



LIFE05 ENV/DK/000153

**Anvendelse af aske fra forbrænding af spildevandsslam
(bioaske) i betonproduktion**

Lægmands-rapport, 2007



UNICON ///



INDLEDNING

Formålet med projektet er at fjerne tekniske hindringer for udnyttelsen af forbrændingsaske fra spildevandsslam (bioaske) i fremstillingen af beton og samtidig reducere mængden af affald til bortskaffelse.



Spildevandsrensningsanlæg, Avedøre

Forbrænding af slam har allerede i årtier været en veletableret slambehandlings-teknologi i Europa. Som følge af udvidelsen af sekundær og tertiær spildevands-behandling fra implementeringen af Direktivet om Rensning af Byspildevand forventes genereringen af bioaske at øges betydeligt på europæisk plan. Samme virkning ses af den reducerede bortskaffelse af slam i landbruget i visse lande. I henhold til EUROSTAT-statistikken kan den samlede slamproduktion fra renselanlæg til byspildevand anslås til ca. 8,9 millioner tons tørstoffer (TS) i de 25 EU-medlemslande. Statistikken viser stigninger for slamforbrænding i perioden 1990 til 2000 i Holland fra 12.000 til 180.000 t TS/år og i en del af Storbritannien (England & Wales) fra 74.000 til 209.000 t TS/år.

Resultater fra tidligere forskningsprojekter viser, at bioaske kan tilsættes til beton som erstatning for flyveaske eller i visse tilfælde endog erstatte Portlandcement, og at bioaskes densitet er højere end flyveaskes, men lavere end Portlandcements. Endvidere er det påvist, at beton med bioaske har en acceptabel styrke, og at tungmetaller fra asken vil blive immobiliseret i en sådan grad, at det er miljømæssigt acceptabelt at bruge bioaske i beton. Et af formålene med nærværende LIFE-støttede projekt er ved hjælp af et udvidet testprogram, forhåbentlig at få disse lovende foreløbige resultater bekræftet.

Hensigten med dette projekt er at påvise, at bioaske virkelig kan anvendes i beton i praksis, uanset hvilket perspektiv man måtte antage; betonteknologisk, miljømæssigt eller økonomisk.

Dette er direkte i tråd med EU's sjette rammeprogram, som kræver bedre styring af affald, bæredygtig produktion og bæredygtige forbrugsmønstre. Under henvisning til

EU's sjette rammeprogram vil projektet også bidrage til rene teknologier og reduktion af drivhusgasser via eventuel cementerstatning, samtidig med at affaldsmængden (bioaske) til bortskaffelse reduceres.

Partnerne i dette projekt er to renseanlæg og en producent af færdigblandet beton:

Spildevandscenter Avedøre. Et samarbejde mellem 10 kommuner, der driver 1 renseanlæg. BioCrete-partner og beneficiant. (AWS - Avedøre Wastewater Services). Dette anlæg har en ovn med fluidiseret leje som forbrændingsovn, og bioasken har partikelstørrelsesegenskaber som flyveaske.

Lynettefællesskabet I/S. Et samarbejde mellem 8 kommuner, der driver 2 renseanlæg: Lynetten og Damhusåen. BioCrete-partner. (LYNIS) Dette anlæg har en traditionel etageovn, og da bioasken er en 'bund'-aske ´ medtages også grovere partikler.

Unicon A/S. Producent af færdigblandet beton, med en række fabrikker fordelt over Danmark, fx Avedøre (tæt på Spildevandscenter Avedøre), Ejby og Hedehusene. BioCrete-partner. (UNICON).

Dansk Teknologisk Institut. Konsulent for BioCrete (DTI).



Betonbiler fra Unicon

HANDLINGER OG MIDLER

Før projektstart var det allerede påvist via test i lille skala, at det er muligt at bruge bioaskebeton til begrænsede formål; men den faktiske brug af bioaske i beton var meget begrænset. Medmindre der dukkede mere dokumentation for bioaske og bioaskebeton op, var det usandsynligt, at brugen af bioaskebeton i beton ville øges.

