

Erfarenheter Flygaskebetong

Kraftindustrins Betongdag 2024-03-13

Karin Appelquist, Birgit Fredrich, Manouchehr Hassanzadeh

Erfarenheter av Anläggningscement FA och Flygaskebetong

ERFARENHETER FLYGASKEBETONG

RAPPORT Erfarenheter flygaskebetong, Energiforsk projekt VKU14639



 Energiforsk

ERFARENHETER ANLÄGGNINGSCEMENT FA

RAPPORT 2023:1963



 Energiforsk



Karin Appelquist



Birgit Fredrich



Manouchehr Hassanzadeh

TACK!!



ERFARENHETER FLYGASKEBETONG

RAPPORT Erfarenheter flygaskebetong, Energiforsk projekt VKU14639

BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT

HÄR FINNS PLATS FÖR EN BILD
SOM ILLUSTRERAR PROJEKTET.
SKICKA MED EN BILDFIL, SOM
ENERGIFORSK KAN LÄGGA IN I
DENNA STÖRRE KVADRAT OCH
ÄVEN ANVÄNDA PÅ PROJEKTETS
WEBBSIDA.

Flygaskebetong – allmänt

Vattenkraftkonstruktionernas utmaning

Hög värmeutveckling som leder till försämrad hållfasthet och sprickbildning

→ Minskad risk genom bindemedelsersättning, flygaska och/ eller grövre ballast

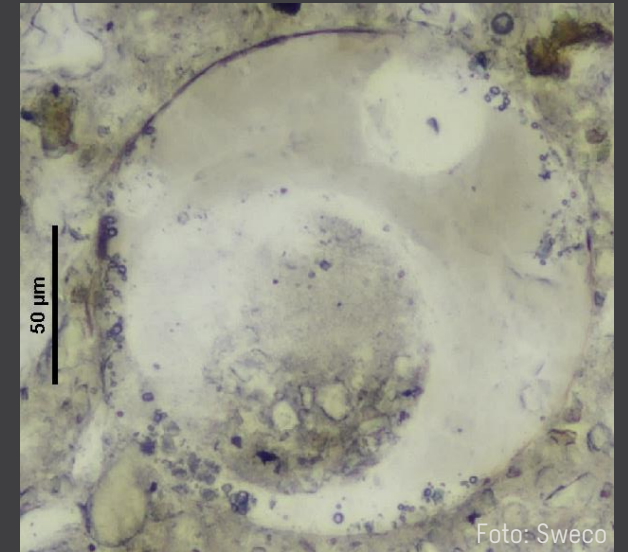
→ Utmaning: arbetbarhet + risk för separation

Höga krav

- Vattentäthet (låg vct-ekv., god komprimering, minimera sprickor, kvalitativt utförande)
- Betongens beständighet viktigare än hög hållfasthet
 - Nötningsbeständighet
 - Frostbeständighet
 - Motstånd mot alkalisilikareaktioner

Praktiska erfarenheter av enbart Anläggningscement FA visar att:

- Liknande värmeutveckling (+ hållfasthetsutveckling) som trad. Anl.cement
- Bättre arbetbarhet (vid jämförelse med trad. Anl.cement)
- Förprovningar viktiga för lufthalt



ERFARENHETER ANLÄGGNINGSCEMENT FA
RAPPORT 2023:1963



Projekt – genomförande

Intervjuer

- Intervjuer med aktörer som varit inblandade i vattenkraftsprojekten Lilla Edet, Forshuvudforsen och Rengård
- Intervjuer i kategorierna Beställare, Entreprenör, Betongleverantör och Konsult
- Intervjufrågor av olika karaktär

Avgränsningar/förtydliganden

- Praktiska erfarenheter av gjutning med flygaskebetong (inga andra tillsatsmaterial)
- Cement = Anläggningscement eller Anläggningscement FA
- Analysen syftar endast till att samla in erfarenheter – ej till att ge rekommendationer

Inledning

Vi tackar för att du vill ställa upp på en intervju inom Energiforskningsprojektet *Erfarenheter av flygaskebetong*. Intervjun syftar till att samla in och beskriva praktiska erfarenheter av flygaskebetong. I denna undersökning avses betong där man tillsatt **flygaska som tillsatsmaterial** (inte i form av Anläggningscement FA, även om detta OCKSÅ kan vara en del av betongen). Anläggningar som studeras är Lilla Edet, Forshuvudforsen och Rengård.

