enligt denna terminologi begreppet cementbetong det som beskriver en betongbeläggning.

#### *Allmänt*

Betongen skall uppfylla kraven enligt BBK 94 & supplement 1 till densamma.



### *Cement*

Cement skall uppfylla kraven för CEM I enl. SS-EN 197-1. Vid betongtillverkning skall cement av typ LA/SR användas (långt alkaliinnehåll resp. sulfatresistent).

### *Tillsatsmedel och mineraliska tillsatsmaterial*

Tillsatsmaterial som inte är mineraliska behandlas inte. Vid användning av tillsatsmedel skall entreprenören verifiera att detta tillsammans med övriga delmaterial ger avsedd effekt och att övriga egenskaper hos betongen inte påverkas menligt.

## 2.9 Diskussion

Som framgår av ovan är det främst inom cement- & konstruktionsbetongområdet som det finns ett regelverk där askegenskaper definieras vid användning. Krav på maxnivåer av vissa kemiska komponenter finns i olika regelverk. I tabellen nedan har en sammanställning av kraven gjorts.

Att betänka när man betraktar regelverk för cement och betong är att man traditionellt bara avsett flygaskor från kolpulverförbränning och inte de i Sverige vanligen förekommande bränslemixerna. Att betänka vid betraktande av tabellen är att det finns applikationer där inte kraven i regelverket behöver uppfyllas (se avsnitt 3).

Tabell 2. Krav på tillsatsmaterial för användning i cement och betong enl. EN 197, EN 450, EN 206, BBK-94, BRO 2002  
Requirements on additions for use in cement and concrete according to EN EN 197, EN 450, EN 206, BBK-94, BRO 2002

	Cement	Ballast och filler (%)	Betong (%)				
	EN 197	EN12620	EN 450	EN 206	BBK-94	BRO 2002	SS 137003
<b>Allmänt</b>	Bara flygaska från kolpulverförbränning får användas.	Finns även fysikaliska krav		Hänvisar till andra standarder	Krav på tillsatsmaterial	Hänvisar till EN 206 och SS 13 70 03	
<b>Max inblandning</b>	Beror på cementtyp				CEM I, <35%		
<b>CaO</b>	>10% / <10% <sup>1</sup>		< 10				
<b>Fri CaO</b>	< 2,5% <sup>2</sup>		< 2,5		< 2		
<b>SiO<sub>2</sub></b>	> 25%		- <sup>6</sup>				
<b>SO<sub>3</sub></b>			< 3		< 4		
<b>SO<sub>4</sub></b>	< 3,5-4,0% <sup>1</sup>	< 1 (2) <sup>9</sup>					
<b>MgO</b>					< 5		
<b>Ekv. Na<sub>2</sub>O</b>	?		< 5		< 0,6 <sup>7</sup>		
<b>Cl-</b>	?	- <sup>8</sup>	< 0,1	- <sup>10</sup>	< 0,1		< 0,1 0,2 1,0 <sub>4</sub>
<b>LOI</b>	< 5 (< 7) <sup>3</sup>		2,5,7,9 <sup>3</sup>		< 5		< 5

<sup>1</sup> beror på hållfasthetsklass

<sup>2</sup> om volymbeständigheten påvisas som god

<sup>3</sup> om särskilda krav för spec. produkt uppfylls

<sup>4</sup> beror på armeringstyp

<sup>5</sup> olika kategorier

<sup>6</sup> summan SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > 70%

<sup>7</sup> mht alkaliballastreaktioner typ CEM I

<sup>8</sup> skall redovisas om efterfrågat

<sup>9</sup> det högre värdet gäller masugnsslagg

<sup>10</sup> beror på armeringstyp

<sup>11</sup> om kalkrik aska eftersträvas skall halten vara över 10%, för kiselrik under

### 3 Exempel på tillämpningar med energiaskor

I det följande beskrivs redovisas exempel på ett antal olika tillämpningar med bäring på betong och betongrelaterade koncept. Både tillämpningar som idag är en realitet men också andra där det skulle kunna finnas en potential för nyttiggörande av askor. Med betongrelaterade avsättningar menas huvudsakligen där cement använts som bindemedel och där delar av cementet bytts ut mot aska. Främst är detta tillämpningar som tangerar det geotekniska området. Erfarenheter och praxis där sådan har utvecklats sammanställs också i avsnittet.

#### 3.1 Betongtillämpningar

##### 3.1.1 Cementtillverkning

Diskussion har förts om att använda flygaskor som råvara vid cementtillverkning för att få lämpliga egenskaper i den färdiga cementen. Kravprofilerna är vanligen mycket snäva och gör att variationer i askegenskaper kan ge problem. Askor med någorlunda stabila sammansättningar och som har låga halter av klorider och alkali går däremot att använda. Höga restkolhalter är inget problem vid användning som råmaterial då detta bränns bort vid klinkertillverkning. Metallbehovet varierar vid olika cementfabriker och det finns en mängd olika möjligheter att kombinera råmaterial för att få de önskade egenskaperna på cementet. Det är därför svårt att ställa upp en generell ram för hur askor skall se ut vid användning som råmaterial i cementtillverkning. En diskussion med cementtillverkare för varje enskild askanalys är att rekommendera.

Idag tillförs också ett s.k. fillermaterial (vanligen kalkfiller) till den produkt som kallas Byggcement. Vid tillverkning av Byggcement tillförs kalksten vid malningen tillsammans med cementklinker. Fillret har till uppgift att underlätta tillverkning av självkompakterande betong samt att använda ballast som tillverkats av krossat berg istället för naturmaterial. Begränsningar av halterna klorider, sulfater, alkali och restkol finns för cementleverantörerna. Detta område bedöms vara svårare än att använda flygaska som råmaterial vid klinkertillverkning eftersom man då bearbetar materialet ytterligare en gång genom bränning. Kraven på askan (och variationerna) bedöms vara mycket snäva. I diskussioner med betongtillverkare föredrar många också att ha tillgång till rena cement för att själva prova ut och använda tillsats- och fillermaterial vid tillverkning vid behov.

Om flygaska som uppfyller krav enligt EN 450 finns så kan även blandcement tillverkas där askan blandas med den redan malda cementklinkern. Om masugnsslagg skall användas måste slaggen introduceras vid malning för att erhålla rätt kornstorlekar.

##### 3.1.2 Betong med krossad ballast

Sten, grus och sandfraktionerna i betong består i dag allt oftare av krossat berg. Naturgrus finns fortfarande att tillgå men tillgången minskar, uttagsavgifterna ökar och det blir allt svårare

att få nya eller förlängda täktillstånd. Naturgruset kommer därför att behöva ersättas av krossat berg. Svenska fabriksbetongföreningen (SFF) har också en branschöverenskommelse där man arbetar för att ”fasa ut” naturgrus vid betongtillverkning. Användning av krossat material istället för naturmaterial påverkar främst betongens reologiska egenskaper (flödesegenskaper i färskt tillstånd). Anledningen är det krossade materialets kantiga kornform. Det vanligaste är också att man tvättar bort s.k. krossdamm från materialet då detta är extremt vattenkrävande och ger dålig arbetbarhet. För att möta upp detta krävs extra tillsats av fint material. Det är där som användning av flygaskor kan vara ett alternativ.

I Skåne-regionen har tillgången på naturgrus länge varit begränsad och man har därför kommit långt i utvecklingen att hitta bra koncept för användning av krossballast. Idag finns betongfabriker där man regelmässigt använder flygaska från förbränning av biobränslen som fillermaterial för att förbättra den färskas betongens reologiska egenskaper.

Idag går det vanligen inte att typgodkänna askor (enl. EN 450) från typiska svenska bränslemixer. Istället används flygaskor enbart i betong där man inte ställer krav på vattencementtalet. Denna användning utgör dock mer än 50% av all betong som tillverkas.

