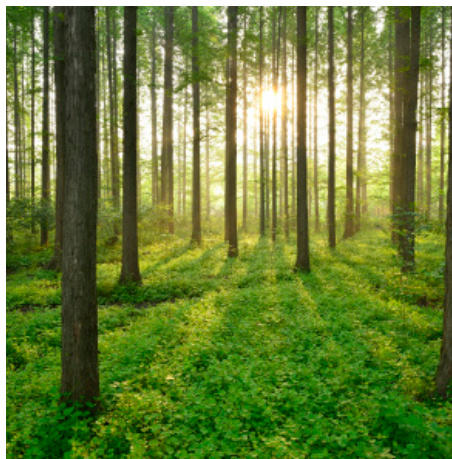
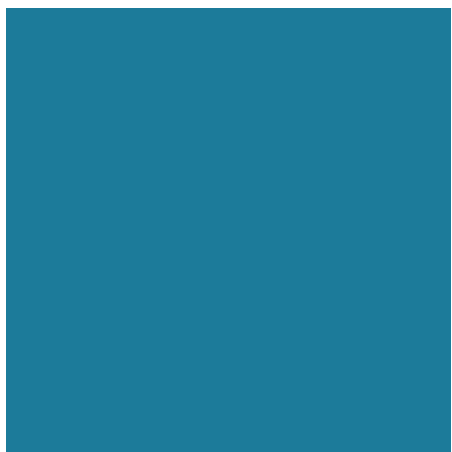


ERFARENHETER ANLÄGGNINGSCEMENT FA

RAPPORT 2023:963



BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Erfarenheter Anläggningscement FA

Energiforsk projekt VKU14632

KARIN APPELQUIST, BIRGIT FREDRICH
MANOUCHEHR HASSANZADEH

ISBN 978-91-7673-963 | © Energiforsk november 2023

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Betong är ett material med goda egenskaper för byggnation av infrastruktur, vilket gör det användbart för vattenkraftkonstruktioner. Nya krav på sänkta utsläpp av koldioxid vid produktion av cement för betong har lett till iblandning av flygaska, kallat för Anläggningscement FA. Utfasning av traditionell anläggningscement i tillverkning av klimatförbättrad betong kan därmed komma med erfarenhetsluckor för lokala entreprenörer, vilket i förlängningen kan påverka betongkvalitén.

Detta projekt har genom enkäter och intervjuer samlat in praktiska erfarenheter från olika industriroller med koppling till gjutning av betong. Områden som bl.a. förprovning, betongens lufthalt, glättning samt flygaskans värmeutveckling berördes för att få en samlad bild av tillverkning och gjutning av Anläggningscement FA. Gemensam åsikt inom industrin är att Anläggningscement FA är likvärdig traditionell anläggningscement.

Projektet har genomförts inom Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft, etapp 2022-2024. Projektutförare har varit Sweco Sverige och projektledare för projektet har varit Karin Appelquist. Programmets och projektets intressenter är Fortum Sverige, Holmen Energi, Jämtkraft, Karlstads Energi, Skellefteå Kraft, Statkraft Sverige, Sydkraft/Uniper, Tekniska Verken, Umeå Energi samt Vattenfall Vattenkraft.

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Praktiska erfarenheter av betonggjutningar med Anläggningscement FA har samlats in genom en webbenkät samt intervjuer med utvalda respondenter. Frågor har varit utformade med olika frågeställningar mot fyra svarsgrupper: entreprenörer, betongtillverkare, beställare och konsulter. Projektets syfte, att sammanställa erfarenheter av betong med Anläggningscement FA, visar att cementet fungerar i princip som traditionellt anläggningscement och att samtliga svarsgrupper generellt har en positiv inställning till cementet.

I webbenkäten svarar huvuddelen av respondenterna att tillverkning och gjutning av betong baserad på Anläggningscement FA fungerar som tidigare och att inga större förändringar krävts – undantaget entreprenörer som även i enkäten beskriver vissa förändringar. Vid intervjuer framkommer dock att fler justeringar än de som framkommit i enkäten görs, även om dessa inte upplevs som särskilt krävande eller belastande. Bland annat framkommer att betongleverantörer upplever att en mer omfattande förprovning krävs för att säkerställa en jämn och bra betongkvalitet. De uppger även att en högre andel luftporbildare behövs för att uppfylla krav gällande betongens lufthalt. Entreprenörer upplever generellt mer positiva aspekter med Anläggningscement FA, bland annat en bättre pumpbarhet och bättre arbetbarhet. Däremot uppger några entreprenörer att det tar något längre tid innan glättning kan påbörjas (vilket kan upplevas som både positivt och negativt). Beställare ser det framför allt som positivt med den minskade klimatpåverkan genom lägre CO₂-utsläpp och upplever generellt endast mindre nackdelar med cementet. Tillfrågade beställare inom kategorin Vattenkraft säger dock att det varit önskvärt att inte finmala Portlandcement-klinkern i Anläggningscement FA, utan att man borde ha utnyttjat flygaskans egenskaper för att minska värmeutvecklingen i grova konstruktioner. Syftet med framtagandet av Anläggningscement FA har dock varit att ersätta Heidelberg Materials Cement Sveriges (tidigare Cementas) traditionella anläggningscement och att ta fram ett cement med likvärdiga egenskaper som traditionella anläggningscement.

Konsulter anser sig inte ha så mycket erfarenhet av Anläggningscement FA och kravställer som tidigare, men uppmanas ge utrymme för andra cement än CEM I om man ska möjliggöra användningen av klimatförbättrad betong på fler nivåer, utan avsteg från kravställningar i förfrågningsunderlag. Detta kan härledas till att den reviderade betongstandarden SS 137003:2021, som nyligen öppnat upp för större möjligheter att använda fler cementtyper med större mängd flygaska, slagg och silikastoft endast var ett drygt år gammal när undersökningen genomfördes.

Nyckelord

Anläggningscement, Betong, Cement, FA, Flygaska, Klimatförbättrad, Tillsatsmaterial, Vattenkraft

Summary

Practical experiences of concrete castings with Anläggningscement FA have been collected through a web survey and interviews with selected respondents. Questions have been designed for four different response groups: contractors, concrete suppliers, clients and consultants. The results indicate that the cement succeeds as intended and that all response groups generally have a positive attitude towards the cement.

In the web survey, the majority of the respondents answered that the production and casting of concrete with Anläggningscement FA is performed in the same way as with traditional construction cement (Anläggningscement) and that no major changes are required - with the exception for contractors who describe some minor changes in the web survey. During interviews, however, it appears that more adjustments than those revealed in the web survey are made, even though they are not described as particularly demanding or burdensome. Concrete suppliers describe a more extensive pre-testing to ensure a constant and good concrete quality. They also conclude that a higher percentage of air entraining agents are needed to meet the requirements regarding air content in concrete. Contractors in general experience several positive aspects with Anläggningscement FA, including better pumpability and better workability. However, some contractors state that it takes somewhat longer before smoothing can begin (which can be experienced as something positive or negative). Clients are mainly positive towards the reduced climate impact through lower CO₂ emissions and only describe minor disadvantages with the cement. Clients from the Hydropower industry state they would have preferred if the Portland cement clinker in the cement was not as finely grinded as it is today, to better utilize the positive properties of the fly ash to reduce the heat development in massive structures. However, the purpose when developing Anläggningscement FA was to replace Heidelberg Materials Cement Sweden's (former Cements's) traditional Anläggningscement (a CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Portland cement, adapted for use in medium to coarse structures) and to produce an equivalent to this cement. Consultants in general claim they do not have much experience with Anläggningscement FA and design technical specifications in the same way as they always have. The reason for doing so is probably because the revised application standard for concrete (SS 137003:2021) – which opened up for the usage of cement types with higher amounts of fly ash, slag and silica fume – was merely one year old when the study was undertaken. Hence, the consultants are requested to recognize for cements other than CEM I, to enable the use of climate-improved concrete, without deviating from the requirements in tender documents.

Key words

Cement, Climate-improved, Concrete, Fly ash, Hydropower

Innehåll

1	Inledning	8
1.1	Klimatförbättrad betong	8
1.2	Anläggningscement FA	9
1.3	Projektets Bakgrund & syfte	9
2	Litteraturstudie / Omvärldsanalys	11
2.1	Anläggningscement FA allmänt	11
2.2	Egenskaper	11
2.2.1	Färska till unga egenskaper	12
2.2.2	Hårdnade egenskaper	14
2.2.3	Beständighetsaspekter	16
3	Praktiska erfarenheter	19
3.1	Metod	19
3.1.1	Enkät	19
3.1.2	Intervjuer	19
3.1.3	Avgränsningar/förtydliganden	20
3.2	Resultat	20
3.2.1	Enkät	20
3.2.2	Intervjuer	29
3.3	Tolkning av resultat	35
3.3.1	Entreprenör	36
3.3.2	Cement-/betongtillverkare	36
3.3.3	Beställare/byggherre/beställarstöd	37
3.3.4	Konsult	38
3.3.5	Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet	38
3.4	övergripande slutsatser	40
4	Referenslista	41
BILAGA 1: EGENSKAPER HOS ANLÄGGNINGSCEMENT FA OCH TRADITIONELLA ANLÄGGNINGSCEMENT ENLIGT CEMENTAS PRODUKTDATABLAD 2023		44
BILAGA 2: WEBBENKÄT, FRÅGOR OCH SAMMANSTÄLLNING AV SVAR		46

1 Inledning

Betong är ett robust material som möjliggör byggande av bostäder, infrastruktur, avloppshantering såväl som vatten- och energiförsörjning.