For at fremskaffe den nødvendige dokumentation til at overvinde hindringerne for udstrakt brug af bioaskebeton, er projektet udført i to større faser:

1. Design, konstruktion, implementering og brug af systemer der kræves til fuldskalaproduktion af bioaskebeton – da disse systemer ikke fandtes ved projektets start.
2. Test i laboratoriet og i marken af egenskaberne ved bioaske og bioaskebeton for at dokumentere, at fuldskalaproduktion af bioaskebeton kan finde sted uden negative påvirkninger af de endelige konstruktioner.

Fasen med fuldskalaproduktion bestod af aktiviteter med relation til design og installation af udtag til tør bioaske på forbrændingsanlæggene, design og installation af faciliteter til håndtering af bioasken på betonfabrikken, levering af bioaskebeton til diverse byggepladser i Københavnsområdet, herunder udvidet testning og opfølgning på erfaringerne fra støbningen af betonen.

Laboratorietestene af bioasken og betonen omfattede dokumentation af bioaskes kemiske og fysiske egenskaber over et fuldt produktionsår, udvaskning af tungmetaller fra bioaskebeton, styrkeudvikling af bioaskebeton (herunder konsekvenserne af fosfatindholdet i asken) og bioaskebetons langtidsholdbarhed. Eksisterende bioaskebetonkonstruktioner blev undersøgt for at fastlægge bioaskebetons ydeevne i marken.

RESULTATER – FULDSKALAPRODUKTION

Design og opbygning af faciliteter til håndtering af aske på slamforbrændingsanlægget

Faciliteterne til overførsel af tør bioaske til pulvertransportbil er i fuld drift på de to renseanlæg (Avedøre og Lynetten). Begge askeudgange er etableret og testet pr. februar 2006. I de følgende måneder blev der foretaget nogle finjusteringer samt afsluttende byggearbejde. Således er begge askeudtag integrerede og velfungerende.



Askesiloens bund, den nye snegletransportør og bælggen på Spildevandscenter Avedøre.

Imidlertid blev der identificeret to alvorlige problemer på renseanlægget Lynetten. Bioaskens struktur vanskeliggør overførslen af bioaske fra lastbilen, der transporterer tørpulveret til Unicon-siloen, og for det andet synes denne struktur med en partikelstørrelsesfordeling med mange grove partikler, at gøre denne bioaske mindre, eller meget lidt, velegnet til betonfremstilling.

“Overførselsproblemet” blev løst ved at installere en sigte med indvendige arme til moderat knusning og nedbrydning af asken mellem askesiloen og snegletransportøren. Hullerne i sigten har en diameter på 10 mm. Efter denne forbedring oplevedes ikke flere vanskeligheder med hensyn til den eksterne overførsel af bioaske.

Vedrørende brugen af asken, som er fremstillet i et anlæg med en traditionel etageovn, må det konkluderes, at denne asketype har en partikelfordeling, som gør den uegnet til brug i beton uden yderligere behandling. Portioner af asken blev malet på Aalborg Portland's laboratorium til en mere egnet partikelstørrelse til laboratorieforsøgene. Da man overvejer ændringer for den fremtidige slamforbrænding hos LYNIS, har det ikke været aktuelt at etablere formaling i fuld skala.

Konklusionen er, at typen af forbrændingsovn er meget vigtig for askens egenskaber. Bioaske fra en etageovn (LYNIS) er uden forbehandling mindre egnet til betonproduktion end bioaske fra en ovn med fluidiseret leje (Spildevandscenter Avedøre).