Inför intervjun önskar vi att ni reflekterat över exempelfrågorna nedan:

Beställare

ANLÄGGNINGEN

- Behöver uppgifter anonymiseras eller kan vi beskriva anläggningarna med namn?
- Har ni några foton som vi kan använda i rapporten eller på framsidan? (Vi avser beskriva respektive anläggning och då vill vi gärna ha med bilder på dessa.)

VARFÖR

- Hur har projektet initierats? Av vem?
- I vilket skede har hållbarhetsfrågorna aktualiserats?
- Vad har varit syftet med användningen av flygaskebetong?
- Hur delaktiga har ni varit i utvecklingen av flygaskebetongen (recept mm)?
- Har arbetet föregåtts av någon/några förstudier?
- Vilka risker kalkylerar ni med i den här typen av projekt?
- Typ av entreprenadform?
- Följer man konstruktionernas utveckling?

RECEPT

- Hur har arbetsätt/recept justerats? Kan vi få tillgång till ev TB/kravställning?
- Hur skiljer sig flygaskebetongen i detta projekt mot traditionella blandningar?

UTFÖRANDE

- Vilken påverkan har receptoptimeringarna haft på utförandet? Kostnader, tid, arbetsmoment etc.
- Har ni upplevt problem/svårigheter eller skador under

Entreprenör

VARFÖR

- Vem (dvs. vilken organisation) har initierat arbetet med
- I vilket skede har hållbarhetsfrågorna aktualiserats?
- Vad har varit syftet med användningen av flygaskebetong att med flygaska optimera både värmeutveckling och i
- Har arbetet föregåtts av någon/några förstudier?
- Har man följt resultaten från förstudien eller har man pga uppskalningen?
- Följer man konstruktionernas utveckling?

- Hur har receptjusteringarna påverkat projektet i stort?

RECEPT

- Hur skiljer sig er flygaskebetongen i detta projekt mot traditionella blandningar?

UTFÖRANDE

- Hur har det färskaste tillståndet påverkats, t.ex. gällande arbetbarhet, gjutbarhet, etc.?
- Hur har det hårdnade tillståndet påverkats, t.ex. gällande värmeutveckling, behov av kylning, etc.?
- Hur har det hårdnade tillståndet påverkats, t.ex. gällande hållfasthetsutveckling, ytbehandling, etc.?
- Hur har utförandet påverkats, t.ex. gällande armering, gjutfogar och gjutetapper?

Cement-/Betongtillverkare

VARFÖR

- Har arbetet föregåtts av någon/några förstudier? Vad har ingått i förstudien? Vem har initierat förstudien?
- Om ni varit med och utarbetat recept - vilka förprovnings har utförts?

RECEPT

- Hur skiljer sig flygaskebetongen i detta projekt mot traditionella blandningar?
- Vilka krav ställs (utöver de "normala")?

UTFÖRANDE

- Har ni gett /kan ni ge råd avseende utförandet när det gäller användningen av flygaskebetong?

Konsult

ANLÄGGNINGEN

- Hur hanteras/beskrivs krav i nämnda anläggningar? Funktionskrav eller specificerad materialsammansättning? Hur hanteras normer, standarder och AMA?

RECEPTJUSTERINGAR

- Hur skiljer sig flygaskebetongen i detta projekt mot traditionella blandningar?

UTFÖRANDE

- Har du varit inblandad i utförandedelarna? Om ja – hur?

BERÄKNINGAR

- Anser du dig ha tillgång till relevant data för din projektering och ev. beräkningar?
- Har inforandet av flygaskebetong, vid projektering, påverkat kravställningen gällande t.ex. hållfasthetsklass, vct etc?

Lilla Edet - Vattenfall



Foto: Vattenfall

Resultat Lilla Edet - Vattenfall

Huvudsyfte: Minska risken för temperatursprickor / värmeutveckling / kylbehov + Reducerad miljöpåverkan

Skrivbordsstudie (2018) + förstudie med förprovningar i Älvkarleby:

- Inverkan av tillsatsmaterial (flygaska, slagg, trass och silika)
- Inverkan av största stenstorlek D_{max}

Upphandling av entreprenör för samverkanentreprenad och betongleverantör + fler provning

- Utmaning: rätt mängd och fördelning av luft + ojämn kvalitet av flygaska

Provgjutningar

- Inledande pumptester (storskaligt) för data om värmeutvecklingen
- Yrkesarbetare samlar erfarenheter med betongen
- Töjningsmätningar (Chalmers monterade optofiber i parallell studie)
- Resultat uppmätt värmeutveckling för kalibrering sprickberäkningar (ConTeSt Pro)
- Betongkärnor från konstruktion för lufthaltsprovning