Betong är hållbart i den mening att det är ett cirkulärt material med lång livslängd och mycket goda egenskaper gällande fukt, brand och ljudisolering. Det sparar energi genom att lagra värme och kyla i konstruktionen och är flexibelt gällande anpassningar och återanvändning. Betong är dessutom ett kostnadseffektivt material med litet drift- och underhållsbehov, vilket bidrar till en låg klimatpåverkan under driftskedet. I driftskedet tar betongen dessutom upp koldioxid från omgivande luft genom karbonatisering, en kemisk process som sker naturligt, under betongens hela livslängd.

Däremot ger tillverkningen av betong en betydande klimatpåverkan eftersom tillverkningen av cement, vilket är det främsta bindemedlet i betong, ger stora koldioxidutsläpp.

1.1 KLIMATFÖRBÄTTRAD BETONG

Ca 90% av betongens koldioxidutsläpp kommer från cementtillverkningen, vilket innebär att det är där man har störst möjlighet att påverka betongens koldioxidutsläpp.

2017 antog Sverige *Det klimatpolitiska ramverket* med ett långsiktigt klimatmål om nettonollutsläpp av växthusgaser senast 2045 (Regeringskansliet, 2017). Inom ramen för Fossilfritt Sverige (2018) och i samarbete med Betonginitiativet tog betongbranschen därför fram en färdplan (*Betonginitiativet – Färdplan för klimatneutral betong*), i vilken man beskrev sin vision att all betong som används i Sverige ska vara klimatneutral år 2045 och att klimatneutral betong ska finnas på marknaden år 2030. I oktober 2023 konstateras att klimatförbättrad betong med kraftigt minskad klimatpåverkan nu är tillgänglig på marknaden och färdplanen uppgraderades därför med målet att klimatneutral betong ska erbjudas till marknaden redan 2030. Detta innebär förstås en stor omställning och stora insatser av såväl byggherrar, betongproducenter, teknik konsulter och entreprenörer.

Åtgärder som Svensk Betong (2022) identifierat som de viktigaste för att ge störst effekt redan nu är

- Optimerade/resurseffektiva konstruktioner – att i tidigt skede optimera konstruktionen genom att välja en resurssnål konstruktionslösning
- Rätt betong(kvalitet) på rätt plats – att inte använda en högre betongkvalitet än konstruktionens olika delar kräver
- Ökad användning av klimatförbättrad betong – där storleken på klimatförbättringen ökar med minskad andel Portlandcement, vilket bl.a. görs genom att ersätta cementet med alternativa bindemedel.

I Sverige har betongbranschen (Svensk betong, 2022) definierat klimatförbättrad betong som betong med minst 10 % reducerade koldioxidutsläpp, jämfört med en referensbetong med samma funktion. Betongens klimatpåverkan anges också i

absoluta värden och i nivåer, där nivåerna motsvarar en reduktion med cirka 10, 20, 30 samt 40 procent eller mer, jämfört med en så kallad branschreferens/ "traditionell betong", där

- **Nivå 1** - motsvarar en klimatreduktion av minst 10 %,
- **Nivå 2** - motsvarar en klimatreduktion av minst 20 %,
- **Nivå 3** - motsvarar en klimatreduktion av minst 30 % och
- **Nivå 4** - motsvarar en klimatreduktion av minst 40 %.

Klimatförbättrad betong kan enligt tillverkarna erhållas bl.a. genom:

- Optimering av betongrecept och en reducering av cementhalten i betongen och/eller
- Ersättning av en del av cementen med alternativa bindemedel.

Fabriksbetong- eller prefabtillverkaren kan välja mellan att använda ett cement där tillsatsmaterialen redan är inblandade eller att tillsätta dem vid blandningen av betongen. Vilka tillsatsmaterial som är godkända för användning i betong styrs utifrån exponeringsklass och regleras i den nationella tillämpningsstandarden för betong (SS 137003:2021), liksom den tillåtna mängden alternativa bindemedel i betong. I denna utgåva tillåts silikastoft, flygaska och mald granulerad masugnsslagg (GGBS) som bindemedel i betong. Den flygaska som får användas för tillverkning av cement och betong regleras i standarden SS-EN 450-1:2012, den GGBS som får användas regleras i standarden SS-EN 15167 och den silikastoft som får användas regleras i SS-EN 13263-1.

1.2 ANLÄGGNINGSCEMENT FA

Anläggningscement FA är ett av de certifierade cement som används i klimatzförbättrad betong. Anläggningscement FA uppfyller kraven för ett Portlandflygaskecement enligt SS-EN 197-1 och även de krav som anges för cement i AMA Anläggning 13 och i senare versioner. Enligt tillverkaren, Heidelberg Materials Cement, har portlandcementklinkerandelen sänkts till 82 procent genom ersättning med flygaska (14 %) och kalksten (4 %). Preliminära LCA-beräkningar visar att koldioxidutsläppen minskar med upp till 20 procent per ton tillverkat cement jämfört med traditionella anläggningscement. I dessa beräkningar ingår även utsläpp i samband med transport av flygaska.

1.3 PROJEKTETS BAKGRUND & SYFTE

Bakgrunden till projektet är att Energiforsks intressenter ser en risk med den pågående utfasningen av traditionellt anläggningscement till förmån för klimatzförbättrad betong; att traditionellt anläggningscement inte längre kommer finnas tillgängligt vid många av landets betongstationer och att många gjutningar vid vattenkraftens anläggningar därför kommer behöva utföras med betong baserad på Anläggningscement FA – ett cement där erfarenhet kanske saknas hos lokala entreprenörer och att kvalitén på gjutningarna därför inte uppfyller förväntningar/ställda krav.

Syftet med projektet är därför att samla in och beskriva praktiska erfarenheter av gjutning med betong baserad på Anläggningscement FA och att tillgängliggöra dessa erfarenheter för planering av kommande betongarbeten.

I enkät såsom intervjuer har respondenterna delat erfarenheter både gällande (1) betong med enbart Anläggningscement FA och (2) betong där Anläggningscement FA utgör en del av bindemedlet. För att särskilja dessa erfarenheter beskrivs dessa i särskilda avsnitt, men rapportens huvudsyfte är **beskrivning av erfarenheter av betong där bindemedel endast utgörs av Anläggningscement FA.**

Det bör även noteras att svar i enkät och intervjuer endast reflekterar respondenternas erfarenheter och att dessa inte verifierats genom mätning, provning eller vedertagen uppfattning.

2 Litteraturstudie / Omvärldsanalys

2.1 ANLÄGGNINGSCEMENT FA ALLMÄNT

Anläggningscement FA är ett portlandflygaskecement av typ CEM II/A-V 42,5 N MH/LA/NSR som tillverkas i Slite. Anläggningscement FA baseras på samma typ av lågalkalisk klinker med lågt innehåll av kalciumaluminater (C3A) som i traditionella anläggningscement. Exempel på traditionella anläggningscement är Brevik och Slite, vilka är portlandcement av typ CEM I 42,5 N SR3 MH/LA. Både traditionella anläggningscement och Anläggningscement FA är anpassade för att användas i medelgrova till grova konstruktioner med krav på cement med moderat värmeutveckling. Cementen (traditionella anläggningscement och Anläggningscement FA) kan användas som de är eller tillsammans med tillsatsmaterial såsom flygaska, slagg och silikastoft (se Tabell 1 samt Bilaga 1, Heidelberg Materials Cement 2023). Enligt tillverkaren uppfyller Anläggningscement FA aktuella krav (se avsnitt 1.2) och ger betong med goda gjutegenskaper, god beständighet och bra motstånd mot salt- och frostangrepp. I Anläggningscement FA mals PC-klinkern finare än i traditionella anläggningscement, för att kompensera för flygaskans lägre reaktivitet och därigenom behålla samma hållfasthetsutveckling. Flygaskan tillsätts efter malning och har samma egenskaper som flygaska som används som tillsatsmaterial i betong enligt SS-EN 197-1:2011 och SS-EN 450-1: 2012.

Tabell 1:

Main types	Notation of the 27 products (types of common cement)		Composition (percentage by mass ^a)										Minor additional constituents
			Main constituents										
			Clinker	Blast-furnace slag	Silica fume	Pozzolana		Fly ash		Burnt shale	Limestone		
						natural	natural calcined	siliceous	calcareous		L	LL	
CEM I	Portland cement	CEM I	K	S	P ^b	P	Q	V	W	T	L	LL	0-5
CEM II	Portland-fly ash cement	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5

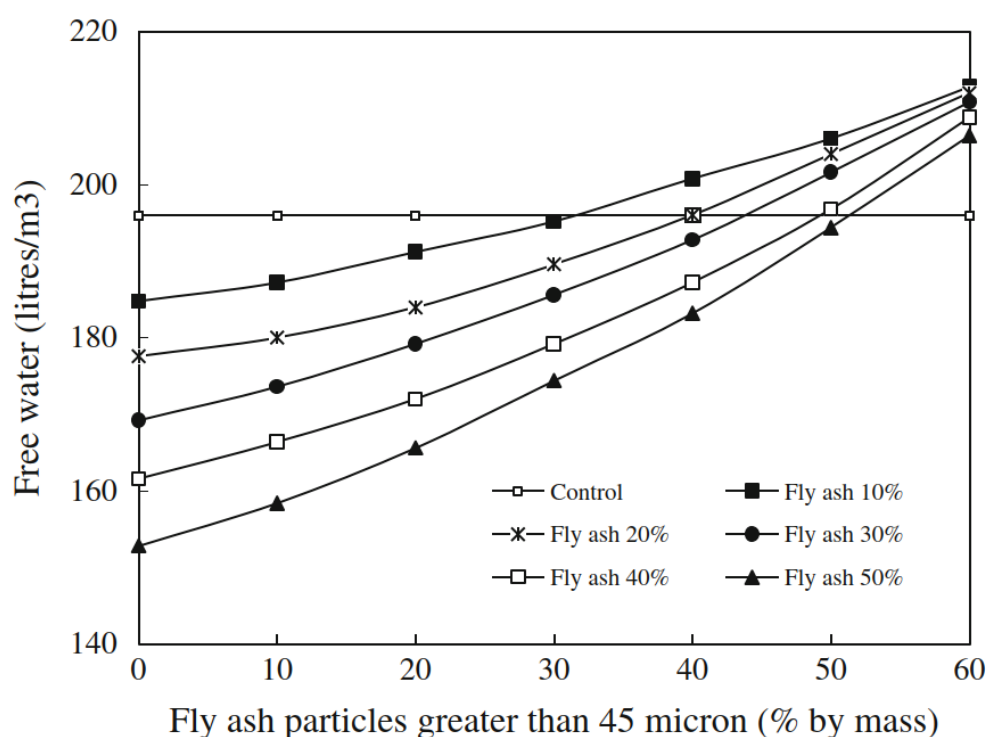
Tabellen visar tillåten procentandel ingående beståndsdelar för olika cementtyper, enligt SS-EN 197-1: 2011.