Design og opbygning af faciliteter til håndtering af aske på betonproduktionsanlægget

Pulvermaterialer såsom cement, flyveaske, mikrosilica og bioaske skal håndteres i lukkede systemer for at forhindre miljøproblemer. En snegletransportør fører pulvermaterialerne fra siloerne ind i batchudstyret (til afvejning), hvorfra det leveres ind i blanderen ved hjælp af tyngdekraften. Betonproduktionen styres af et computersystem, som er integreret med forsendelses- og laboratoriesystemerne. Enhver ændring eller nyt materiale vil derfor kræve investeringer i anlægget for at sikre, at processerne stadig er under kontrol og registrerede.

Askehåndteringsfaciliteterne på betonproduktionsanlægget blev etableret fra januar 2006 til slutningen af juni 2006 med Avedøre-anlægget (Stamholmen) som første fabrik. Anlægget i Hedehusene havde allerede anvendt bioaske fra en ekstra silo i en længere periode. Sluttelig blev Ejby-anlægget opgraderet og var i stand til at modtage bioaske fra slutningen af juli 2006.



Aflæsning af bioaske på Unicons anlæg i Avedøre.

Systemerne til håndtering af aske på betonproduktionsanlæggene er i fuld drift, og det kan konkluderes, at asken kan håndteres i normale pulverhåndteringssystemer på betonfabrikker, dvs. transportører, vejesystemer etc. Det er nødvendigt at have en silo kun til brug for bioaske for at undgå problemer med utilsigtet blanding med andre materialer.

Hvid bioaske – askeproduktion og forsøgstøbning med beton

Den rødlige farve i bioaskebeton, som er fremstillet ved hjælp af den røde bioaske, er blevet identificeret som en betydelig hindring, når betonen skal bruges til synlige materialer og konstruktioner, og især i kombination med normal gråfarvet beton. Den røde farve skyldes jernforbindelser i bioasken, og "hvid" (lysere) bioaske blev fremstillet på Damhusåen (en del af LYNIS-renselanlægget) ved at erstatte jernet med aluminium til bundfældning af fosfor under spildevandsbehandlingen.

Damhusåen blev drevet i et halvt år ved hjælp af et aluminiumbundfældningsmiddel (til fjernelse af fosfor) i stedet for et jernbundfældningsmiddel, og bagefter blev der overført 150 m³ slamkage, der blev forbrændt på Spildevandscenter Avedøre, hvorved 10 t 'lys bioaske' (eller aluminiumbioaske) blev fremstillet. Farven på denne lyse bioaske er gulbrun og lysere end den 'normale', røde bioaske (eller jernbioaske). Bioaskens farve er relateret til jernindholdet; dog ikke kun til det samlede jernindhold, men bestemt også til askens struktur og mineralogi. Det forekommer meget sandsynligt, at den røde farve er relateret til indholdet af hæmatit (krystallinsk Fe₂O₃).

Det er observeret, at bioaskebeton har en rødlig farve, som er temmelig anderledes end referencebetons grå farve. Endvidere er det indtrykket, at bioaskebetonfarven bliver blegere med tiden, især hvis betonen er placeret udendørs. På billedet

nedenfor er vist betonplader med rød og lys bioaske (begge med 85 kg/m^3 bioaske og ingen flyveaske) samt en referenceplade (ingen bioaske og 70 kg/m^3 flyveaske).



Betonplader med 1) ingen bioaske, 2) lys bioaske og 3) rød bioaske

Som ingrediens i betonsammensætningen er den lyse bioaske teknisk lige så god (eller endog lidt bedre) end rød bioaske og langt bedre hvad angår farvningen af bioaskebeton. Grænseindholdet for ingen negativ farvevirkning synes at være $20 - 40 \text{ kg/m}^3$ for lys bioaske og kun $5 - 10 \text{ kg/m}^3$ for rød bioaske.

Europæiske slamforbrændingsanlæg fremstiller både jernbioaske og aluminium-bioaske. Valget af bundfældningsmiddel til fjernelse af fosfor på renselanlæggene afhænger af procesresultater samt økonomi. Jern vælges normalt i Danmark.