Foto: Vattenfall

Resultat Lilla Edet - Vattenfall

Recept efter justeringar

- D_{\max} 45 mm + 126 kg/m³ flygaska + 252 kg/m³ Anl.cement Brevik = ca 33 % FA
- Lufthalt: 4,5–6,5 %
- Vct-ekv 0,48
- Sättnått: 90-120 mm
- Täcksikt: 70 mm (vattenvägar) annars 50 mm

Konstruktionsdelar

- Grova konstruktionsdelar (utskovsdamm, bottenplatta, pelare)
- Tunnare konstruktionsdelar och trånga utrymmen har gjutits med traditionell betong och mindre D_{\max} (25 mm)

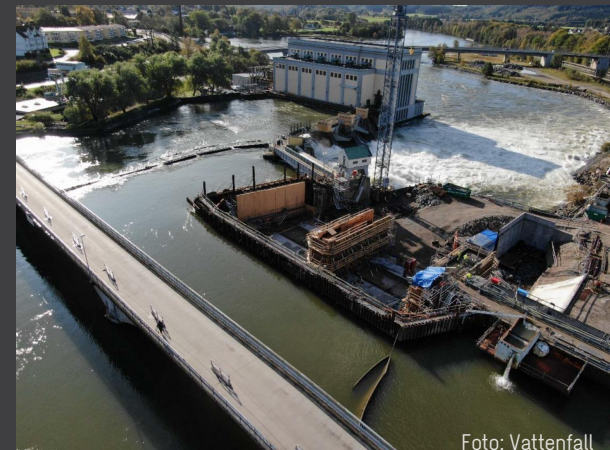


Foto: Vattenfall

Resultat Lilla Edet - Vattenfall

Erfarenheter

- + God arbetbarhet, gjutbarhet och reologi
- + Bättre arbetsmiljö (inget kylbehov)
- + Minskat CO₂ -avtryck (jämfört med traditionell betong)
- + Minskade arbets- och materialkostnader (inget kylbehov)
- +/- Hållfasthet efter 28 dygn uppnås inte (uppnås efter 34-35 d)
- Brädrivning upplevdes något svårare (mindre ytsläpp)
- Större mängd luftporbildare för att uppfylla luftkraven (4-6,5 %)

Avsteg från standarder/krav

- Krav på sprickrisknivå = 0,7 (kvoten mellan beräknad dragspänning och aktuell draghållfasthet)
- Vct-ekv = 0,48
- Hållfasthet kontrolleras vid 90 d istället för 28 d



Foto: Vattenfall

Forshuvudforsen - Fortum



Resultat Forshuvudforsen - Fortum

Huvudsyfte: Minskad temperaturutveckling / kylbehov / sprickrisk

Förstudier (två examensarbeten):

→ Tester med grövre ballast, flygaska och inblandning av is + fullskaletester med frostprovning + tryckhållfasthet

Förprovningar av betongleverantören (baserat på riktvärde för cementhalt + D_{\max} 45 mm):

- Värmeutveckling, hållfasthetsutveckling, lufthalt och frysprovning
 - Goda resultat för frysprovning (noll avskalning)
- Arbetbarhet testades i fabrik – gjutning av legoklossar
 - Betongen var något seg, fyllde inte ut formen, omslöt inte armeringen ordentligt
 - Sättnått korrigeras till: 180-200 mm
 - För önskad lufthalt krävdes 2-3 ggr högre dos luftporbildare än "vanligt" + längre blandningstid
 - Inga större satser än 2,5 kubik/sats gjöts



Resultat Forshuvudforsen - Fortum

Forshuvudforsen, projekt i två faser

1. Anläggningscement Slite + flygaska (från Turkiet via Slite):

- D_{\max} 45 mm + 120 kg/m³ flygaska + 240 kg/m³ Anl.cement = ca 33 % FA
- Lufthalt: 4-6 %
- Täcksikt: 70 mm (vattenvägar) annars 50 mm
- Vct-ekv 0,5

2. Anläggningscement FA + flygaska

- D_{\max} 45 mm + 70 kg/m³ flygaska + 280 kg/m³ Anl.cement FA = ca 32 % FA

Konstruktionsdelar

- Grova konstruktionsdelar (skibord, stora pelare, spiral)
- Trånga sektioner eller tunna gjutningar med traditionell betong med mindre D_{\max}