2.2 EGENSKAPER

Tillgången till litteratur som presenterar praktiska erfarenheter av Anläggningscement FA är begränsad, både gällande resultat från labb-, fälttester eller som generellt handlar om betong som innehåller (enbart) Anläggningscement FA. Egenskaperna som sammanfattas nedan inkluderar därför traditionell betong med inblandning av flygaska.

2.2.1 Färska till unga egenskaper

Gjutbarhet: Flygaskepartiklar är mindre i storleken än cement och har en sfärisk kornform med en glasig yta som bidrar till betongens arbetbarhet på grund av den så kallade kullagereffekten (flygaska agerar som plasticerare, Newman et al. 2003). Volymen och därmed vikten av cementpasta ökar eftersom flygaska har en lägre skrymdensitet än cement, vilket innebär att vattenbehovet minskar med 5–15 % jämfört med motsvarande betong och konsistens utan flygaska. Vattenbehovet beror dock på flygaskepartiklarnas storlek; ju finare partiklar desto större vattenreducerande effekt se Figur 1 (Newman 2003). Den på så sätt förbättrade arbetbarheten samt stabiliteten förbättrar betongens pumpbarhet, minskar risken för vattenseparation, blödning och förekomst av gjutskarvar och kan därmed ge en ytfinish av bättre kvalitet (Löfgren 2017, Newman 2003). Mängden restkol kan dock ha motsatt effekt på arbetbarheten och kan reducera effekten av tillsatsmedel som vattenreducerare, luftporbildare och flyttillsatsmaterial (Neville 2011).



Figur 1

Graf från Siddique (2011) som visar vattenbehovets beroende av flygaskepartiklarnas storlek och mängd för att uppnå samma arbetbarhet, vid en given materialsammansättning.

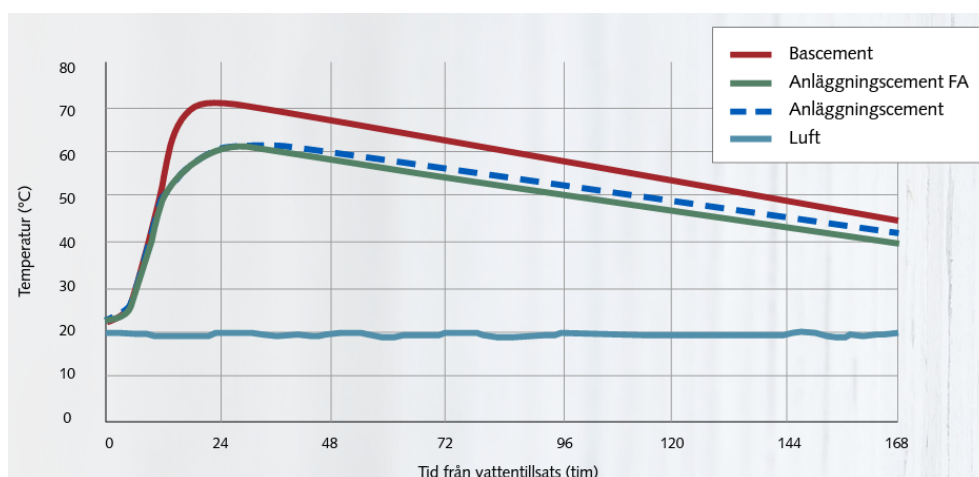
Tillstyvnadstid: Flygaskebetong (med flygaska av klass F = låg kalcium-halt) har en retarderande effekt - speciellt vid låga temperaturer- så att tillstyvnadstiden ökar.

Härdning: Betong med flygaska har en längre sättningstid/bindetid än motsvarande betong utan flygaska och är därmed bearbetbar under en längre tid men samtidigt känsligare mot efterbehandling. För att erhålla samma sprickfrihet

och täthet är det extra viktigt att härdningen som sker under längre tid blir tillräckligt bra. Betong med flygaska har mindre blödning vilket underlättar ytbehandlingen men det ökar också risken för plastiska krympsprickor vilket ger ett behov av ytterligare förbättrad härdningsinsats. (Nordström et al. 2018). Anläggningscement FA har dock en likvärdig bindetid som traditionellt anläggningscement med ett riktvärde på cirka 170 min, enligt Heidelberg Materials Cements produktdatablad från 2023. Den likvärdiga bindetiden uppnås genom att Portlandcement-klinkern i Anläggningscement FA mals något finare än i traditionellt anläggningscement.

Värmeutveckling: Anläggningscement FA beskrivs ha en moderat värmeutveckling. I Heidelberg Materials Cements produktdatablad för Anläggningscement FA framgår att värmeutvecklingen är samma vid 1 dygn (170 kJ/kg), 3 dygn (240 kJ/kg) och 7 dygn (270 kJ/kg) jämfört med de traditionella anläggningscementen Brevik och Slite (Figur 2).

Det mesta av värmeutvecklingen sker därmed under de inledande tre dygnen. På grund av den långsammare reaktionshastigheten samt en minskad mängd cementklinker är värmeutvecklingen generellt lägre och begränsad i betong med flygaska, vilket kan vara till fördel vid gjutning av grova konstruktioner. En långsammare reaktion bidrar också till en högre sluthållfasthet samt minskad sprickrisk (Heinz et al. 2018). Värmeutvecklingen beror på många faktorer så som betongens vatteninnehåll, temperatur, kemiska sammansättning samt fysikaliska egenskaper; däremot hittades det inga samstämmiga svar i studerad litteratur om hur flygaska påverkar värmeutvecklingen i detalj. Anläggningscement FA visar dock samma värmeutveckling som traditionellt anläggningscement enligt Heidelberg Materials Cements produktdatablad, se Figur 2.



Figur 2. Bilden visar värmeutvecklingen av olika cementsorter. Bildkälla: Heidelberg Materials Cement, 2023.

Hållfasthetsutveckling: Betong med flygaska har generellt en långsammare hållfasthetsutveckling så att betongens tryckhållfasthet i tidig ålder är lägre jämfört med betong utan flygaska. Däremot kan betong med flygaska (20–30 % flygaska)

nå en högre sluthållfasthet och därmed överstiga tryckhållfastheten av betong utan flygaska (med i övrigt samma egenskaper, Heinz 2018). Hållfasthetsutvecklingen beror bland annat på den kemiska sammansättningen, storleken och flygaskans reaktivitet, mängden flygaska som ersätter cement, cementtyp och temperaturen (Siddique et al. 2011). Enligt tillverkaren (Heidelberg Materials Cement 2023) är cementklinkern i Anläggningscement FA mer finmald än i de traditionella anläggningscementen varför Anläggningscement FA har en jämförbar hållfasthetsutveckling som traditionella anläggningscement. Även sprickrisk för Anläggningscement FA är samma som för traditionella anläggningscement.

Formrivning: På grund av den långsammare reaktionen vid gjutning av betong med flygaska är temperaturen – speciellt i kallt klimat – en viktig faktor. Temperaturen har en inverkan på den tid som krävs för betongen att uppnå den avsedda mognadsgraden som ligger till grund för att bestämma den uppnådda tryckhållfastheten tillsammans med tendenskurvorna. Betong med flygaska som generellt reagerar långsammare tenderar därför att ha en lägre hållfasthet än betong utan flygaska (Nordström 2018). Avformningstiden ökar därmed vid låga omgivningstemperaturer och speciellt i tunna konstruktioner jämfört med betong utan flygaska (Newman et al. 2003).

2.2.2 Hårdnade egenskaper

Mekaniska egenskaper: Vid ersättning av cement med flygaska utvecklas draghållfastheten långsammare, vilket ökar risken för tidig sprickbildning. Däremot utvecklas E-modulen långsammare, vilket är till fördel eftersom betongen är eftergivlig mot uppbyggnad av spänningar (Nordström 2018).

Krympning: Studerad litteratur visar att krympning är mindre i betong med flygaska på grund av lägre vattenhalter och långsammare reaktioner. Värdena uppmättes efter 28d, 3 månader och upp till ett år (Wesche 1991).

Krypning: Flygaskans påverkan på krypning är begränsad och beror framför allt på betongens hållfasthetsutveckling. Lothia et al. (1976) visar resultat att krypningen ökar något, men kan försummas för betong innehållande $\leq 15\%$ flygaska. Däremot ökar krypningen för betong innehållande $> 15\%$ flygaska.