För att innehålla kravet på t.ex. kloridhalt  $<0,1\%$  anpassas doseringen till vilken mängd flygaska som kan tillsättas utan att överskrida totalhalten i betongen. Även andra ämnen som halter av restkol,  $\text{SO}_3$ , fri kalk etc. kan vara begränsande. En vanlig dosering av aska från en fluidbäddpanna med en bränslemix om nästan 100 % biobränsle är ca.  $25\text{ kg/m}^3$  i en normal betongkvalitet (K25, K35). P.g.a. den låga mängden tillsatt aska utgör inte heller rimligt höga restkolhalter något problem (t.ex. 9-10 %). Detta eftersom mängden flygaska i betongen är liten i förhållande till den totala materialmängden. Betong utan krav på vattencementtal används vanligen inte i utomhuskonstruktioner. I utomhuskonstruktioner är det också vanligt med luftporbildande tillsatser och vid höga eller varierande restkolhalter kan det bli svårt att dosera mängden luftporbildande medel. Askor med stabil och rimligt hög restkolhalt kan dock användas. Som en bonus kan cementhalten reduceras vid användning av reaktiva askor då flygaskan faktiskt ger ett bidrag till hållfastheten, vilket ger ett ekonomiskt incitament som motiverar en utbyggnad av extra silokapacitet vilket kan krävas.

Enligt de erfarenheter som kunnat kartläggas har det inte varit några problem att få en fabrik godkänd av länsstyrelsen för användning av flygaska vid betongtillverkning. Inte heller beställare och kunder har haft några invändningar mot användningen av flygaska. Området bedöms ha stor potential och den stora spridningen av betongfabrikers lokalisering ger också möjligheter för små förbränningsanläggningar att finna avsättning på nära håll. En jämn halt av begränsande komponenter är dock viktig.

### **3.1.3 Betongbeläggningar**

Vid byggande av betongvägar ställs krav enligt ATB Väg. I ATB Väg är huvudformuleringen att betongens egenskaper skall vara likvärdiga men å andra sidan hänvisas till krav som formuleras i BBK94.

---

Funktionskrav styr mer nu än tidigare. Krav på betongkvaliteten är t.ex. att vattencementtalet skall vara lägre än 0,4 och att betongen ska vara frostbeständig. Hållfasthetsklass K60 är vanligast resp. T3,5 & T4,5 (draghållfasthet). Cementbundet grus (CG) eller asfaltbundet grus (AG) används vanligtvis ovanpå bärlagret före placering av betongbeläggningen.

Betongvägar (t.ex. motorväg vid Falkenberg-93) [10] läggs vanligen i två lager vått-i-vått, men kan också läggas i ett tjockare lager. Det översta lagret är ca 6 cm tjockt och den totala tjocklek brukar vara 20-22 cm. Förmodligen finns det större möjligheter att blanda i askor i den undre delen (ca 16 cm) där kraven är lägre än den övre om tvåskiktskonceptet väljs. Retarder i form av sockerlösning läggs på ytan i ett dygn och cementpastan borstas sedan bort för att få en råare yta och därmed högre friktion.

Valet av ballast brukar göras så att lokal ballast används i den undre delen och dyrare, mer specialiserad ballast, i det övre skiktet.

En betongväg byggdes 1989-1990 vid Arlanda och är den första provvägen av betong i landet. Byggandet gjordes efter "Provisorisk Betongvägnorm" version 2, 900124. Vägens överbyggnad består underifrån av 40 cm sorterad sprängsten, 64 cm bergkross, 15 cm cementbundet grus och slutligen 21 cm betong. Betongmixen bestod av anläggningscement 460 kg/m<sup>3</sup> och vattencementtalet var 0,33-0,34. Kiselstoff tillsattes med ungefär 3% av cementvikten. Betongen lades med en glidformläggare.

I samband med utbyggnaden av motorväg längs E4 från Uppsala och norrut kommer betongvägsbeläggning att användas i den första av tre etapper. Det "moderna" utläggningssättet med s.k. betongläggare innebär att det troligen blir tyska eller holländska entreprenörer med specialutrustning som kommer att utföra arbetet. Vanligen tillverkar dessa också sin egen betong i mobila betongstationer. Fördelen med utländska entreprenörer är att de är vana att använda aska som cementsättare och detta kan ge möjligheter för avsättning i tillämpningen.

Tillämpningen bedöms ha medelgod potential. Om tvåskikts-konceptet väljs borde flygaska kunna användas i det undre skiktet. Lagret med cementstabiliserat grus eller asfaltgrus som finns under betongbeläggning borde också kunna ersättas med aska som bindemedel. Nackdelen med tillämpningen är att det i Sverige fortfarande är relativt ovanligt med betongvägar och att projektet kommer ryckvis.

### **3.1.4 Självkompakterande betong**

Nya gjuttekniker inom betongområdet har de senaste åren utvecklats. Framförallt utveckling inom tillsatsmedelsområdet har möjliggjort tillverkning av betong med mycket goda gjutegenskaper. Traditionellt har betong placerats i formar med hjälp av stavvibrering för att få fullgod omslutning av armering och minimera risken för komprimeringsporer och s.k. ”gjutsår”. Den nya tekniken innebär att man använder effektivare flyttillsatsmedel i kombination med extra tillsats av fillermaterial (kornstorlek <0,250 mm). Hittills har framförallt kalkfiller varit det rådande fillermaterialet. Betongen är så lättflytande att den kan fylla upp formar och omsluta armering utan vibrering. Därav namnet självkompakterande (SKB) eller vibreringsfri betong. Stora produktionsfördelar erhålls i form av minskat behov av arbetskraft vid gjutning och förhöjd slutkvalitet (färre gjutskador).

I ett flertal projekt har flygaskor från kolpulverförbränning visat gynnsamma effekter vid tillverkning av SKB. Främst är det askor med rund kornform som ger ett positivt bidrag till den färska betongens egenskaper. Det innebär att även andra flygaskor än rena kolaskor kan vara aktuella (t.ex. torv eldat i pulverpannor). Den begränsade tillgången på de traditionella kolaskorna har dock gjort att kalkfiller dominerar. Alltför höga restkolhalter kan ge problem med effekten av flyttillsatsmedel och höga halter av sulfid från svavelreningen kan också ge försämradeffekt och beständighetsproblem. I likhet med askor till krossballastbetong kan också askor från andra panntyper vara aktuella då kalkfiller som används i vanliga fall inte heller har rund kornform.

Andelen självkompakterande betong utgör ca. 5 % av all fabriksbetong. Det finns dock mycket stora variationer där vissa företag och fabrikanter inte har någon tillverkning alls, medan andra (t.ex. inom prefabindustrin) har produkter där 50 % av betongen är SKB. Ett troligt framtida scenario är att huvuddelen av all betong som tillverkas kommer att utgöras av SKB.

Framtidsscenarioet för SKB är att tekniken kommer att dominera betongtillverkningen inom en period om 10-15 år. För askor med rätt egenskaper kan definitivt en marknad finnas.

### **3.1.5 Skumbetong**

Skumbetong är ett poröst material med en densitet mellan 300 och 1600 kg/m<sup>3</sup> (jämfört med 2400 kg/m<sup>3</sup> för konventionell betong). Ingående material är alltid cement, vatten och skum och i vissa fall även cellplast/lecaulor, filler eller sand, tillsatsmedel och tillsatsmaterial. Skumbetong kan tillverkas i betongfabrik eller på arbetsplats och behöver inte vibreras vid gjutning.

Inom väg- och markbyggande kan skumbetong användas för många ändamål, bland annat som lättfyllning, som förstärkning och för åter- eller utfyllningar av schakter. Användning av skumbetong i husbyggnad begränsas av att skumbetongen inte skyddar ingjuten armering mot korrosion lika bra som konventionell betong. I torr miljö har skumbetong också relativt stor

---

krympning, vilket kan ge upphov till sprickbildning. Skumbetong kan också användas som isolering i husbyggnad.

Försök har i olika omgångar gjorts med att blanda flygaskor i skumbetong. Det vanligaste konceptet har varit att ersätta cement med flygaska för att minska materialkostnaderna. I skumbetong anses tillsatsmedlet viktigare än tillsatsmaterialet för att få önskade egenskaper [11].

Det är vanligt att askor ger en retarderande effekt och ger på detta sätt ett problem med långsammare hållfasthetsutveckling. Den relativt snabba hållfasthetsutvecklingen är annars en av de största fördelarna vid t.ex. vägbyggnad. Tekniken möjliggör att stänga av halva vägen ena dagen och redan nästa dag kunna trafikera den gjutna delen. Om hållfasthetsutvecklingen är central avhjälpes detta genom att mer cement tillsätts vilket eliminerar det incitament som tidigare funnits.