Kontrollprovningar

- Tryckhållfasthet (kuber från fabriken)
- Lufthalt (färsk betong vid leverans)
- Lufthalt (borrkärnor av konstruktionen) är planerad
- 12• Sprickkartering (observerat få sprickor)



Foto: Fortum

Resultat Forshuvudforsen - Fortum

Erfarenheter

- + Bra arbetbarhet/ gjutbarhet + bättre arbetsmiljö (inget kylbehov)
- + "Täta och fina konstruktioner" med få skador (sprickor)
- + Stora gjutetapper
- + Minskat arbetskostnad + material (inget kylbehov)
- +/- Formarna behöver vattnas under sommartiden för bättre formsläpp
- +/- Hållfasthet efter 28 d uppnås inte, men efter 34-35 d
- +/- Värmekablar har gjutits in, men behövdes inte
- Dyrare bindemedel + dyrare hantering av större ballast

Avsteg från standarder/krav

- $V_{ct-ekv} = 0,5$
- Hållfasthet kontrolleras vid 90 d istället för 28 d



Foto: Fortum

Rengård – Skellefteå Kraft



Foto: NCC

Resultat Rengård - Skellefteå Kraft

Huvudsyfte: Minskat kylbehov / förbättrad arbetsmiljö, minskad sprickbildning / värmeutveckling

Projekt i samverkan viktigt (Entreprenörens erfarenheter från tidigare projekt)

Förstudie: Framtagande av recept via erfarenheter från Forshuvudforsen och Lilla Edet

Första skarpa gjutning: kranfundament

- Tryckhållfasthetsprovning
- Temperaturutveckling och omgivningstemperatur mättes
- Resultat + data från norsk forskning (Sintef, Statens Vegvesen) för kalibrering av sprickberäkningar (ConTeSt Pro)



Resultat Rengård - Skellefteå Kraft

Recept efter justeringar: Anläggningscement FA + flygaska

- D_{\max} 45 mm; ca 32 % FA
- Lufthalt: ca 3-3,5 %
- Vct-ekv 0,5
- Sättningsmått: 160-210 mm

Konstruktionsdelar

- Utbyggnad kraftstation (inkl. intag med glidformsgjutning)

Kontrollprovning

- Okulär kontroll → få sprickor av mindre betydelse
- Tryckhållfasthet
- Lufthalt



Resultat Rengård - Skellefteå Kraft

Erfarenheter

- + Större gjutetapper + färre gjutfogar + färre sårytor
- + Bättre arbetsmiljö
- +/- Hållfasthetskrav vid 28 d uppfylls inte, men vid 56 d / 90 d
- +/- Värmekablar har gjutits in, men användes inte
- Betongen behövde slipas pga. träludd från brädformar → försvann vid övergång till plywood

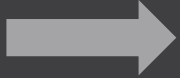
Avsteg från standarder/krav

- Tryckhållfasthet vid 28 d → övergått till riktvärde vid 56 d och 90 d
- Frostprovning har ersatt kravställd lufthalt



Slutsatser

Åtgärder för att minska värmeutvecklingen

- Tillsats av kiselrik flygaska: ca 33%
 - Grövre ballast (D_{\max} 45-50 mm)
- 
- Reducerad mängd PC-klinker

Likheter och skillnader mellan anläggningarna

- Samma huvudmotiv: minskad värmeutveckling (förbättrad prestanda + arbetsmiljö för samtliga)
- Konstruktionsdelar i vattenvägar (LE+FF) – Kraftstation med glidformsgjutning (R)
- Liknande betongrecept – förutom lufthalt (R) och sättmått (olika för alla)
- Utmaningar att få till lufthalt, tryckhållfasthet, arbetbarhet
- Storskaliga provgjutningar gjordes i samtliga projekt

Positiva aspekter

- Förbättrad arbetsmiljö (minskat kylbehov)
- Minskade material-/personalkostnader (totalt)
- Reducerad klimatpåverkan
- Mindre sprickor/skador
- Bättre arbetbarhet

Negativa aspekter

- Ökade kostnader för tillsatsmaterial & ballasthantering
- Tillgång till flygaska varierar + variation kvalitet
- Tillgång till Anläggningscement varierar
- Data saknas för vissa beräkningar (sprickrisk, hållfasthet, mognadsgrad)
- RIDAS riktvärde avseende betongens tunghet behöver tas hänsyn till

Frågor?