Färg: Färgen avviker något från andra traditionella anläggningscement, med en ljushet på $22 \pm 1\%$. I jämförelse med exempelvis Anläggningscement Slite (ljushet $23 \pm 1\%$) är färgen något mörkare (om än knappt synbar, se Figur 3) och i jämförelse med Anläggningscement Brevik (ljushet $17 \pm 1\%$) är den ljusare (Heidelberg Materials Cement, 2023).



Figur 3. Foto av block gjutna med Anläggningscement FA (undre blocket) respektive Anläggningscement Slite (övre blocket), i vått (vänster) respektive torrt (höger) tillstånd, © Heidelberg Materials Cement.

2.2.3 Beständighetsaspekter

Anläggningscement FA tillhör samma sulfatresistensklass och har likvärdigt C3A-klinker- och alkalivärde (Na_2O -ekv) som traditionellt anläggningscement enligt Heidelberg Materials Cements produktdatablad. Däremot anses Anläggningscement FA ha potential för att ha ett bättre motstånd mot sulfatangrepp, kloridinträngning och alkalisilikareaktioner pga. cementets täthet och den minskade jontransporten som därav bör ske. Det saknas dock erfarenheter och data av långtidsexponering som bekräftar nämnda förbättrade motstånd. Cementpastans kemiska egenskaper vid inblandning av flygaska är också annorlunda jämfört med motsvarande betong utan flygaska.. PH-värdet i betongen är sänkt på grund av en mindre mängd fri kalciumhydroxid, alkalier binds i större omfattning och det finns en högre andel kisel. Dessa egenskaper kan påverka betongens beständighet.

PH-värde: Vanlig betong (om inte urlakad) har efter lång tid ett pH-värde på ca. 12,5. Det hittades inga tydliga svar i litteraturen (i nuläget) vilket pH-värde som kan förväntas för flygaskebetong efter långtidsexponering.

Urlakning: Risken för urlakning och erosion i skvalpzonen och efterföljande frostangrepp minskar på grund av den låga vattenlösliga kalciumhydroxidmängden i cementpastan. En fältprovning som utfördes av RISE visade att ingen urlakning skett av kalcium efter 4–5 års exponering vid Rv40 (miljö med tölsalter), men däremot tecken på urlakning av aluminium och svavel (Helsing 2020).

Flera studier visar att betong med flygaska bättre kan motstå kolsyraangrepp som förekommer när betongen är utsatt för mjukt, syrligt vatten (berg- eller hedlandskap) eller smältvatten (Wesche 1991). Det förbättrade motståndet förutsätter dock en nedsatt permeabilitet och en sprickfri yta.

Alkalisilikareaktioner (ASR): Risken för ASR anses vara lägre i flygaskecement på grund av att koncentrationen lösta alkalier i cementpastans porlösning reduceras med ökad mängd flygaska (Thomas 2011). Cementpastan blir dessutom tätare på grund av att en större mängd kalciumsilikathydrat bildas, vilket leder till en långsammare jontransport samt att motståndet mot ASR ökar (Heinz 2018). Appelquist et al. (2017) visade i utvecklingsfasen av Anläggningscement FA att cementet (som då gick under benämningen "Projektcement" och som i Appelquist et al., 2017 benämns "CEM II A-V LA") både med RILEM AAR-3 (se Figur 4) och AAR-4.

En kontrovers kring flygaskans dämpande effekt på ASR härrör ur det faktum att flygaskan innehåller en högre mängd alkalier än traditionella portlandcement. Hobbs (2002) påstår exempelvis att risken för ASR kan öka i cementtyper där mindre än 20% av cementet har ersatts med flygaska, på grund av att ytterligare

alkalier tillförs med flygaska i kombination med en ofullständig förbrukning av kalciumhydroxid. Huruvida alkalierna faktiskt är tillgängliga för ASR måste dock beaktas och då en stor del av den totala alkalihalten är bunden i flygaskan kommer endast en mindre del lösa sig i porvattnet och bidra till den alkalinitet som påverkar den reaktiva ballasten. Den totala alkalihalten kan därför vara något högre när flygaska (eller andra alternativa bindemedel) ingår i bindemedlet än om det är fråga om ett rent portlandcement – utan större risk för ASR. Detta hanteras på olika sätt i olika internationella standarder/vägledningsrapporter (samtliga alkalier; en del av alkalierna; endast vattenlösliga alkalier; eller inget tillskott av alkalier beaktas). I Betongrapport nr 18 (2020) föreskrivs att "Vid bestämning av $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$ i betongen får halten $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ i flygaska, mald granulerad masugnsslagg och silikastoft som uppfyller kraven för användning i betong enligt respektive EN-standard sättas till 0". Här har man således bedömt att tillskottet alkalier från dessa tillsatsmaterial inte har en negativ inverkan på risken för ASR, under förutsättning att exempelvis flygaskan uppfyller krav i SS-EN 450-1:2012 (Flygaska för betong), vilket i praktiken innebär att alkalihalten ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv}}$) inte får överstiga 5%. Man bör även känna till att risken för skadlig ASR avtar med minskat kalciuminnehåll (CaO) i flygaskan (Shehata & Thomas 2002; Thomas 2011), varför endast flygaska med $\text{CaO} < 10\%$ får användas (SS-EN 450-1:2012).

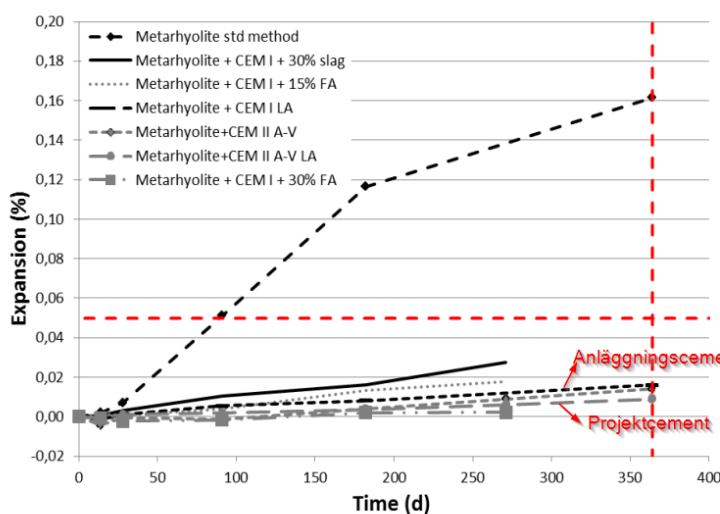


Fig. 2. Results from RILEM AAR-3 with highly reactive metarhyolite.

Figur 4. Grafen visar provresultat från RILEM AAR-3, med samma ballast men olika cementtyper och tillsatsmaterial (Appelquist et al. 2017). "CEM I LA" motsvarar ett traditionellt anläggningscement och "CEM II A-V LA" Anläggningscement FA (vilket vid denna tid benämndes Projektcement).

Armeringskorrosion: Risken för armeringskorrosion ökar på grund av ett lägre utgångs-pH-värde i betongen, samt på grund av den låga kalciumhydroxidmängden som betyder att det finns mindre karbonatiserbart material. Sänkningen av pH värdet i betongen genom karbonatisering uppstår därmed snabbare. Härdningsinsatsen efter gjutning för en tätare struktur samt lågt vct/vbt är därmed viktigt för att öka motstånd mot karbonatisering (Nordström 2018).

Sulfatangrepp: Risken för kalciumsulfatangrepp som är den vanliga typen av sulfatangrepp minskar på grund av den låga C3A och kalciumhydroxid-halten som behövs för att bilda gips och ettringit, vilka är de mineral som anses orsaka expansionen. Betong med flygaska uppvisar också en mindre porstorlek så att permeabiliteten eller risken för (sulfat-) jontransport sänks. Låga halter C3A och kalciumhydroxid motverkar dock inte risken för magnesiumsulfatangrepp som är mycket aggressivare. Magnesiumsulfat reagerar inte med kalciumhydroxid eller C3A, men förbrukar kalciumsilikathydrat direkt istället (Snellings et al. 2012). Även risken för thaumasitangrepp anses opåverkad med låga halter C3A och kalciumhydroxid, eftersom thaumasit förbrukar kalciumsilikahydrat direkt och provoceras fram av karbonathaltiga material så som ballastpartiklar av kalksten och/eller kalkfiller. Mulenga et al. (2003) visade att thaumasit bildades i alla sulfatresistenta cement med flygaska där innehållet av flygaska varierade mellan 0–50 % (Mulenga et al. 2003). Härdningsinsatsen efter gjutning för en tätare struktur samt lågt vct/vbt är därmed extra viktigt för att öka motståndet mot jontransport (sulfatangrepp).

Frostbeständighet: Betongens frostbeständighet styrs av luftporsystemets kvalitet (Newman 2018). Enligt litteraturen behövs en större mängd luftporbildare (cirka 6 % mer) för att erhålla ett likvärdigt resultat jämfört med betong utan flygaska (Siddique 2008). Det ökade behovet av luftporbildare kan kopplas till flygaskepartiklarnas stora specifika yta samt volymen flygaska som ersätter cementet eftersom flygaskepartiklar är mindre i storlek än cementet. Men framförallt påverkas luftporsystemet av mängden restkol, varför behovet av mängden luftporbildare också varierar med flygaskans egenskaper (Neville 2011).

3 Praktiska erfarenheter

3.1 METOD

3.1.1 Enkät

En webbenkätanalys har genomförts med frågor till 4 grupper av respondenter (Byggherre, Entreprenör, Cement-/betongleverantör och Konsult). Frågorna har skickats ut till projektgruppens nätverk, men även aviserats på LinkedIn. Huvudfokus har varit att få in så många svar som möjligt från entreprenörer eftersom de förväntas ha mest praktisk erfarenhet av gjutning, men även cement-/betongleverantörer för att erhålla erfarenheter avseende blandning av betongen. Samtliga respondenter i kategorin Cement-/betongleverantörer är i verkligheten betongleverantörer, varför resultaten presenteras under rubriken Betongleverantör.