Produkten används idag i mycket begränsad omfattning och främst beror det på att tillverkningen vanligen sker vid betongfabriker. För dessa är produkten krävande i form av större personella insatser vid tillverkning och därför råder inte balans på prissättningen av materialet. Det höga priset gör att skumbetong sällan blir ett konkurrenskraftigt material. Om specialiserade entreprenörer med mobila blandarverk skulle ombesörja huvuddelen av tillverkningen och använda aska som bindemedel skulle troligen en annorlunda prisbild och marknad uppstå.

### **3.1.6 *Bruk och spackel***

För att använda flygaskor i bruk och spackel krävs det en jämn och hög kvalitet. Vid tillverkning av vissa spackeltyper är det även viktigt att askan har en hög vithet [12]. Eventuellt finns det möjlighet att använda flygaska från eldning med inblandning av returpappersslam som ger en relativt jämn kvalitet och i vissa fall ger mycket vit aska. Förutsättningen är att bruket har en panntyp som ger låga restkolhalter. Långt ifrån alla spackelsorter ställer krav på färg.

Vid pulvereldning av bl.a. stekol bildas någon procent mycket lätta sfärer, s.k. scenosfärer. Dessa frånskiljs genom s.k. flotation (de flyter upp i ett vattenbad) och kan användas i en lång rad applikationer. Störst volymer scenosfärer har avsatts i just spackeltillverkning då detta ger lättbearbetade produkter, vilket är fördelaktigt ur utförandesynpunkt.

Dessa scenosfärer har blivit en bristvara och det kan undersökas om flygaskor från pulverförbränning kan ersätta dem. Eftersom det finns en stor flora av olika typer av bruk torde det finnas öppningar för användning av askor här.

### **3.1.7 Lättbetong**

Lättbetong används vid t.ex. husbyggnad och då i form av block. I Sverige används produkten inte lika ofta som t.ex. i Storbritannien där man vanligen murar mellanväggar med denna produkt. Vid tillverkning av lättbetong används aluminiumpulver som jäsmedel. Aluminiumpulvret reagerar med vatten varvid vätgas bildas, som i sin tur skapar den porstruktur som finns i lättbetongen.

Ingen flygaska blandas i lättbetong i Sverige, däremot är det vanligt utomlands t.ex. i England, USA, Ryssland och Kina. I de länder där flygaska används fingerar den råmaterial och ersätter kisel som annars finns i sanden [13]. Det borde också finnas möjligheter att ersätta ett eventuellt kalkbehov med kalkrika askor. Ca. 300 kg flygaska tillsätts per m<sup>3</sup> betong. I Sverige finns en fabrikant som producerar lättbetong (Yxhult). Fabriken producerar ca 100 000 m<sup>3</sup> lättbetong per år vilket är för lite enligt Yxhults bedömning, för att det ska vara allt för intressant att ställa om produktionen till att använda flygaska som råmaterial. Natursand används i dag och skulle mycket väl kunna ersättas med flygaska. Det borde också finnas intresse för att använda panssand som råmaterial. I dagsläget är naturgrusskatten låg men ett troligt framtidsscenario är att den kommer att stiga. Det torde göra flygaska eller panssand till ett intressantare alternativ.

Lättbetongproducenter ser det som väldigt viktigt att det är korta transporter för flygaskan. Yxhult är intresserad av ett samarbete med att undersöka möjligheterna med alternativa material till lättbetong.

### **3.1.8 Diskussion**

Under en relativt lång period har stor konservatism dominerat betongbranschen och också präglat diskussionerna kring alternativa material i form av bindemedel och fillermaterial. Idag kan en förändring ses i betongfabrikanternas inställning till att prova nya fillermaterial. Incitamentet att finna alternativ till cement som bindemedel är också fortvarigt stort då prisbilden är hög (se avsnitt 6). Vid bedömning av miljöbelastning från betong så är CO<sub>2</sub>-belastningen den enskilt största och den härrör till huvuddelen från tillverkningen av cement. Därför är minskningen av cementförbrukning en stor miljövinst för betong och betongrelaterade tillämpningar.

Generellt är det svårt att typgodkänna svenska askor enligt det regelverk (EN450) som vanligen åberopas. Flera verk har inte heller den torra utlastning som krävs för att man skall kunna använda flygaskorna i betongsammanhang. Om man arrangerar utrustning för att kunna hantera flygaskorna med bulkhantering så finns möjligheterna till användning som bindemedel eller fillermaterial vid betongtillverkning.



## 3.2 Gruvtillämpningar

### 3.2.1 Igensättningsbrytning

Vid brytning av malm för utvinning av främst zink och bly vid Zinkgruvan [14] används en teknik som kallas igensättningsbrytning. Tekniken innebär att redan uttagna malmutrymmen i gruvan återfylls med en låghållfast cementpasta. Tekniken har också använts vid Garpenbergsgruvan men med något högre krav på hållfastheter än vid Zinkgruvan. Bergets låga hållfasthet i kombination med de stora måtten (t.ex. 20.000 m<sup>3</sup>) ger att utrymmet måste återfyllas för vidare brytning skall vara möjlig. Igensättningen gör det möjligt att komma åt angränsande delar av malmkroppen.

Pastan pumpas ner i gruvan fram till gjutstället. Ett störtchakt om ca. 300 m och efterföljande horisontell transport ca 1,5 km ger höga krav på stabilitet och pumpbarhet hos pastan. Hållfasthetskraven på den hårdnade pastan är för primärbrytning är 0,5 – 1,0 MPa i Zinkgruvan. För sekundärutrymmen finns inga hållfasthetskrav utan pastan skall endast vara så stabil att inga hydrauliska brott i pastan själv uppstår. Varje gjutning avslutas med en något mer höghållfast mix med ca 10 % cement säkerställa stabilitet och körbarhet. I normalmixen blandas 6% byggcement med anrikningssand (kornmax på 0,3 mm). Mellan 100-150 ton cement förbrukas per dag och brytning kommer att ske i ytterligare minst 15 år. Den stora cementförbrukningen gör att cementen är en väldigt stor kostnad för gruvan och incitamentet för att ersätta en del av cementen med flygaska är stort. Vid Vattenfall Utveckling, betonglaboratoriet har försök gjorts med att ersätta halva mängden cement med flygaska från olika biobränslemixer och panntyper. Särskilt askor från bränslemixer med inblandning av avvattnat returpappersslam har visat sig användbara med likvärdig hållfasthetsutveckling och slutnivå.

I det Värmeforsksprojekt som avses ovan planeras fullskaleförsök vid Zinkgruvans anläggning. Den aska som planeras att användas är från eldning av biobränslen med inblandning av returpappersslam (Holmen Paper, Braviken). Den fördel som ses med askor från pappersbruken är att Zinkgruvan kontinuerligt under året behöver samma mängd torr aska, vilket också ett pappersbruk utan större problem kan tillhandahålla. Andra värmeverk med lagringsmöjligheter kan också vara möjliga.

Fullskaletestet genomfördes som ett överjordsförsök där 1,5 % cement och 1,5% aska från Holmen Paper i Braviken inblandades. Testet gav lovande resultat med hållfastheter som skulle vara tillräckliga för ett s.k. sekundärutrymme. Här finns inga hållfasthetskrav utan bara kravet att binda vatten för att inte bygga upp för stora hydrauliska tryck. Enligt lakteter som genomförts på pasta med inblandning av aska understiger värdena det deponeringsdirektiv som Länsstyrelsen använder i sin bedömning. Endast halten av Zink låg över direktivet, men eftersom det är en Zinkgruva är det inte heller förvånande.

I Garpenberg [15] bryts totalt cirka 1 miljon ton malm/år. Vid gruvdriften i de två gruvorna i Garpenberg används den s.k. ”cut and fill” metoden. Malmkross blandas med vatten (s.k.

hydraulfyll) och packas i orterna efter att de intressanta mineralerna har utvunnits. Överskott av vatten dräneras sedan ut. När den tidigare cementförbrukande tekniken användes så var cementåtgången ca. 16.000 ton/år.