Produktion af bioaskebeton

Unicon A/S har anvendt bioaske til betonfremstilling i Københavnsområdet siden starten af 2003. Fra 2003 på anlægget i Hedehusene, fra 2005 yderligere på Avedøre Holme-anlæggene og fra 2006 også på Ejby-anlægget. Produktion af beton med bioaske er kun mulig på betingelse af, at supplerende/nye silofaciliteter etc. etableres.

Bioaske blev anvendt i styrkeklasse 8 og 12 MPa i henhold til DS/EN 206-1, Passiv miljøklasse, samt til produktion af beton, som ikke er leveret i henhold til DS/EN 206-1 (dvs. for beton anvendt til placering af fx brosten og for beton med en trykstyrke på under 8 MPa). På grund af den rødlig biefekt kunne bioaske ikke anvendes i højere styrkeklasser, som anvendes i "synlige" konstruktioner.

De eksisterende oplysninger fra Unicon er samlet i form af batchinformation og tilknyttede betontestresultater fra de senere års levering af bioaskebeton. Samlet produktion og forbrug fra de tre anlæg var:

Bioaskeforbrug, Kbh-området		
År	m ³ – beton	Bioaske, ton
2003	2.916	85
2004	6.674	221
2005	4.621	182
2006	13.117	928
2007	12.052	712
Total	39.380	2128

Blandingerne blev oprindeligt sammensat, så 50% af flyveasken i P08- og P12-blandingerne blev erstattet med bioaske; tilsammen udgjorde flyveasken og bioasken halvdelen af pulverindholdet i disse blandinger (i kg). Bioaskeindholdet blev øget til 100% af cementindholdet i kilo ("halvt af hvert"), dvs. ingen flyveaske i P08- og P12-blandingerne.

Dette førte til store problemer med betonens konsistens, og sætmålet var alt for lavt, selvom vandindholdet var meget højt sammenlignet med en lignende beton uden bioaske, og superplastificeringsmiddel blev tilsat. Endvidere blev et fald i trykstyrkeniveauet (7 dage) iagttaget.

Dette førte til beslutningen om at ændre sammensætningen til det oprindelige, så 50% af flyveasken i blandingerne erstattes med bioaske. Beton i passiv, moderat, aggressiv og ekstra aggressiv miljøklasse er forprøvet med godt resultat (50% bioaske).

Konklusionerne fra fuldskalaforsøgene er:

- Når man sammenligner referencebetonen med betonen med bioaske, er der ingen betydelig forskel i styrken ved 28 dage, hverken for 8 MPa eller 12 MPa, når der tages højde for udsving i vand/cement-forholdet.
- Der er ingen forskel i standardafvigelsen for referencebetonen og betonen med bioaske.
- Beton med bioaske afviger ikke fra beton uden bioaske hvad angår blandingsegenskaberne (dvs. dosering og luftindblandingsmidlets evne til at danne luft i betonen).
- Beton med bioaske kræver mere vand end beton uden bioaske for at opnå samme konsistens. Der skal tilsættes mere cement for at bevare styrkeniveauet (for at bevare v/c-forholdet).

- Der synes at være en lavere stigning i styrke i 7 til 28 dage for beton med bioaske.
- Beton til nedlæggelse af brosten (beton med lavt sætmål) fremstilles ikke længere med bioaske. Betonen når ikke samme styrkeniveau og er vanskelig at få ud af lastbilerne.

Erfaringer fra fuldskalaproduktion

Resultaterne fra fuldskalaproduktionen viser, at det er muligt at etablere askehåndteringsfaciliteter i både renseanlæggene og betonfremstillingsanlæggene uden større problemer. Asken fra anlægget med traditionel etageovn er for grov til anvendelse i betonproduktion uden yderligere behandling.