Fråga 1–2 är av allmän karaktär, och utifrån svaret på fråga 2 (Vilken roll beskriver dig bäst?) delas respondenterna in i de fyra svarsgrupperna.

Vissa av frågorna som riktas till de olika respondenterna är identiska, men med hänsyn till respondenternas förväntade erfarenhet och roll är de olika respondenternas frågor inriktade på specifika frågeställningar. Till Byggherre är frågorna främst inriktade på avtalsformer och kravställningar, men de ges också möjligheten att beskriva upplevda för- och nackdelar med Anläggningscement FA. Till Entreprenör är frågorna främst inriktade på praktiska erfarenheter från gjutningar. Frågor till Cement-/betongleverantör är inriktade på praktiska erfarenheter från betongtillverkningen, men frågor avser även slutresultatet. Till Konsult är frågorna inriktade på kravställning vid projektering och tillgänglig data för olika typer av beräkningar.

Frågeformuläret kan betraktas som en blandad metod av kvalitativ och kvantitativ analys eftersom det innehåller både öppna och slutna frågor. Svarsalternativen har i huvudsak varit fasta, för att 1) underlätta analys av svar och 2) säkerställa ett tidseffektivt frågeformulär för en högre svarsfrekvens. Respondenten har även haft möjligheten att svara *Vet ej* eller *Annat* med möjlighet till fri svarstext, i de fall respondenten ej velat välja något av de fasta svarsalternativen. Öppna frågor ger utrymme för respondenten att uttrycka sig fritt. De fasta svarsalternativen är anpassade utifrån möjliga utfall och har stämts av med referensgruppen, för att täcka in så många rimliga svarsalternativ som möjligt.

Följdfrågor beroende av svarsalternativens utfall används i de fall mer detaljerade svar är önskvärda, avseende exempelvis receptoptimeringar eller justerade arbetssätt om sådana har utförts.

Frågor och svarsalternativ presenteras i dess helhet i Bilaga 2.

3.1.2 Intervjuer

Intervjuer har genomförts med ett begränsat urval respondenter, för fördjupande och resonerande svar. Intervjufrågorna har utgått från enkäten och de frågor/svar

som respondenten angett, men frågor har även varit av en bredare karaktär, där respondenten fått möjligheten att prata fritt om för- och nackdelar/skillnader mellan traditionell anläggningsbetong och betong där Anläggningscement FA utgör del av / det enda bindemedlet.

Intervjuerna har inriktats mot respondenter i kategorierna Entreprenör och Betongleverantör, pga. projektets syfte att *samla in praktiska erfarenheter från gjutningar med betong baserad på Anläggningscement FA*. Inom kategorin Entreprenör har 5 personer från två företag intervjuats, varav fyra personer härrör från samma företag. Flera andra entreprenörer har tillfrågats, men dessa har avböjt från att medverka i undersökningen. Samtliga entreprenörer som intervjuats är aktiva inom området Vattenkraft. Inom kategorin Betongleverantör har tre respondenter från tre olika företag intervjuats. Samtliga dessa levererar betong för olika ändamål (inte enbart till Vattenkraftsprojekt). Inom kategorin Beställare/Byggherre/beställarstöd har tre respondenter från tre olika företag intervjuats, två dammägare och en konsult som agerar beställarstöd. Samtliga dessa är verksamma inom område Vattenkraft.

3.1.3 Avgränsningar/förtydliganden

Analysen syftar till att samla in erfarenheter av betong med Anläggningscement FA, varför praktiska erfarenheter från gjutning med andra tillsatsmaterial ej efterfrågas. Svar som baseras på erfarenheter av Anläggningscement FA som en del av bindemedlet, presenteras separat.

Analysen syftar endast till att samla in erfarenheter av betonggjutningar med Anläggningscement FA, ej till att ge rekommendationer eller annat.

I de fall resultat från enkäten ej överensstämmer med intervjusvaren (från samma respondent), har svar från intervjun givits företräde vid tolkningen av resultat.

I vissa fall har respondenterna uppgett att de "talar för hela företaget" och i andra fall uppges respondenten "framföra sina personliga åsikter, vilket inte nödvändigtvis är något företaget står bakom". Majoriteten av enkätsvaren uppger inte någon sådan uppgift över huvud taget.

3.2 RESULTAT

3.2.1 Enkät

Allmänt

Av de totalt 32 svarande har en respondent svarat två gånger varför endast 31 svar presenteras i text nedan. Av de resterande 31 respondenterna är ca 60% aktiva inom vattenkraften; 6% inom vindkraft och 35% har svarat Annat. "Annat" beskrivs i fritext som Anläggning, Betongtillverkning, Bro, Infrastruktur, Kaj, Krönbalk, P-hus, Pålgrundläggning, igjutna stålrörspålar och Vattenverk. Huvuddelen av de svarande (32% eller 10 st) är beställare/byggherre/beställarstöd, 23% entreprenörer, 19% cement-/betongtillverkare och 26% konsulter (Figur 5).

1. Inom vilket område är du aktiv?

[Mer information](#)

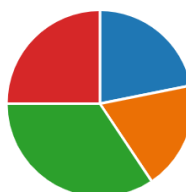
Vattenkraft	18
Vindkraft	2
Gruvdammar	0
Annat	12



2. Vilken roll beskriver dig bäst? (Vill du svara utifrån olika roller ber vi dig svara på formuläret flera gånger)

[Mer information](#)

Entreprenör	7
Cement-/betongleverantör	6
Beställare/byggherre/beställarst...	11
Konsult	8



Figur 5. Redovisning av fråga 1-2.

Av samtliga svarande har 24 respondenter svarat att de har erfarenhet av Anläggningscement FA. 2 beställare har svarat att de ej har erfarenhet, 1 beställare vet ej och 4 konsulter har svarat att de inte har erfarenhet av Anläggningscement FA.

Eftersom rapporten avser att jämföra traditionellt anläggningscement och Anläggningscement FA, belyses i resultatdelen framför allt skillnader mellan dessa cement.

Resultaten redovisas i dess helhet i bilaga 2.

Entreprenör

Inom kategorin Entreprenör anger samtliga svarande att de har erfarenhet av Anläggningscement FA. 3/7 svarande anger att man ersatt traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA, där bindemedel endast utgörs av Anläggningscement FA, 3/7 att Anläggningscement FA utgör del av bindemedel och 1/7 Vet ej.

1/7 anger att Anläggningscement FA använts pga. företagets klimatmål, 1/7 att det förespråkades av byggherre, 2/7 att det inte var ett aktivt val och 3/7 att det använts pga. Annat (vilket i fritext specificerats som "Minska/undvika kylning i betongkonstruktioner" (2 st); eller "Gemensamt intresse av att minska temperaturutveckling och de gynnsamma konsekvenser det för med sig").

Av anläggningstyper dominerar Vattenbyggnad (7 st), men erfarenheter av Anläggningscement FA baseras även på konstruktioner för Vindkraft (2 st) och Bro/järnväg/väg/tunnel (1 st). Erfarenheter Anläggningscement FA används i både grova (>0,8m) och tunna (<0,8m) konstruktioner (4 st), men 2 svarande har angett endast i grova konstruktioner och 1 svarande att det endast använts i tunna konstruktioner.

Resultaten redovisas utifrån erfarenheter baserade på (1) Betong med Anläggningscement FA och (2) Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet.

Betong med Anläggningscement FA

För huvuddelen av efterfrågade egenskaper anges "Ingen förändring" vid jämförelse mellan betong med Anläggningscement FA och betong med traditionellt anläggningscement (Tabell 2). Förändringar som noterats avser efterbehandling och värmeutveckling. Gällande efterbehandling anger två respondenter försämring som i fritext beskrivs som "Längre tid krävdes innan glättning kunde påbörjas" (2/2); "Kommer snabbt när den väl kommer igång" (2/2). Gällande värmeutveckling under betongens hårdnande anger en respondent en märkbar förändring, men också att inga åtgärder var nödvändiga.

Gällande erfarenheter av betong med Anläggningscement FA i självkompakterande betong (SKB) och undervattensbetong (UV-) anger två respondenter att de har erfarenhet av Anläggningscement FA i självkompakterande betong (SKB) och en respondent att man har erfarenhet av Anläggningscement FA i UV-betong. Inga förändringar i jämförelse med traditionellt anläggningscement har noterats.

Övriga erfarenheter/kommentarer som två respondenter delar med sig av:

- "Lite synd bara att cementet är mer finmalt än traditionell anläggningscement, man hade kunnat fått ännu bättre resultat vid extra inblandning av flygaska vad gäller temperaturutveckling."
- "Vi använder Anläggningscement FA och d-max 45 för att försöka minimera sprickbildning."

Tabell 2 Sammanställning över svar från *Entreprenör*.