### **3.2.2 Igengjutning av rasschakt**

Vid LKAB:s gruva i Kirunavaara [16] släpps malm i rasschakt till lägre liggande orter för vidare transport till dagen. Slitaget på rasschakten leder till att dessa vidgas med tiden. När något större rasschakt (7-9 m<sup>2</sup>) börjar vidgas ökar de snabbt till upp emot 100 m<sup>2</sup>. LKAB försöker att hålla ner arean till 20-30 m<sup>2</sup>. Schakten kan vara upp till 300 meter djupa. När schakten blivit för stora gjuts en betongpropp i hela schaktet och i denna borrar sedan ett nytt schakt med önskad diameter. Det åtgår enorma volymer (6-7000 m<sup>3</sup>) betong gjuts vid varje tillfälle. Cementhalten är ca 500 kg/m<sup>3</sup>. Den betong som används nu har en hållfasthetsklass på K80 (tryckhållfasthet 80 MPa). Det är endast betongen i centrum som behöver ha den höga tryckhållfastheten men i praktiken är det svårt att ha olika hållfastheter i samma tvärsnitt. Lining har diskuterats, men då krävs det personal i schaktet vilket ställer väldiga säkerhetskrav.

Vibreringsfri betong används uteslutande. En jämn kvalitet är mycket viktig liksom att det inte blir för hög temperaturutveckling. Temperaturutvecklingen är inga problem nu. Det är i och för sig svårt att kontrollera om temperatursprickor uppstår. Dessa gjutningar är enormt dyra och intresse finns för ev. billigare gjutningar.

Om ett koncept med två olika betongkvaliteter utvecklas borde aska kunna finna en potential till avsättning. I närområdet till just LKAB:s gruva i Kiruna finns inga stora askproducenter. Men då gjutningar görs stötvis enstaka gånger per år kan aska uppsamlas på järnvägsvagnar för bulkmaterial och fraktas till t.ex. Kiruna. Primärt bör naturligtvis den lokala avsättningen ligga till grund. Ett annat alternativ är att ersätta delar av materialet i vibreringsfri betong. Vibreringsfri betong kräver filler vilken skulle kunna ersättas med flygaska. För att hålla ner temperaturutvecklingen bör det vara fördelaktigt med aska i stället för cement, dock måste hållfasthetskraven uppfyllas.

### **3.2.3 Rum och pelarbrytning**

I Tyskland förekommer att man vid rum- och pelarbrytning fyller gruvor med flygaska för att kunna göra pelarna slankare. Därigenom kan utvinningen av värdemineraler ökas. För detta ändamål används bl.a. flygaska som är farligt avfall. I Sverige hade sannolikt de nerlagda blygruvorna Laisvall och Vassbo varit lämpliga för detta. En liknande brytning finns i sandstensgruvan i Kvarntorp. Men då värdemineralet är vit kvarts är det tveksamt med fyllning av ett icke vitt material. Tillämpningen synes därmed inte vara aktuell i Sverige.

### 3.3 Geotekniska tillämpningar

Några ”betongrelaterade” tillämpningar inom väg- & anläggningsbyggnad har sammanställts i tidigare avsnitt. Fokus har som sagt främst varit att belysa tillämpningar där askor använts som bindemedel eller som filler i andra betongliknande produkter med cement som bindemedel.

#### 3.3.1 Vägbyggnad - allmänt

Det finns idag många exempel på olika tillämpningar där askor av olika slag har använts vid t.ex. vägbyggnad. I Helsingfors stads område har miljontals kubikmeter med aska, främst från kolpulverförbränning, använts vid byggande av förstärkningslager och bärlager i vägar. I Sverige finns ett antal olika exempel på användning av torvflygaskor, slaggruser m.m. Nedan visas några allmänna resultat från undersökningar inom området som kan användas som bakgrundsinfo. vid bedömning om aska i betongrelaterade väg- och anläggningstillämpningar.

#### *Miljöaspekter*

På uppdrag av EFO Energiaskor AB har ÅF-Energi och Miljö Stockholm AB och SGI [17] undersökt miljöpåverkan av olika material för väg och anläggningsbyggnad. Naturmaterial har jämförts med energiaskor. Emissioner från transporter och framställning av askorna har beaktats. Emissionerna från produktion och transport av naturmaterial kan bli högre än från energiaskor. Jämförelse av miljöpåverkan, inklusive urlakning, från användning mellan naturmaterial och energiaskor som ingår i studien visar att det finns askor som har minst lika bra miljöegenskaper som naturmaterial.

Ett annat resultat från undersökningen är att man rekommenderar att askorna läggs under hårdgjorda ytor, vilket i hög grad reducerar lakvattenproduktionen. En ytterligare aspekt att ta hänsyn till är att uttaget av naturmaterial minskar vid användning av alternativa material. Alternativet till att använda energiaskor i väg och anläggningsändamål är att lägga askorna på deponi och även där finns problemet med urlakning. Det handlar alltså om val av lokalisering. Kontrollerad användning av energiaskor måste anses fördelaktigt för samhället från såväl naturresurs- som miljösynpunkt. Urlakningsförsök för lämpliga askor efterfrågas. Analys av pH, redox, tungmetaller samt klorider och sulfater bör göras vid karaktärisering.

I Sverige har hittills inte kriterier tagits fram på vilken urlakning eller vilket metallinnehåll i askor som är acceptabelt för olika slags nyttiggörande. Miljöriktigt användning av askor sparar dessutom värdefullt deponiutrymme.

#### *Provningsmetoder - fullskaleerfarenheter*

Vägverket har sammanställt ett antal provningsmetoder som man anser vara lämpliga vid val av alternativa material till vägunderbyggnad, Vägverkets Publ 2001:34 [18] Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad. Projektets huvudsyfte har varit att studera de mest relevanta tekniska och miljömässiga provningsmetoderna för att kunna bedöma alternativa

materials, bl.a. rostereldad kolbottenaska, lämplighet för användning till vägunderbyggnadsändamål. Kolbottenaskan kommer från Händelöverket i Norrköping och är taget från en askhög utomhus med varierande ålder. I projektet har även ingått att, för undersökta material, föreslå dimensionerande värden på materialparametrar och rekommendera lämpligt utförande.

Många provningsmetoder behöver modifieras för att det ska gå att prova alternativa material. T.ex. bör vissa alternativa material förkonditioneras vid provning av vattenabsorption p.g.a. att materialen suger vatten under längre tid än naturlig ballast. Någon generell koppling mellan vattenabsorption och frostbeständighet kan inte göras på samma sätt som för naturballast. För att bestämma vissa geometriska och fysikaliska egenskaper är vissa metoder direkt olämpliga, som olika sorters roterande trummor där kopplingen är dålig mellan provningsresultatet och den faktiska funktionen i vägkroppen.

Frystest för bestämning av tjällyftsparametrar har gjorts för att bestämma vilken tjälfarlighetsklass materialen tillhör. Samtliga provade alternativa material ansågs som icke tjällyftande. Samma goda resultat visar provning av permeabilitet.

De miljömässiga egenskaperna hos restprodukter kan undersökas genom s.k. miljömässig karakterisering. Då bestäms materialets huvudsakliga beståndsdelar och spårämnen samt hur urlakningsförloppet ser ut på kort och lång sikt.

Mätdata från SGI visar att halterna i rostereldad kolbottenaska är i samma storleksordning som i naturmaterial.

Under sommaren 1998 har provtagning av lakvatten från en provväg som anlades i slutet av 80-talet genomförts. Provvägen bestod av provsträckor med bl.a. kolbottenaska samt ett referensmaterial i förstärkningslagret. Analys av lakvatten från vägslänterna visade inte på några större skillnader varken mellan materialen eller i tiden (d.v.s. förändring under 10-årsperioden). Lakförsök har även utförts på material som tagits upp ur provvägen. Material har tagits dels från vägkropp, dels från vägslänt. Av huvudelement, sulfat och klorid lakas störst mängder ut från materialet från körbanan jämfört med från vägslänt, utom av järn och aluminium som lakar ut mer från vägslänt. Störst mängd lakas ut av sulfat (196 mg SO<sub>4</sub>/kg) och klorid (350 mg CL/kg) vid L/S 10. Utlakade mängder av olika spårämnen är inte entydigt högre från någon av placeringarna. Högst utlakad mängd uppvisar barium från båda materialen (0,33 mg/kg från materialet från körbanan samt 0,20 mg/kg från vägslänt). Samma storleksordning av utlakad mängd når även zink från materialet från vägslänt (0,15 mg/kg).