Beton med bioaske har en rødlig nuance, som kan være et problem, når betonen anvendes i synlige konstruktioner. Det er muligt at fremstille "lys" bioaske, men betonen har stadig en lidt rødlig nuance. Farven synes at afbleges over tid, når den udsættes for omgivelserne. Hvis der kun anvendes en lille mængde bioaske (20 – 40 kg/m³ for lys bioaske og 5 – 10 kg/m³ for rød bioaske), påvirkes betonens farve ikke.

Når bioaske anvendes i betonen, påvirkes betonens konsistens. Det er nødvendigt at tilsætte mere vand og/eller superplastificeringsmiddel for at opnå samme konsistens. Ved tilsætning af mere vand skal cementindholdet øges tilsvarende for at bevare vand/cement-forholdet.

RESULTATER – LABORATORIETEST

Dokumentation for askens kvalitet

For at bioaske kan accepteres som råmateriale til betonproduktion skal det dokumenteres, at asken kan fremstilles med konsistente fysiske og kemiske egenskaber.

For at vurdere askefremstillingens ensartethed blev der indsamlet askeprøver fra både Lynetten- og Avedøre-reseanlægget over en periode på flere måneder.

13 bioaskeprøver i alt fra Lynetten- og Avedøre-reseanlæggene blev analyseret for at vurdere de kemiske og fysiske egenskaber i forhold til brugen som flyveaske- eller cementerstatning i beton. Analyserne er i det store og hele udført i overensstemmelse med den europæiske standard for kulflyveaske i beton DS/EN 450-1.

Kemiske egenskaber:

- De kemiske egenskaber, herunder tungmetalindholdet i Lynettens og Avedøres bioaske, er temmelig konstante over produktionsperioden.

- Bioasken har et lavt indhold af de primære oxider SiO_2 , Al_2O_3 og Fe_2O_3 i sammenligning med kulflyveaske.
- Bioasken fra Lynetten har et højt glødetab, hvorimod Avedøre-asken har lave værdier.
- Bioasken har generelt et meget lavt reaktivt siliciumindhold.
- Alle bioaskerne har lavere opløseligt fosfat end maksimumgrænsen i DS/EN 450-1.
- Kloridindholdet i Lynettens aske er lidt højere end maksimumgrænsen i DS/EN 450-1, men en faktor 10 lavere i Avedøre-asken.
- Bioasken har omtrent samme mineralogiske sammensætning - bestemt ved hjælp af QXRD til primært at være amorfe materialer (50-70%), kalciumfosfat (8-21%), kvarts (8-16%) og jernoxider. Lynettens aske har mere amorf materiale og mindre kalciumfosfat end Avedøre-asken.

Fysiske egenskaber:

- Lynettens og Avedøres bioaskes fysiske egenskaber er temmelig konstante i produktionsperioden.
- Bioaskepartiklerne er generelt meget grovkornede, sammenlignet med kulflyveaske og Portlandcement. De er uregelmæssige, kantede og har en porøs struktur.
- Alle bioasker har 28 dages aktivitetsindekser, hvilket er højere end DS/EN 450-1-kravet. Asken fra Lynetten opfylder også kravet ved 90 dage, men der er ikke observeret nogen stigning i indekset fra 28 til 90 dage. Avedøre-asken opfylder ikke DS/EN 450-1-kravet ved 90 dage.
- Bioaskens densitet er højere end kulflyveaskes og varierer mellem 2700 og 2850 kg/m^3 .
- Den afbindingstid, der er målt for Lynettens askeprøver, er høj og mere end 120 minutter længere end for referencecementen, dvs. ikke i overensstemmelse med kravene i DS/EN 450-1. Avedøre-asken opfylder DS/EN 450-1-kravene.