Egenskap	Betong med Anläggningscement FA		Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet
	Konstruktioner </>0,8m	Konstruktioner <0,8m	Konstruktioner </> 0,8m
Pumpbarhet	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/3) Avsevärd förbättring (1/3)
Gjutbarhet/ arbetbarhet	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (1/3) Avsevärd förbättring (2/3)
Efterbehandling	Försämring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/3) Förbättring (1/3)
Sprickbildning orsakad av plastisk sättning (sätt-sprickor)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Minskad tendens (3/3)
Sprickbildning orsakad av plastisk krympning	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Minskad tendens (3/3)
Bindetid	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/3) Vet ej (1/3)
Värmeutveckling under betongens hårdnande	Ingen förändring (1/2) Förändring, men inga åtgärder var nödvändiga (1/2)	Vet ej (1/2) Ingen förändring (1/2)	Minskad värmeutveckling (3/3)
Hållfasthetsutveckling	Vet ej (1/2) Ingen förändring (1/2)	Ingen förändring (2/2)	Långsammare (3/3)
Lufthalt i den färska betongen	Krav uppfyllda (2/2)	Krav uppfyllda (2/2)	Krav uppfyllda (2/3) Ej uppfyllda (1/3)
Påverkan gjutningens utförande eller kravställning	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (1/3) Bättre ytor/ytfinish (2/3)
Skilnad grova/tunna konstruktioner	Ingen förändring (2/2)	Vet ej (2/2)	Ingen förändring (2/3) Receptjusteringar krävs (1/3)
Erfarenhet Anl FA i SKB	Ja (1/2) Nej (1/2)	Ja (1/2) Nej (1/2)	Nej (3/3)
Påverkan tillstyvnandetid	Vet ej (1)	Nej (1)	
Påverkan pumpbarhet	Nej (1)	Nej (1)	
Justering betongrecept	Nej (1)	Nej (1)	
Erfarenhet SKB för UV-gjutning	Nej (1)	Ja (1)	

Egenskap	Betong med Anläggningscement FA		Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet
Erfarenhet Anl FA i UV-betong	Nej (2/2)	Ja (1/2) Nej (1/2)	Nej (3/3)
Erfarenhet Anl FA för konventionell UV-betong med antiutvaskningsmedel		Ja (1)	
Beskrivning erfarenheter		-	
Antal reklamationer	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (2/2)	Ingen förändring (3/3)

Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet

De tre respondenter som angett att erfarenheter vid gjutning är baserade på betong där Anläggningscement FA utgör en del av bindemedlet (och där tillsatsmaterial utgörs av ytterligare flygaska), beskriver i jämförelse med traditionellt anläggningscement:

- 2/3 anger ingen förändring, medan 1/3 anger avsevärd förbättring avseende pumpbarhet
- 1/3 anger ingen förändring, medan 2/3 anger avsevärd förbättring avseende gjutbarhet/arbetbarhet (avseende förbättrad konsistens (2), förbättrad mobilitet (2), förbättrad stabilitet (1), minskat vibreringsbehov (1))
- 2/3 anger ingen förändring, medan 1/3 anger förbättring avseende efterbehandling ("lättare att arbeta med rivbräda!")

Samma respondenter (3/3) upplever en minskad tendens till sprickbildning orsakad av plastisk sättning och/eller plastisk krympning. 2/3 uppger att bindetiden inte förändrats och 1/3 Vet ej om den ändrats. Däremot anger 3/3 att värmeutvecklingen förändrades med framtaget recept – och att dessa recept är framtagna just för att minska värmeutvecklingen/kylbehovet i betongen.

Gällande hållfasthetsutvecklingen anger 3/3 att denna är långsammare, och att man inte använt acceleratorer/retarderare för att påskynda/bromsa hållfasthetsutvecklingen. 2/3 anger att lufthaltskraven i den färska betongen uppfyllts, medan 1 respondent anger att lufthaltskrav inte uppfyllts, men i fritext beskriver respondenten "Vi har frystestat betong mer eller mindre utan lufttillsats och den klarar ställda krav utan lufttillsats". Denna respondent uppger också att man noterat ökade variationer i uppmätt lufthalt hos levererad betong.

Gällande gjutningens utförande eller kravställning anger 1/3 att dessa inte ändrats, men 2/3 anger att man erhållit Bättre ytor/ytfinish (en respondent beskriver detta i fritext som "Finare ytfinish på väggar, utan bubblor, även på lutande formar" och en respondent "Bättre ytor och mindre sprickor").

2/3 anger att man inte ser några skillnader mellan grova/tunna konstruktioner, medan 1/3 beskriver att utförandet skiljer sig "Eftersom vi använder grövre ballast

så blir det lite jobbigt i de få tunnare konstruktionerna, så i de tunnare väggarna har vi använt mindre ballast D max 32”.

3/3 anger att man ej använt denna betong för SKB eller UV-betong.

3/3 anger ingen förändring i antalet reklamationer.

Gällande receptoptimeringar beskrivs de i fritext av de tre respondenterna:

- ”Helt nytt recept framarbetat med tekniks specialist och betongleverantör. Receptet är framtaget för att minska kylbehovet.”
- ”Betongsammansättningen ändrades för att minska värmeutvecklingen. Kylbehovet minskar.”
- ”Betongsammansättningen ändrades för att minska värmeutvecklingen. Vi blandade i ännu mer flygaska för att komma ner än mer i maxtemp, vi har även kört med grövre ballast, D max 45. Detta har gett oss möjlighet och vi utför arbetet med betydligt större gjutetapper i anläggningen utan risk för sprickor. Eftersom vi använder grövre ballast så blir det lite jobbigt i de få tunnare konstruktionerna, så i de tunnare väggarna har vi använt mindre ballast D max 32.”

Betongleverantör

Samtliga sex respondenter anger att de har erfarenhet av Anläggningscement FA och 5/6 svarar att huvudmotivet till detta är kopplat till företagets klimatmål; 1/6 att det är kopplat till ”Cementas utrullning och utfasning av Anl Slite”. 5/6 anger att man har erfarenhet av att byta ut traditionellt anläggningscement mot Anläggningscement FA; 3/6 respondenter anger att bindemedel endast består av Anläggningscement FA och 2/6 att Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet; 1/6 har använt Anläggningscement FA av andra skäl. 6/6 anger att man inte ersatt andra typer av cement med Anläggningscement FA.

3/6 anger att betongrecept/arbetssätt ej behövt justeras vid inblandning av Anläggningscement FA för att uppfylla ställda krav. Av de (3/6) som anger att betongrecept har justerats beskrivs olika justeringar:

- En respondent som beskriver erfarenheter där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet beskriver att man även använt andra tillsatsmaterial, sett ett behov av justeringar gällande justerat tillsatsmedel (ökad mängd luftporbildare), ändrat ballastgraderingen (ökad stenandel, (D/d)) samt ökat den totala bindemedelshalten. Dessa justeringar beskrivs utföras för att förbättra betongens gjutbarhet, förbättra pumpbarhet, förändra betongens hållfasthet vid 28d, samt för att uppfylla luftkrav.
- En respondent som beskriver sina erfarenheter med bindemedel endast bestående av Anläggningscement FA beskriver att man gjort samma typ av justeringar som ovan, men med minskad stenandel (D/d) och att även vct ändrats till det lägre. Dessa justeringar beskrivs utföras för att förbättra betongens hållfasthetsutveckling.
- En respondent som beskriver sina erfarenheter med bindemedel endast bestående av Anläggningscement FA anger att receptjusteringar endast görs avseende tillsatsmedel (ökad behov av luftporbildare) för förbättrad gjutbarhet.

4/6 anger vidare att man har erfarenhet av Anl FA i självkompakterande betong (SKB) och att Anläggningscement FA inte påverkar betongens tillstyvnandetid (en har svarat att man inte vet om det påverkar tillstyvnandetiden) i SKB. 3/4 anger att betongens pumpbarhet inte påverkas och en respondent anger att pumpbarheten förändrats till det bättre. 2/4 anger att betongrecept/arbetssätt förändrats vid inblandning av Anläggningscement FA för att uppfylla ställda krav i SKB och att detta görs genom ökad mängd luftporbildare. 1/4 anger även ökad mängd superplasticerare. 3/4 anger att SKB med Anläggningscement FA använts för undervattengjutning. En respondent har valt att beskriva sina erfarenheter och att dessa är goda.

2/6 anger att man har erfarenhet av Anl FA för konventionell undervattensbetong med antiutvaskningsmedel. En respondent har valt att beskriva sina erfarenheter och att dessa är goda.

Beställare/byggherre/beställarstöd

Inom kategorin beställare har en respondent svarat två gånger, varför endast 10 svar redovisas. 6/10 anger att de har erfarenhet av Anläggningscement FA.

I de fall man svarat nej tror man att detta beror på för lite erfarenhet/ej beprövat eller att det ej finns i betongleverantörens sortiment. Huvudargument för att i framtiden använda Anläggningscement FA (hos de som svarat att de inte har någon erfarenhet av detta) är mer erfarenhet (2 st), tydligare klimatmål (1 st) och att man vill ha/föredrar större möjligheter att påverka betongrecepten och minska dess värmeutveckling genom att använda traditionellt anläggningscement med grövre ballast och flygaska (1 st).

I fritext anger också en av respondenterna, som inte har erfarenhet av Anläggningscement FA, att "Jag tror konsulterna kan ha stor påverkan i frågan med att tydligt föreskriva detta i den tekniska beskrivningen."

Av de respondenter som svarat att de har erfarenhet av Anläggningscement FA anger 5/6 att de har erfarenhet av Anläggningscement FA där bindemedel endast utgörs av Anläggningscement FA och 1/6 att Anläggningscement FA utgör del av bindemedel. Resultaten redovisas därför utifrån erfarenheter baserade på (1) Betong med Anläggningscement FA och (2) Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet.

Betong med Anläggningscement FA

I de fall Anläggningscement FA utgör det enda bindemedlet har entreprenadformer varit general-, totalentreprenad eller "Annat".

De anläggningstyper, för vilka erfarenheter med Anläggningscement FA (som enda bindemedel) beskrivs nedan, är Vattenbyggnad (vattenkraft, hamn, kaj mm där grövre konstruktioner ofta är nödvändiga); Bro, järnväg, väg, tunnel; eller Annat (beskrivs i fritext som P-hus, silofundament, Fundament, krönbalk, kajdäck mm). Erfarenheter beskrivs från både konstruktioner med en tjocklek som överstiger 0,8 m och konstruktioner med en tjocklek som inte överskrider 0,8 m (4 st). En (1) respondent anger att erfarenheter härrör från konstruktioner med en tjocklek som inte överskrider 0,8 m. För sammanställning av resultat, se Tabell 3

Huvudmotiv till användning av Anläggningscement FA, liksom de för- och nackdelar som upplevs med Anläggningscement FA summeras i Tabell 3. "Annat" har utifrån fritext kategoriserats in i övriga alternativ.