På basis av undersökta tekniska egenskaper bedöms kolbottenaska lämpligt att använda som underbyggnadsmaterial. Även vad gäller de miljömässiga aspekterna visar att kolbottenaskan ha egenskaper som liknar naturmaterial väl. Materialet är även homogent och bör kunna användas, med vissa restriktioner vad gäller konstruktionens utformning och lokalisering. Riskbedömning av miljöpåverkan vid användning av restprodukter som material till vägunderbyggnad är en komplex fråga som kräver fortsatt arbete.

Vid utläggning och vältning av kolbottenaskor har det konstaterats att materialet nedkrossas vid utförande enligt VÄG 94. Enligt de erfarenheter som finns bör i stället en lägre last användas vid packning. Även vältrar med större diameter och lägre amplitud är fördelaktigt. Konventionell byggtrafik bör också undvikas.

### **3.3.2 Injektering i porösa medier**

Injektering innebär att någon form av injekteringsmedel pressas in under tryck i hålrum i berg och jord. Ett exempel på injekteringsmaterial är suspensioner av fasta partiklar i vatten, såsom cement och bentonit (lermaterial). Det i särklass vanligaste injekteringsmaterialet är cement som blandas med vatten, ofta med tillsatsmedel för att ge blandningen och slutprodukten eftersträvade fysiska egenskaper. De krav som ställs på injekteringsbruk är dess förmåga att penetrera sprickor och håligheter samt dess förmåga att skapa önskad hållfasthet och beständighet.

I vissa fyllningsdammar (jord-/stendammar) är det problem med igensatta s.k. filter p.g.a. eroderade tätkärnor som ger ett för högt portryck i dammen. Detta kan äventyra dammsäkerheten om inte en fullgod tätning av tätkärnan görs. Tätkärnan kan antingen bytas ut genom borrar/bakåtvänd KC-pelar-borr eller genom jordinjektering. För att dammen ska kunna vara tät även om sättningar i dammen sker måste hållfastheten på den injekterade/förstärkta jordmassan vara mycket låg (i storleksordningen 100 kPa) [19].

I dagsläget är det tveksamt om det finns någon större avsättning för askor i dammbyggnadssammanhang med hänsyn till begränsad omfattning av reparationsarbetena och potentiella tillståndsproblem (aska i anslutning till dricksvattentäcker). Andra tillämpningar där begränsade eller låga hållfasthetskrav genom injektering eftersträvas kan det dock vara användbart.

Det finns rapporterade turkiska laboratorieförsök med inblandning av flygaska [20] "Evaluation of fly ash and clay in soil grouting" S.Akbulut, A.Saglamer där också kombinationer med bentonitlera gjorts. Som referens har en ren cementblandning använts där en hållfasthet om 0,5-3 MPa erhållits beroende på vilket vct som använts. Cement/bentonit blandningen blev för styv och lägre hållfasthet önskades. Ur försöken kan följande slutsatser dras:

- Vid 5% tillsättning av flygaska och lera minskade 28dygns-hållfastheten med 10-13 % jämfört med referensblandningen.
- Vid 10% tillsättning av flygaska och lera minskade 28dygns-hållfastheten med 15-25 % jämfört med referensblandningen.
- Tillsättning av lera eller flygaska förbättrar de mekaniska egenskaperna (E-modul, skjuvhållfasthet) betydligt och är mycket lämpligt för jordinjektering.
- Kostnaderna reduceras väsentligt.

I ett Värmeforsksprojekt (Q4-106) undersöks möjligheterna med att stabilisera deponier med flygaska. Målet är att minska sättningar på deponier. Därmed kan sluttäckningen ske tidigare med en ökad säkerhet för att tätskiktet inte förstörs av sättningar. Tillämpningen bedöms ha en god potential.

### **3.3.3 Kalk-Cement-Pelare**

Kalkcementpelare (KC-pelare) används för att förstärka lösa jordar som lera. Vid tillverkning drivs ett blandningsverktyg ner i jorden och under uppstigningen matas stabiliseringsmedel ut och blandas med jordmaterialet.

Det finns olika tekniker beroende på vilken typ av förstärkning som eftersträvas. Horisontell och vertikalstabilisering är det vanligaste. Framförallt används markstabilisering inom infrastruktur, vägar/järnvägar, slänter och schakt. Lera och silt är de vanligaste materialen som stabiliseras.

Kalkcementpelare används för att förstärka lösa jordar som lera. Vid tillverkning drivs ett blandningsverktyg ner i jorden och under uppstigningen matas stabiliseringsmedel ut och blandas med jordmaterialet. 3-4 miljoner "löpmeter" KC-pelare utfördes senaste året. Diametern på pelarna varierade mellan Ø0,5-1,2 m. Med en inblandning av 23 kg cement/kalk per löpmeter ger sammanlagt 69000-92000 ton/år. Horisontell och vertikalstabilisering förekommer. Framförallt används markstabilisering inom infrastruktur, vägar/järnvägar, slänter och schakt. Lera och silt är de vanligaste materialen som stabiliseras.

Försök har gjorts med att blanda koleldad flygaska med kalk vid djupstabilisering av jord. [21] SGI-rapport No 30 1983, Göran Holm, Helene Åhnberg. Försöken har utförts i ett samverkansprojekt mellan KHM (Vattenfalls Kol-Hälsa-Miljö-projekt), Vägverket och SGI (Statens Geotekniska Institut). Inblandning av stabiliseringsmedel bestående av kalk och flygaska i olika blandningsförhållanden har utförts på laboratorium i tre olika typer av jordar (lera, gytjig lera och silt). I en av blandningarna användes 1 % CaCl<sub>2</sub> som extra tillsatsmedel för lera.

Provpelare av kalk-flygaskstabiliserad lera och gytjig lera har tillverkats i fält. Totala mängder stabiliseringsmedel var 22 kg respektive 33 kg kalk-flygaska per meter pelare (Ø500 mm) och blandningsförfarandet kalk:flygaska var 1:4. I laboratorium provades olika blandningsförhållanden; 1:2, 1:4 och 1:8.

De utförda inblandningsförsöken med kalk-flygaska visar på att möjligheter finns att utvidga det nuvarande användningsområdet för djupstabilisering med kalkpelarmetoden, också till jordar där enbart kalk som stabiliseringsmedel har otillräcklig effekt. En bättre effekt fås av inblandning av kalk-flygaska än av enbart kalk i organisk lera och silt. Det förhållandet att flygaska i dag kan fås för ett betydligt lägre pris än kalken gör dessutom att kalk-flygaska kan utgöra ett billigare alternativ än enbart kalk även vid stabilisering av lera.

Flyaskan som användes i försöken kom från kolkraftverket i Västerås där den bildats vid förbränning av ryskt kol. Flyaskan innehåller bl.a. 1,4 % fri kalk och restkolhalten var 7,0 %. Inga miljöstörande tungmetallhalter fanns heller i askan.

Skjuvhållfastheten ökar genom inblandning av kalk-flygaska. Ökningen blir större ju större mängd som tillsätts. Skjuvhållfastheten ökar även med tiden fram till åtminstone ett års ålder. Ett år efter inblandning är skjuvhållfastheten mellan 80 och 700 kPa beroende på vilket det stabiliserade materialet är. Motsvarande värden för ren kalkinblandning är 35 till 300 kPa. 1 %  $\text{CaCl}_2$  som extra tillsatsmedel förbättrar ytterligare skjuvhållfastheten och kompressionsegenskaperna hos kalk-flygaska-stabiliserad lera under det första året efter inblandningen.

I ett annat projekt har effekten av olika bindemedel i olika svenska jordar undersökts. [22] H.Åhnberg, S-E Johansson, H.Pihl och T.Carlsson 2003. Tre olika sammansättningar, med olika blandningsförhållanden har provats; flygaskan som användes var från kolpulverförbränning.

- Cement, flygaska (50:50, 75:25)
- Cement, flygaska,  $\text{CaCl}_2$  (42.5:42.5:5)
- Cement, flygaska, gips (40:40:20)

Försöken visar att det inte finns något universal-bindemedel som är bäst i alla jordarter.