På grundlag af nærværende data forventes den undersøgte bioaske kun at have mindre puzzolansk effekt, hvis den anvendes som cementerstatning i beton. På den anden side forventes bioasken på grundlag af dens kemiske og mineralogiske sammensætning ikke at have nogen specifikke negative virkninger på betons holdbarhed. Imidlertid forventes bioasken på basis af partikelstørrelsesfordelingen, den uregelmæssige form og indvendige porøsitet at øve indflydelse på frisk betons egenskaber. Bearbejdigheden kunne specielt blive påvirket negativt.

Det bør understreges, at det ikke er et formelt problem, at bioasken ikke opfylder flyveaskestandard DS/EN 450-1, da bioaske ikke er en flyveaske i henhold til DS/EN 450-1-definitionen. Bioaske kan derfor stadig anvendes i beton i henhold til

DS 2426 (det nationale anvendelsesdokument for den europæiske betonstandard EN 206-1).

Indsamling af data fra eksisterende bioaskebetonkonstruktioner

To konstruktioner er blevet besigtiget: De dele af den Grønne Bro i Vejle (bygget i 2002), som er fremstillet med bioaske og "fyld"beton i en underjordisk kloakkonstruktion i forbindelse med spildevandstanke bygget i 2004. Det har ikke været muligt at finde ældre konstruktioner med bioaskebeton.

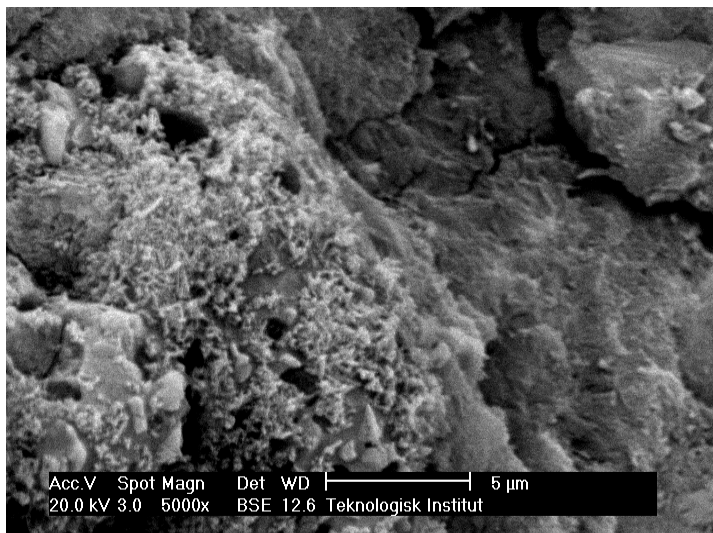
Demonstrationsbroens bioaskebeton viser alle tegn på at være en sund, holdbar beton. Mikrostrukturen viser ingen betydelige fejl stammende fra betonens plastiske eller hærdede tilstand, dvs. det er korrekt placeret og beskyttet beton med passende sammensætning.

Der var ingen beviser for, at bioaskepartiklerne deltager i hydratationsreaktioner eller andre kemiske reaktioner i cementpastaen.

Kloridindtrængningen i bioaskebetonen er højere end forventet. En mulig årsag er, at bioaskebetonen blev støbt den 1. november 2002 ved relativt lave temperaturer lige inden vintertid, hvorimod brodækket etc. blev støbt i slutningen af marts 2002. Broen blev taget i brug allerede den 17. december 2002, hvilket vil sige, at bioaskebetonen sammenlignet med brodækket var betydeligt mindre moden, da den først blev udsat for kloridioner, dvs. bioaskebetonen var ikke så tæt som brodækket, da den først blev udsat for klorid.

Bioaskebetonen fra vandbassinet er generelt i god stand, og på basis af mikroskopianalysen anslås trykstyrken til at være ca. 20 MPa. Betonen har et højt vand til cement-forhold, og der er observeret områder med øget porøsitet på grund af korte plastiske revner, der stammer fra de første få timer efter udstøbing.

Observationer fra SEM (Scanning Elektron Mikroskopi) tyder ikke på, at bioaskepartikler har reageret inde i cementpastaen overhovedet, dvs. ethvert styrkebidrag fra bioasken skyldes højst sandsynligt en fillereffekt.