Fritextsvar som rör Anläggningscement FA summeras nedan:

- "Ogynnsamt hög värmeutveckling sommartid vid varma sommardagar, runt/strax över 25 grader. Gynnsam värmeutveckling vintertid, flera tuffa tunna gjutningar med kraftiga minusgrader och klen isolerad form som utvecklats väl. Problem med blåsor i ovanytan på ett ställe, gäller platta på mark och bjälklag (p-hus)."
- "Ur min erfarenhet är Anläggningscement FA likvärdig traditionellt anläggningscement med endast CEM I. Jag ser Anläggning FA som en standardprodukt och arbetar för använda cement som är mer klimatförbättrade i projekten."
- "Det vore bra om man nyttjade möjligheten att få lägre värmeutveckling från Anläggning FA istället för att öka malningsgraden så att samma värmeutveckling som vanlig Anl. erhålls."
- "Erfarenheten i de kontakter jag har/haft med mina arbetsplatser är det inga problem med pumpbarhet, bearbetbarhet, temperaturutveckling och ej heller den färdiga produkten med hållfasthet eller sprickor."

Gällande önskemål om framtida justeringar/egenskaper anger huvuddelen av respondenterna att de är för dåligt insatta eller att de inte ser några problem med detta cement. En (1) respondent anger önskemål om "Ytterligare klimatförbättringar".

Tabell 3 Sammanställning över svar från *Beställare*, där flera svarsalternativ är möjliga.

Anläggningstyp	Huvudmotiv för användning	Fördelar med Anläggningscement FA	Nackdelar med Anläggningscement FA
<i>Vattenbyggnad</i>			
Konstruktioner $\leq 0,8\text{m}$	Interna klimatmål (1/2) Ej aktivt val / enda tillgängliga cement (1/2) Förespråkades av konsult (1/2)	Minskad klimatpåverkan (2) Annat: En del fördelar, mycket god värmeutveckling vintergjutningar (1)	Snabbare härdning (1) Sämre produkt (1) Annat: Porer/blåsor på horisontella ytor samt hastig och hög värmeutveckling (1) Inga nackdelar (1)
Konstruktioner $< 0,8\text{m}$	Ej aktivt val / enda tillgängliga cement (1/1)	Bättre produkt (1/1)	Inga (1/1)
<i>Bro, järnväg, väg, tunnel</i>			
Konstruktioner $\leq 0,8\text{m}$	Ej aktivt val / enda tillgängliga cement (1/2) Förespråkades av konsult (1/2)	Minskad klimatpåverkan (2/2)	För liten minskning av CO ₂ -utsläpp (1/2) Inga (1/2)

Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet

I de fall Anläggningscement FA utgör del av bindemedel beskrivs entreprenadform som generalentreprenad.

I de fall Anläggningscement FA använts som del av bindemedel är anläggningstypen vattenbyggnad (vattenkraft, hamn, kaj mm där grövre konstruktioner ofta är nödvändiga) och anläggningsdimension $> 0,8\text{ m}$. Huvudmotiv till val av bindemedel var att det förespråkades av entreprenör.

Fördelar som beskrivs är Mer resurseffektivt; Minskade kostnader; Bättre produkt; Minskad klimatpåverkan genom lägre CO₂-utsläpp; och Bättre arbetsmiljö.

Nackdelar som beskrivs är Annat, vilket i fritext beskrivs som "Lite erfarenhet i Sverige vilket gjort att vi fått genomföra många utvecklingsprover för att bestämma blandning mot arbetbarhet och slutprodukt". Önskvärt från beställaren är även "Långsammare brinntid för att plana ut värmestigningskurvan och därmed undvika kylning av stora konstruktioner med risk för tvång".

Konsult

Åtta konsulter från > 3 företag/institut har svarat på enkäten. 4/8 respondenter anger att de har erfarenhet av betong med Anläggningscement FA.

Av de konsulter som anger att de har erfarenhet av Anläggningscement FA anger 3/4 att de har erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA, som del av bindemedlet, medan 1/3 svarar Vet ej på

frågan om man har erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement och med vad. Avseende anläggningstyp svarar 3/4 "Vattenbyggnad", 1/4 "Vatten och avlopp" och 1/4 "Bro, järnväg, väg, tunnel" (flera svarsalternativ möjliga).

2/4 respondenter anger att huvudmotivet till att Anläggningscement FA används är Interna klimatmål; en att det förespråkade av byggherre; och en anger pga. "flera skäl och av intresse av flera".

Respondenterna anger att införandet av Anläggningscement FA påverkat kravställningen, vid projektering, gällande frost (1/4); hållfasthetsklass (1/4); Ja, flera, ej insatt i vilka (1/4) och Vet ej (1/4). 2/4 anger att de har tillräcklig kunskap/data för att kravställa på ett korrekt sätt och för att genomföra relevanta mognadsgradsutvecklings- och temperaturutvecklingsberäkningar. Däremot anser ingen av respondenterna sig ha tillräcklig kunskap/data för att kunna bestämma betongens långtidsegenskaper (krypning och krympning).

En av respondenterna som anser sig ha tillräcklig kunskap/data för att kravställa på ett korrekt sätt och för att genomföra relevanta mognadsgradsutvecklings- och temperaturutvecklingsberäkningar skriver i fritext:

"Jobbar mer som forskare än konsult så det kan vara att jag har lite mer kunskap och tillgång till data angående materialparametrar än de som jobbar i industri."

En av respondenterna som inte anser sig ha tillräcklig kunskap/data för att kravställa på ett korrekt sätt eller för att genomföra relevanta mognadsgradsutvecklings- och temperaturutvecklingsberäkningar skriver i fritext:

"Har enbart erfarenhet i ett uppdrag där jag inte varit med under processen från början. Bygget har idag enbart gjutit ett par gjutdelar. Antar att mer feedback från beställare och entreprenör kommer i ett senare skede."

1/4 anger att de har erfarenhet av Anläggningscement FA i SKB, men ingen av respondenterna har erfarenhet av Anläggningscement FA i Undervattensbetong. Den respondent som angett att den har erfarenhet av SKB anger att tillstyvnandetiden ej påverkats, men att pumpbarheten för SKB har förbättrats med Anläggningscement FA.

De fyra respondenter som anger att de inte har någon erfarenhet av Anläggningscement FA anger att orsaken till detta är att det "aldrig varit en fråga" (1/4), "har föreskrivit vanligt anläggningscement av vana, men är öppen för att ändra arbetssätt" (1/4), "för lite erfarenhet/ej beprövat" (1/4) och "visste inte om det samt att det är entreprenörens val; ej i betongleverantörens sortiment" (1/4); men att tydligare klimatmål (1/4) och mer erfarenhet (4/4) skulle kunna få respondenterna att förespråka Anläggningscement FA i framtiden.

3.2.2 Intervjuer

Entreprenör

Av de entreprenörer som intervjuats har 2/4 erfarenhet av betong med bindemedel endast bestående av Anläggningscement FA; 1/4 har erfarenhet av både Anläggningscement FA som enda bindemedel och betong där Anläggningscement

FA utgör del av bindemedlet; och 1/4 har erfarenhet av betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet.

En respondent har i enkäten svarat "Vet ej", men svarar i intervjun att man har erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement med bindemedel bestående av Anläggningscement FA,

Betong med Anläggningscement FA

3/3 beskriver att man använder samma förfarande som med traditionellt anläggningscement. En respondent beskriver detta som "Business as usual – varken positiva eller negativa upplevelser". 2/3 uppger att pumpbarheten inte förändrats, medan 1/3 anger att den förbättrats med Anläggningscement FA. 2/3 anger att man inte upplevt någon förändring gällande gjutbarhet/arbetbarhet, medan 1/3 beskriver att man upplever en förbättrad mobilitet, stabilitet och konsistens; att man vibrerar enligt norm, men inte upplever något extra behov. Respondenten uppger också att Anläggningscement FA generellt upplevs som bättre än traditionellt anläggningscement.

Avseende efterbehandling svarar 2/3 i enkäten att man inte upplevt någon förändring. 1/3 uppger att man upplever en försämring. I intervjuerna uppger 2/3 att det tar längre tid innan glättning kan påbörjas. En respondent beskriver att man har en lägre cementhalt, vilket respondenten menar ger en längre härdningstid och att det därför tar längre tid innan glättning kan påbörjas. Själva utförandet beskrivs dock vara detsamma och respondenten uppger att det "gäller att ha tillräcklig kapacitet för att hänga med, processen är temperaturberoende, det styr troligen mer, men inte noterat någon större skillnad mellan sommar och vinter. Oavsett cement tar det längre tid vintertid, innan glättning kan påbörjas". Detta beskrivs av en annan respondent snarare som något positivt – "kan annars vara svårt att hinna med, man slipper kallfogar - större utfall med konceptbetong (*Reds. anm: Betong med Anläggningscement FA och extra tillsatsmaterial bestående av flygska*), men även bättre med Anläggning FA."

2/3 uppger att man inte upplever någon förändring avseende sprickbildning orsakad av plastisk sättning (sättsprickor) eller plastisk krympning; medan 1/3 uppger att man upplever mindre sprickor i betong med Anläggningscement FA.

3/3 uppger att bindetiden inte förändrats.