Flygaska från förbränning av bränslemixer med bark har också provats med goda erfarenheter. Tryckhållfastheten blir ungefär den samma som för flygaska från kolpulverförbränning. [23] H.Åhnberg SGI.

### **3.3.4 Cementbundet Grus**

Ytor på mark avsedda för trafik eller hantering av tyngre gods kräver oftast en ytbeläggning (slitlager). Denna kan sällan utföras direkt på den avjämnade marken utan som regel krävs under ytbeläggningen flera lager med avsevärt bättre egenskaper än marken på platsen – skyddslager, förstärkningslager och bärlager. Om cementstabiliserat grus (CG) används kan dessa lagertjocklekar minskas betydligt [24].

CG blandas oftast men inte alltid i betongfabrik och cementhalten är relativt låg (3-6 %). Om CG blandas direkt på vägen lägges ballasten ut och vatten+cement fräses ned. Bärlager med CG karakteriseras av stor böjstyvhet och god stabilitet. Krav på CG är att förundersökning skall vara utförd innan leverans och tryckhållfastheten skall enl. ATB Väg 2003 [9] vara minst 9 MPa. Kraven för t.ex. cykelvägar etc. torde vara lägre.

Att blanda i flygaska tillsammans med cement eller kalk är ett bra sätt att sänka kostnaderna för att stabilisera mark. Svenska försök visar att det går bra att ersätta cement eller kalk med flygaska. I t.ex. Australien används sedan många år askor för att stabilisera mark. I National

AustStab Guidelines kan man bl.a. se att en mix med kalk, cement och flygaska är lämpligt att använda i välgraderat grus och siltig/lerigt material. Krossballast och sand är mindre lämpliga material att stabilisera.

Det finns också försök med granulering av askor som sedan blandats med en cementpasta för utläggning vid vägbyggnad. Fördelen med granuleringen är att lagring möjliggörs.

En variant till CG är att fräsa ned aska i en befintlig grusbeläggning tillsammans med kalk. I Finland förekommer detta för att förstärka t.ex. grusvägar för att få förbättrad beständighet och bärighet [25]. Kalken är till för att aktivera askan.

Det är mycket viktigt att materialet packas ordentligt efter utläggning. Det är också viktigt att ha kontroll på sulfithalten i materialet som ska stabiliseras annars kan ettringit bildas och därmed svällning. Svällningen gör att vatten tränger in i vägen och kollapsar. Ett annat potentiellt problem är damning i samband med utläggning vilket bör beaktas. Damning kan också undvikas om materialet ”toppas” med ballast. Inom Värmeforskprogrammet finns ett par olika projekt som behandlar användning av askor i vägtillämpningar.

### **3.3.5 Cementbundet Makadam**

Ett bärlager cementbunden makadam, CM [26], består av ett packat lager grov och tämligen ensartad makadam vars hålrum har fyllts med ett mycket lättflytande cementbruk. En bädd med makadam läggs ut och vältas. Cementbruket sprids på ytan och vibreras ner. På CM-bärlagret läggs normalt ett slitlager av asfaltbetong.

Cementhalten i CM är högre än i CG. 300-350 kg/m<sup>3</sup>. 11-13% är vanligt för CM. För att motverka vattenseparation kan t.ex. flygaska tillsättas.

### **3.3.6 Flygaska i ytor och vägar**

Cefyll var det tidigare produktnamnet på en blandning av flygaska, avsvavlingsprodukt, cement och vatten. I Västerås har t.ex. ett arbete utförts med att använda cefyll som utfyllnad bakom en ny kolkaj [27]. Utfyllnaden som utfördes 1994-1996 skedde bakom en spont som det även monterades en geoduk på insidan som tätning mot vattnet.

Totalt användes 27690 ton flygaska och 2303 ton cement, detta ger 47 500 ton färdig Cefyll. Cementhalten i cefyllblandningen var 8 %. Cefyllen tillverkades i en speciell blandningsanläggning vid kraftvärmeverket och med de restprodukter som produceras där. 1997 gjordes en kompletterande utfyllnad på 408 ton.

För att mäta utlakbarheten av bl.a. metaller mättes permeabiliteten (tätheten). Cefyllen delades in i två kvalitetsklasser, klass 1 och 2. Permeabilitetskraven var  $< 1 \cdot 10^{-9}$  respektive  $< 1 \cdot 10^{-8}$ . Tryckhållfastheten skulle va minst 2 MPa i båda klasserna. Klass 2-cefyllen fick användas endast i fyllningens centrala delar, för klass 1-cefyllen fanns inga restriktioner.



Tabell 3. Riktvärden för restprodukten (TASP+FA) innehåll för resp. klass  
Target values for the residue (TASP+FA) content according to classification

	Klass 1	Klass 2
vbt (vikt vatten/vikt aska + cement)	< 0,37	< 0,50
Halt SO <sub>4</sub>	< 15%	< 20%
Andel löslig fri kalk	< 2%	< 4%
TASP (andel torr avsvavlingsprodukt)	< 30%	< 50%

Samtliga prover klarade tryckhållfasthetskravet och kravet för permeabilitet för klass 2. För att klara permeabilitetskravet för klass 1 krävdes en härdningstid på ca 220 dygn. Vid lakförsök klarade samtliga prov aktuella gränsvärden.

Liknande produkter har provats i Finland av Viatek, Pentti Lahtinen, i det svenska s.k. Rv90-projektet samt även i olika Värmeforskprojekt. Lahtinen har i ett doktorsarbete visat att flygaska med tillsats av Cement/kalk/fiberslam som förstärkningslager ger väsentligt bättre tålningsförmåga för mindre belastade vägar. Pågående försök inom och utanför Värmeforsk antyder att flygaska kan ge bra resultat även utan tillsatsmedel. Mälarenergi AB har under lång tid använt flygaska med 5-8% cement för utbyggnad av hamnen, vägar och ytor. En försöksväg på riksväg 90 visar att flygaska med cement/kalk/mald masugnsslagg är ett bra vägbyggnadsmaterial med goda miljöegenskaper även för större vägar. Området bedöms ha stor potential.

## 4 Klassificeringssystem för askor

Målsättningen med projektet har varit att sammanställa faktiska krav på flygaskor i olika tillämpningar för att på så sätt kunna skapa ett ramverk för klassificering av askor. Det har under arbetets gång blivit tydligt att det inte går att skapa ett dylikt ramverk för andra tillämpningar än cement och betong. Det finns helt enkelt inte den sammanställningen av erfarenheter från olika tillämpningar och inte heller de normskrivningar där gränsvärden för alternativa material ställs. En vanlig formulering är att materialet skall ge "likvärdiga egenskaper" eller "inte försämrar egenskaperna" vilket innebär att askor måste provas individuellt för varje tillämpning.

För de mer avancerade tillämpningarna som cement & betong finns regelverk som måste följas i de applikationer där höga säkerhets- och beständighetskrav ställs (anläggningskonstruktioner o.d.). Det finns dock en stor volym konstruktioner där lägre krav ställs på cement och betong. Enklare (lägre krav på hållfasthet och beständighet) konstruktioner i form av grundplattor, väggar i bostadshus etc. Mer än 50 % av all fabriksbetong utgörs av betong utan krav på det s.k. vattencementtalet vilket också öppnar för alternativa bindemedel som inte faller inom ramen för regelverket.

För andra tillämpningar med kopplingar till geotekniska applikationer, gruvdrift etc. finns inte motsvarande regelverk över vilka sammansättningar som krävs för att askan skall kunna användas konstruktivt. Det har inte heller gått att sammanställa krav på askan som härrör från utvecklad praxis inom området. Det vanligaste är att tester görs där en jämförelse med det ordinarie materialet utförs.

## 5 Forskningsbehov

Ett primärt forskningsbehov är att dokumentera inverkan av askor vid användning av i olika betong- och betongrelaterade tillämpningar. Framförallt gäller det att arbeta med att utveckla mer funktionsbaserade krav istället för de idag rådande specifika materialkraven som finns på askor. Precis som det med andelen fri kalk över en visst gränsvärde måste genomföras funktionstest där svällning mäts bör detta också göras för andra parametrar. Inverkan på såväl färskasom hårdnade egenskaper hos betong med inblandning av flygaska måste göras. Man måste också beakta egenskaper på kort sikt och beständighetsaspekter på lång sikt.