SEM-billede, der viser en bioaskepartikels grove og uregelmæssige overflade fra betonen fra kloakstrukturen.

Sammenligning af bioaskebeton og traditionel beton

Sammenligningen er baseret på to undersøgelser af beton med bioaske – en højstyrkebeton og en lavstyrkebeton. I øjeblikket klarer begge betoner sig godt og udviser egenskaber, som ikke afviger betydeligt fra sammenlignelig, traditionel beton uden bioaske.

Som al dansk bioaskebeton er de undersøgte betoner stadig unge, under 5 år gamle, og derfor har det ikke været muligt at evaluere deres langtidsholdbarhed. Der er imidlertid ingen tegn på, at langtidsholdbarheden vil udvikle sig anderledes end forventet for lignende traditionel beton.

Bioaskebetons miljøpåvirkning

Efter nedrivning anvendes betonen i Danmark typisk som knuste materialer til vejbyggeri eller lignende formål, hvilket også afspejles i det store fokus, der på den potentielle udvaskning fra betonen i slutningen af betonens livscyklus. I Danmark anvendes 95% af al nedrevet beton p.t. til vejbyggeri. Selvom genanvendelsesprocenten kan være lavere i andre dele af Europa, er det meget sandsynligt, at resten af Europa får højere genanvendelsessatser for nedrevet beton fremover.

Bioaskebetons miljøpåvirkning vurderes ved hjælp af en karakteriseringsmetode (som definerer 3 kategorier af restprodukter), som er beskrevet i den danske bekendtgørelse nr. 1635 af 13. december 2006 "Genanvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder" og sammenligner med en lignende karakterisering af en referencebeton uden bioaske.

Således er nærværende karakterisering i overensstemmelse med bekendtgørelsen baseret på en europæisk udvaskningstestmetode prEN 12457-3 (juni 1998), og perkolatet er analyseret for 19 tungmetaller: Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn,

Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Tl, V, Zn. I henhold til bekendtgørelsen er der krav om grænseværdier for de understregede 10 metaller, og mængden af tungmetaller i perkolatet afgør hvilken restproduktkategori materialet tilhører.

Endvidere, for at simulere frisk (dvs. ikke karboniseret) betons adfærd samt ældet (dvs. karboniseret) beton, er betonprøverne blevet testet efter ingen udsættelse for kuldioxid samt efter 1 – 2 måneders udsættelse for kuldioxid.

Således er 6 forskellige bioaskebetonprøver blevet testet, og i alt 20 perkolater er blevet analyseret.

Sammenligning mellem bioaskebeton og referencebeton: For alle tungmetaller og for ikke-karboniserede samt karboniserede betonprøver er der ingen signifikant forskel mellem koncentrationerne i bioaskebetonafløbsvandet og referencebetonens perkolat. Dette er tilfældet, selvom koncentrationen af visse tungmetaller (Bi, Cu, Hg, Pb, Se og Zn) er omtrent ti gange højere i bioaske end i cement og end i flyveaske.

Kategorikarakterisering (kategori 1 er bedst): Intet metal overstiger kategori 3. Krom (Cr) svarer til kategori 3. Barium (Ba) svarer også til kategori 3, hvis betonprøven ikke er karboniseret, men til kategori 1, hvis den er karboniseret. Kviksølv (Hg) svarer sandsynligvis til kategori 1, men den analytiske detekteringsgrænse var for høj til, at man kunne være sikker. De resterende 7 metaller svarer til kategori 1.

På grund af krom (og barium) svarer bioaskebetonen således til et kategori 3-restprodukt – men det samme gælder referencebetonen!

To udvaskningstest (bioaske + reference) i henhold til en hollandsk standardmetode viser tungmetalkoncentrationer i perkolatet, der ligger langt under grænseværdierne i kategori 1.