För betongområdet måste djupare studier göras av olika flygaskors inverkan på betongens egenskaper t.ex. vid användning som fillermaterial (krossballast, självkompakterande betong). Frågeställningen motiveras med att regelverken främst behandlar askor från kolpulverförbränning och att andra bränslemixer idag är de dominerande i Sverige. Därför har det inte heller gått att utröna vilka variationer som är acceptabla i olika tillämpningar. Inte heller beständighetsaspekter är i alla delar klarlagda.

För gruvkoncepten krävs fördjupade studier med fokus på ytterligare mekaniska parametrar som kan vara aktuella i ett bergmekaniskt perspektiv. Detta för att klarlägga eventuella frågetecken kring säkerhet och risken för påverkan på bärförmåga p.g.a. inblandningen av askor. Lämpliga inblandningar av askor och vilka praktiska implikationer på blandning och placering detta har är andra delar där det finns ett fortsatt forskningsbehov.

I de betongrelaterade geotekniska applikationerna sker redan idag en del forskning, men det finns ett fortsatt behov av att kartlägga t.ex. beständighetsfrågor vid användning av askor för bär- & förstärkningslager vid vägbyggnad. Inverkan på tjäleenskaper och ytterligare belysande av de mekaniska egenskaperna behöver också utredas vidare. Askors potentiella funktion vid användning som bindemedel vid djupstabilisering är en annan frågeställning som bör undersökas vidare.

Rent allmänt finns det också ett behov av riktlinjer för anläggningsägare som producerar askor i form av vilka frågeställningar som kan dyka upp vid kontakter med potentiella användare. Riktlinjer för vilka bas-analyser som skall göras och vilka kompletterande analyser som kan efterfrågas vid olika tillämpningar borde framtas.

## 6 Marknadssituation

Det är i dagsläget svårt att bedöma marknadssituationen för de enskilda tillämpningarna. En av orsakerna är att det ofta är stora skillnader i vilket incitament som finns för att använda alternativa material. T.ex. finns det stora ekonomiska incitament vid ersättning av cement och något lägre vid ersättning av t.ex. kalkfiller. Skatten på naturgrus verkar ännu inte vara så hög att det ger någon betydande styrning ännu för att alternativ ballast skall komma till användning.

En annan aspekt är de stora skillnaderna i vilken drivkraft som finns för att finna avsättning i nya tillämpningar. Deponi- & hanteringskostnader varierar beroende vilken klassning av restprodukterna får och vilken hantering som krävs på en deponi är två styrande faktorer. En annan är naturligtvis om askproducenten har en deponi i egen regi eller om man använder kommersiella deponier. Deponiskatter i kombination med minskade möjligheter för uttag av naturresurser och höga materialkostnader (främst cement) har ökat drivkraften för att finna alternativa lösningar hos såväl askproducenter som betong- och byggtreprenörer.

Sammanfattningsvis kan dock sägas att marknaden idag är relativt liten för askor i betong- och betongrelaterade tillämpningar och att det krävs arbete för att öka denna andel. Ersättning av cement och kalkfiller är huvudinriktningen där det är möjligt med fortsatt uppfyllnad av de kvalitets och beständighetskrav som finns. Man bör också ha i åtanke att betongtillämpningarna konkurrerar med andra avsättningsmöjligheter. Ett framtidsscenario är dock att användningen av restmaterial även inom det här området kommer att öka i framtiden.

Idag är tillståndshanteringen ofta ett hinder när nya koncept skall sjösättas. Det finns också en stor variation mellan olika län och synen på till synes liknande avsättningar kan variera från län till län. Riktlinjer från Naturvårdsverket för hur detta skall hanteras håller på att utarbetas. Ett framtida scenario är också att Naturvårdsverket och länsstyrelserna kommer att utveckla praxis och vana i att hantera olika uppslag till avsättning av askor. Det kommer att göra beslutsprocessen mindre person- och regionberoende än idag.

För att kunna ge vägledning och bakgrundsinformation till egna marknadsbedömningar ges i det följande exempel på kostnadsnivåer för olika poster som kan vara aktuella vid framräkning av alternativkostnader för betong- och byggtreprenörer och askproducenter.

## 6.1 Vanliga kostnader

Det vanligaste scenariot i betongrelaterade tillämpningar är att man med aska söker ersätta ett annat material t.ex. naturgrus, finmaterial (kalk, silika etc.). I tabell 5 nedan redovisas en sammanställning några vanliga material.

Tabell 4. Användbara prisuppgifter vid bedömning av ekonomisk potential  
Useful costs for estimation of economical potential

	Kostnad	Enhet
Cement (bulk)	690-850 <sup>1</sup>	kr/ton
Kalk (CaO) för bl.a. markstabilisering	1000 <sup>5</sup>	kr/ton
Kalkstensmjöl (CaCO <sub>3</sub> ) för bl.a. självkompakterande betong	350 <sup>5</sup>	kr/ton
Kiselstoff (silika),(bulk)	1500-1800	kr/ton
Förstärkningsgrus natur <sup>4</sup>	56-72	kr/ton
Förstärkningsgrus kross <sup>4</sup>	74-90	kr/ton
Bärlager 0-40 <sup>4</sup>	77-95	kr/ton
Grus 0-8 <sup>4</sup>	59-75	kr/ton
Singel/makadam 8-16 <sup>4</sup>	101-120	kr/ton
Transport, bulkbil <sup>2</sup>	- körkostnad	130
	- last / loss <sup>3</sup>	320

<sup>1</sup> Exkl. transport från depå

<sup>2</sup> I exemplet antaget transport med 65 m<sup>3</sup> volym.

<sup>3</sup> Lastning + lossning t.ex. 3h.

<sup>4</sup> Fri leverans max ca 40km. [Grus & Betong i Gävle]

<sup>5</sup> Inkl. frakt max 100 km. [Nordkalk]

## 6.2 Allmän marknadsbedömning

För att på något sätt värdera hur stor potential de olika tillämpningarna har m.a.p. volym aska som kan finna avsättning har en indelning i tre olika kategorier gjorts. Nedan beskrivs de tre olika.

1. Hög potential = > 50.000 ton/år
2. Medelpotential = 20.000-50.000 ton/år
3. Låg potential = < 20.000 ton/år

Som framgår sammanställningen nedan kan en lokal avsättning t.ex. i nivå 1-3 kton/år vara en mycket god nivå för ett enskilt verk. Indelningen är mer för att sammanfatta den totala potentialen för olika applikationer.

### 6.2.1 Betongtillämpningar

Vad gäller betongrelaterade tillämpningar är oftast det ekonomiska incitamentet störst för vanlig konstruktionsbetong. Idag råder viss obalans i prissättningen på fabriksbetong. Det finns vanligen endast en eller möjligen två betongfabrikanter i en mellanstor svensk stad. Det gör att marknaden vanligen inte är fullt konkurrensutsatt. Inträdet till EU öppnar dock för nya typer av betongtillverkare där s.k. ”truck-mixing” kommer att bli vanligare i Sverige. Truck-mixing

innebär i korthet att man vid en betongfabrik har tagit bort blandaren ur fabriken och att blandningen av material istället sker i roterbilar. Poängen är att kostnaderna för att driva en fabrik blir lägre med mindre underhåll på blandare och sänkta driftskostnader i form av den stora elförbrukning som stationära blandare har. I t.ex. England är det vanligt. Det kommer att öka prispressen på de mer stationära betongfabrikerna och troligtvis öka användningen av alternativa bindemedel och material.

De vanligast förekommande bränslmixerna med bio-bränslen som bas har generellt svårare att uppfylla de krav som ställs i regelverken för att kunna användas vid betongtillverkning rakt av. Det är dock ingalunda omöjligt, och en del askor kan med förbättrad kvalitetssäkring sannolikt få ökad avsättning i konstruktionsbetong. Förbättrad kvalitetssäkring ger också bättre kontroll på variationer i askornas egenskaper genom utökade analyser. Ett exempel på en tillämpning är betongtillverkare som använder aska genom att tillsätta så mycket aska som är accepterat med hänsyn till kloridhalten, trots att askan i sig inte kan typgodkännas som bindemedel för betong.