Den overordnede konklusion er, at brugen af bioaske til betonproduktion påvirker miljøet i meget begrænset omfang.

Teknisk dokumentation for bioaskebeton

I forhold til traditionel betonteknologi er der tidligere blevet rejst spørgsmål i forbindelse med brugen af bioaskebeton. Mere dokumentation er påkrævet med henblik på anvendelsen af bioaskebeton i andre, mere aggressive miljøer, primært vedrørende langtidsholdbarhed og styrkeudvikling; især den rolle det høje P_2O_5 -indhold i bioasken spiller.

I alt 6 prøver er vurderet, 3 prøver hver fra Avedøre (AWS) og Lynetten (LYNIS). Asken fra LYNIS blev malet til en finere partikelstørrelsesfordeling før blanding.

Der var kun mindre variationer i resultaterne fra frostbestandighedstestene mellem de forskellige asker, herunder referencen. Alle prøver opfyldte DS/EN 206-1- og DS 2426-kravene.

Virkningen af de forskellige bioasker på betons svind blev vurderet i henhold til principperne i DS 434.6. Generelt var der meget små forskelle mellem resultaterne af de forskellige betonprøver, herunder referencen, selvom svindet af de betonprøver, der var støbt med bioaske, var lidt højere end referencens.

Varmeudviklingsmålingerne er udført via semi-adiabatisk hokassekalorimetri. Bioaskebetonblandingerne samlede varmeudvikling er sammenlignelig med typiske referencebetonblandinger med flyveaske. Varmeudviklingsmålingerne viser, at afbindingstiden for bioaskebetonblandingerne er højere end betonblandinger med flyveaske, men når først afbindingen starter, foregår varmeudviklingen lidt hurtigere. Der er ingen indikation af, at P_2O_5 -indholdet påvirker resultaterne.

Generelt viste trykstyrkemålingerne ingen signifikante forskelle mellem de forskellige bioasker og referencen.

Generelt havde betonblandingerne sammenlignelige egenskaber angående holdbarhed og styrkeudvikling, hvor den eneste væsentlige forskel var den senere afbindingstid, som varmeudviklingstesten viste. Det var muligt at opnå tilfredsstillende friske betonegenskaber med begge typer bioaske, selvom sammensætningerne måtte modificeres for at kompensere for bioaskens højere vandkrav. Alle betonblandinger blev modificeret med højere pastaindhold og/eller højere superplastificeringsmiddeldosering og en 50-50 procents blanding af flyveaske og bioaske for at opnå tilfredsstillende, friske betonegenskaber.

Erfaringer fra laboratorietest

Den overordnede konklusion fra laboratorietestene af asken, betonen, miljøpåvirkningen og de eksisterende konstruktioner er, at egenskaberne ved beton med bioaske kan sammenlignes med "almindelig" betons.

ANBEFALINGER

Dette projekt har vist, at det er muligt at anvende bioaske i beton. Der er visse problemstillinger i forbindelse med betons konsistens, som fører til en lidt større mængde cement. Fra et miljømæssigt synspunkt kan det diskuteres, om dette er at foretrække, sammenlignet med bortskaffelse af asken.

Fra et betonmæssigt synspunkt viser resultaterne, at man skal være forsigtig, når man bestemmer sig for forholdet mellem bioaske og flyveaske. Hvis der er for meget

bioaske, er der risiko for tab af tidlig styrke. Der er ingen indikation af, at variationen i mængden af P_2O_5 i asken spiller en rolle vedrørende sætningstiden. Undersøgelserne af de eksisterende, men ikke særlig gamle konstruktioner viser ingen forskel i holdbarhed i sammenligning med beton uden bioaske.

Når der anvendes bioaske, har betonen en lidt rødlig farve. Dette kan være en begrænsning ved anvendelse i synlige konstruktioner.

De beskatningsmæssige forhold i Danmark gør, at det godt kan betale sig anvende bioaske i beton.