Tidigare har en stark skepsis och konservatism varit rådande inom betongbranschen men idag märks ett tydligt ökat intresse för alternativa material. Cementindustrin domineras av ett fåtal aktörer och de har därför kunnat hålla en egen prisbild och också haft stor inverkan på framtagande av regelverk etc. Det ger också den största drivkraften då incitamentet för att byta cement mot billigare bindemedel är stark. I flera tillämpningar rekommenderas en återhållsam inställning till material med delvis okända långtidseffekter (dammbyggnationer, marina anläggningar, broar etc). Denna typ av konstruktioner är dock inte den dominerande delen av betongproduktionen i Sverige. Om man tittar på cementförbrukningen i Sverige så utgörs mer än 50% av s.k. byggcement som vanligen inte används i anläggningskonstruktioner med höga krav på beständighet.

Ett nytt tänkande med resurssnålhet och kretsloppsmål ger att en svängning kan skönjas. Den nya utvecklingen med högre krav på färska flödesegenskaper och ”besvärligare” ballast gör att intresset för alternativa material verkar öka. Vissa betongtillverkare är redan långt framme och provar olika askor för att utröna deras potential, samt använder det i fabriksbetongtillverkning, tillverkning av Leca-block och betonghålstén. Investeringar i silokapacitet kan ofta motiveras med t.ex. inbesparad cementkostnad.

Dagens regelverk ger inte utrymme för stor inblandning av aska, och på så sätt har inte betongtillämpningen den största enskilda potentialen gällande volymen aska. Det finns dock möjligheter och den stora fördelen är att betongfabriker finns spridda över landet och därigenom också nära de mindre förbränningsanläggningarna. Det höga priset på cement är den stora drivkraften för att använda alternativa material. Det ger också utrymme för relativt långa transporter av aska alternativt en kort transport och gynnsamma ekonomiska överenskommelser mellan betongtillverkare och askproducenter. I de fall askan syftar till att ersätta fillermaterial i form av kalkfiller finns också ett ekonomiskt incitament. I många fall kan ersättning av såväl cement som kalkfiller vara möjligt.

Potentialen för de olika delområdena bedöms enligt följande:

Tabell 5. *Bedömning av marknadspotential*  
*Estimated market potential*

<b>Tillämpning</b>	<b>Potential</b>
Krossballastbetong	medel
Självkompakterande	medel
Cementtillverkning	låg
Bruk & spackel	låg
Skumbetong	låg
Betongbeläggningar	låg <sup>1</sup>
Lättbetong	låg

<sup>1</sup> I enskilda projekt kan stora mängder bli aktuella

### 6.2.2 Gruvtillämpningar

Idag finns få aktiva gruvor där tekniker med betongrelaterade användningssätt är aktuella. I de gruvor där denna teknik används handlar det oftast 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" (igensättningsbrytning) till att skapa betongpluggar med hög hållfasthet (rasschakt). I de fall där endast en vattenhållande förmåga är målet kan i princip vilken aska som helst användas så länge det finns förutsättningar för att få miljötillstånd. 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.

Tabell 6. *Bedömning av marknadspotential*  
*Estimated market potential*

<b>Tillämpning</b>	<b>Potential</b>
Igensättningsbrytning <sup>1</sup>	medel
Igengjutning av schakt <sup>1</sup>	medel

<sup>1</sup> enbart mycket lokala avsättningar

### 6.2.3 Geotekniska tillämpningar

Med de betongrelaterade geotekniska tillämpningarna avses de tillämpningar där man använder cement som bindemedel för att stabilisera eller förstärka grus och jordmaterial. I det tidigare avsnittet togs tillämpningar som kalk/cement-pelare, cementstabiliserat grus, injektering o.d. upp. Här är oftast också kraven relativt låga i form av önskad sluthållfasthet etc. och därför har reaktiva askor en stor potential att bli använda här. Intresset är och har under en längre period varit relativt stort, men incitamentet att byta bindemedel har inte varit tillräckligt stort för att någon stor omfattning har utvecklats. Verifiering av redan utförda objekt i form av fältmätningar och provtagning för laboratorieprovning bör vara en del av en teknisk karaktärisering.

En aspekt som säkerligen har betydelse är skillnaderna i miljöbedömning mellan olika länsstyrelser. Som tidigare nämnts finns inga riktlinjer från naturvårdsverk som underlättar beslutsprocessen hos länsstyrelsen. Askorna i de geotekniska tillämpningarna ligger mer exponerade än i de betongrelaterade tillämpningarna, och därför kanske fler frågetecken kring påverkan på grundvatten etc. ställs upp.

Fördelen med de betongrelaterade geotekniska tillämpningarna är att det inte är lika stora volymer som avsätts i ett enskilt objekt jämfört med övriga geotekniska tillämpningar. Detta gör att man inte kräver lika stora lagringskapaciteter. Det borde också ge ökade möjligheter för de små askproducenterna som har begränsad lagringskapacitet.

Ytterligare en fördel särskilt för jordförstärkning med t.ex. kalk/cement-pelare är att produktionen sker året runt och kanske företrädesvis på vintern när marken har tillräcklig bärighet för att vara åtkomlig för tunga anläggningsfordon.

Potentialen för de olika delområdena bedöms enligt följande:

Tabell 7. *Bedömning av marknadspotential*  
*Estimated market potential*

<b>Tillämpning</b>	<b>Potential</b>
CementstabGrus	hög
Cefylliknande koncept	hög/medel
Injektering	medel
K/C-pelare	medel



## 7 Referenser

- [1] **Betonghandboken - Material**; AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2:a upplagan, 1994.
- [2] **Cement – SS-EN 197-1:2000**, Byggstandardiseringen BST
- [3] **Ballast och fillermaterial - EN 12620**, Technical Committee CEN/TC 154
- [4] **EN 450 Fly ash for concrete** – Definitions, requirements and quality control, CEN
- [5] **SS-EN 206-1 Betong**, CEN Utgåva 1, 2001
- [6] **SS 13 70 03** Användning av EN 206-1 i Sverige, SIS (BST) TK 45 Betong 2001
- [7] **BBK 94** Boverkets handbok om betongkonstruktioner, band 2, Material, utförande, kontroll 1994
- [8] **Bro 2002**, Vägverkets Publikation 2002:47
- [9] **ATB VÄG**, Allmän Teknisk Beskrivning VÄG, Vägverkets krav på vägkonstruktioner, 2003
- [10] **Löfsjögård M.** CBI muntlig kommunikation.
- [11] **Persson P-E.** PE Betongteknik, muntlig kommunikation.
- [12] **Ullared S.** Omya muntlig kommunikation.
- [13] **Nygren K.** CBC (dotterbolag till Yxhult) muntlig kommunikation.
- [14] **Holmström M.** Vattenfall Utveckling AB muntlig kommunikation.
- [15] **Snibb R.** Boliden, muntlig kommunikation.
- [16] **Malmgren L,** LKAB, muntlig kommunikation.
- [17] **ÅF-Enegikonsult Stockholm AB och SGI**
- [18] **Vägverkets Publ 2001:34** , Provningsmetoder för alternativa material till vägunderbyggnad
- [19] **Eklund D, Bernstone C,** Vattenfall Utveckling AB, muntlig kommunikation.
- [20] **S.Akbulut, A.Saglamer**”Evaluation of fly ash and clay in soil grouting”
- [21] **Holm G, Åhnberg H,** SGI-rapport No 30 1983,
- [22] **Åhnberg H.** SGI, **Johansson S-E.** Cementa AB, **Pihl H.** Partek Nordkalk Oy AB och **Carlsson T.** SSAB Merox AB, Stabilising effects of different binders in some Swedish soils, 2003.
- [23] **Åhnberg H** SGI, muntlig kommunikation
- [24] **Betonghandboken – Arbetsutförande**; AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2:a upplagan, 1992.
- [25] **Lind P.** SGI Muntlig kommunikation.
- [26] **Betonghandboken – Arbetsutförande**; AB Svensk Byggtjänst och Cementa AB, 2:a upplagan, 1992.
- [27] **VEV Energiproduktion**, Kvalitetsuppföljning av Cefyll i västra hamnen, 1997

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeknisk 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](http://www.varmeforsk.se)

Beställning av trycksaker  
Fax 08-677 25 35