1/3 svarar att man inte vet om värmeutvecklingen under hårdnandet förändrats. 2/3 uppger att värmeutvecklingen förändrats, varav en respondent beskriver detta som att man "inte får så våldsam värmeutveckling med Anläggning FA" (respondenten beskriver vidare att detta är "intuitivt, ej uppmätt").

2/3 uppger att hållfasthetsutvecklingen förändrats. 1/3 uppger att härdningen upplevs gå snabbare med Anläggningscement FA; 1/3 att hållfasthetsutvecklingen är långsammare jämfört med traditionellt anläggningscement. 1/3 uppger att man inte vet om värmeutvecklingen under hårdnandet förändrats i jämförelse med traditionellt anläggningscement. 3/3 uppger också att inga acceleratorer/retarderare används för att påskynda/bromsa hållfasthetsutvecklingen.

2/3 uppger att betongen uppfyller krav gällande lufthalt i den färska betongen, men 1/3 uppger att man godtar lägre lufthalt pga. att "för mycket luftporbildare ger en svajig betong" och att man i dessa fall istället frystestar betongen ("mer eller mindre utan lufttillsats och den klarar då ställda krav") för att säkerställa att betongen uppfyller ställda frostkrav. Samma respondent uppger också att man noterat ökade variationer i uppmätt lufthalt och därför "i några projekt använt sig av en specifik metod för när luftporbildare ska blandas in för att få jämnare betongkvalitet."

2/3 uppger vidare att Anläggningscement FA inte på några andra sätt påverkat gjutningens utförande eller kravställning; och att t.ex. formrivning sker vid samma tidpunkt som med traditionellt anläggningscement. 1/3 svarar att man brukar receptoptimera för att minska värmeutvecklingen i grövre konstruktioner. Detta görs bl.a. med "grövre sten med $D_{\max}$ 45 och täckande betongskikt på 70 mm och armering anpassad till stenstorleken. Även vct/vbt ändras ibland, vilket är fabriksberoende, och där man kan göra avsteg beroende av ballast. När man går utanför regelverk förankras detta." Respondenten menar att betongen på detta vis även blir "smidigare och fyller ut formen bättre ("även om detta utfall är än större med ytterligare inblandning av flygaska"). Respondenten uppger vidare att detta arbetssätt leder till "längre tid att nå hållfasthet – ger längre tid, 60 dagar".

Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet

Två respondenter beskriver i stort sett samma förfarande för betong med Anläggningscement FA och ytterligare tillsats av flygaska. Förfarandet används i vattenkraftsprojekt och huvudmotivet beskrivs vara att minska värmeutvecklingen i betongen. Andra fördelar som beskrivs är att förfarandet "möjliggör gjutning större etapper i taget (med långsam stigning), slipper kylning och sparar mycket pengar".

Utöver Anläggningscement FA och extra tillsats av flygaska görs flertalet receptoptimeringar såsom justering av ballastgradering, högre $D_{\max}$, minskat cementinnehåll och justering av mängden luftporbildare. Dessutom påförs ett större täckande betongskikt, armeringen anpassas till $D_{\max}$ och pumpslangar som möjliggör gjutning av större etapper.

Båda respondenterna beskriver svårigheter att få till rätt lufthalt och att den "uppnådda lufthalten i betongen var ojämn". En respondent beskriver vidare att detta gav en "svajig betong". Både respondenterna beskriver att man istället godtar en lägre lufthalt i den färska betongen, under förutsättning att betongen klarar uppställda krav för frys-töprovning. En av respondenterna beskriver också att man i vissa projekt använder en specifik metod för när luftporbildare blandas in för att få en jämnare betongkvalitet.

Andra förändringar som beskrivs, vid jämförelse med gjutning med traditionellt anläggningscement, är

- 2/2 anger att betongen är smidigare, fyller ut formen bättre (goda gjutegenskaper)
- 1/2 anger att det tar längre tid innan glättning kan påbörjas (efterbehandling)

- Minskad sprickbildning (2/2); en respondent beskriver dock en ökad tendens till sprickbildning med vindhastighet, varför man under sommaren måste ha dimma över betongen.
- Minskad värmeutveckling och minskat behov av kylning (2/2). En respondent berättar att max temp sänkts med 10°C.
- Långsammare hållfasthetsutveckling (2/2)
- Finare ytfinish (2/2), även på lutande former (1/2)
- Förbättrad arbetsmiljö
- Ekonomiska besparingar

De avsteg från normer som beskrivs med detta förfarande är:

- En respondent beskriver att "andelen flygaska är utanför normen".
- Båda respondenterna beskriver avsteg gällande lufthalten i den färska betongen.

Betongleverantör

Huvudmotiv till användning av Anläggningscement FA beskrivs av samtliga respondenter (3/3) som Företagets klimatmål, men en (1) beskriver också att det efterfrågas av kunder och att betongleverantören rapporterar förbrukad CO₂ kvartalsvis till sina kunder.

Samtliga (3/3) betongleverantörer levererar betong där Anläggningscement FA utgör det enda bindemedlet, men också där Anläggningscement FA utgör en del av bindemedlet. Andra tillsatsmaterial kan vara exempelvis flygaska eller slagg, men frågor och resultat nedan är endast baserade på (1) Betong med Anläggningscement FA och (2) Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet, och tillsatsmaterial utgörs av flygaska.

Betong med Anläggningscement FA

I betong där traditionellt anläggningscement ersatts av Anläggningscement FA

- uppger samtliga betongleverantörer (3/3) att vissa receptjusteringar görs, men att dessa inte upplevs som särskilt belastande. Samtliga beskriver en mer omfattande förprovning än tidigare, men denna beskrivs också som "marginell".
- uppger samtliga betongleverantörer (3/3) att man generellt blandar in större mängd luftporbildare för att uppfylla lufthaltskraven. 1/3 anger att mängden luftporbildare styrs av ballasten (kornform, flisighet och siktkurva) och att mängden luft varierar mellan fabrikerna; 1/3 "har hört" att lufthalten varierar med olika stensorteringar; och 1/3 beskriver att "FA tar död på luftporsystemet, men när man får in luft är det väldigt stabilt".
- uppger 1/3 att mindre flyttillsatsmedel krävs i jämförelse med traditionellt anläggningscement.
- uppger samtliga betongleverantörer (3/3) att man använder samma ballast som tidigare, men att ballastgraderingen ibland ändras (vilket är fabriks-/ballastberoende)
- uppger 1/3 att man generellt ökar stenandelen i betongen (D/d)

- uppger ingen av betongleverantörerna att man bytt ballast / gått tillbaka från krossballast till naturgrus för att förbättra betongens egenskaper
- uppger 1/3 att man historiskt upplevt variationer i 28d hållfasthet ("vi har haft relativt stora variationer i standardavvikelse och har fortfarande ställvis det"), vilket gjort att man fått och ibland fortfarande får höja bindemedelshalten för att klara hållfasthetskraven, något som i sin tur leder till ett ökat klimatutsläpp från betongen.
- uppger 2/3 att man upplever att cementet varierar och att man beroende av "batch" får vidta olika åtgärder, vilket innebär en något mer omfattande förprovning jämfört med traditionellt anläggningscement.
- uppger 2/3 att "konsulter saknar beräkningserfarenhet" eller "inte har den förståelse som krävs för att utföra relevanta sprickberäkningar".
- uppger 3/3 att betong med Anläggningscement FA ger bättre gjutförutsättningar.
- beskriver 2/3 betongen som "mer stabil"
- anger 2/3 att de har erfarenhet av Anläggningscement FA i SKB. Dessa två upplever inte att betongens tillstyvnandetid påverkats. En beskriver att pumpbarheten förbättras, och att man får bättre gjutförutsättningar. Båda beskriver att man "måste ha koll på luften", att det krävs mer lufttillsats/luftporbildare. I övrigt beskrivs erfarenheterna som goda, att "det funkar precis som vanligt" och "att det var ett ickeproblem att byta".
- uppger 2/3 att man inte har fler returerna än jämfört med traditionellt anläggningscement och att returerna generellt är kopplade till projekt med långa transporter, medan 1/3 uppger att man har "marginellt större andel kasserade bilar".
- säger 3/3 att de inte hört något från entreprenörer om att man skulle ha problem med förändringar vid gjutningar eller med efterbehandling.

Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet

Erfarenheter beskrivs med liknande resultat som de beskrivna ovan och görs för att reducera klimatutsläppen ytterligare eller för att erhålla andra specifika egenskaper i betongen. För vattenkraftsprojekt används framför allt ökad tillsats av flygaska för att erhålla en minskad värmeutveckling och minskat kylbehov. För att minska värmeutvecklingen i den färska betongen har man i vissa projekt vidtagit ytterligare åtgärder som att exempelvis sänka den totala bindemedelshalten och/eller öka D_{max} .

Beställare/byggherre/beställarstöd

Tre beställare har intervjuats, varav samtliga i intervjuerna anger att de har erfarenhet av betong med Anläggningscement FA. En av respondenterna (F) har även erfarenhet av betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet. Entreprenadformer beskrivs som general-, utförande-, total- eller partnering och avser vattenbyggnad (vattenkraft, hamn, kaj mm där grövre konstruktioner ofta är nödvändiga), där en respondent har erfarenhet av både tunna och grova konstruktioner; en av tunna (<0,8m); och en av grövre konstruktioner (>0,8m). Utöver de frågor som var riktade till beställare har respondenterna under intervjun även fått svara på de frågor om betonggjutningar som i enkäten var riktade till entreprenörer, vilka respondent B och F har svarat på.

Betong med Anläggningscement FA

Huvudmotiv för användning av Anläggningscement FA uppges vara

- "Förespråkades först av oss (beställare), men hann bli standardcement innan projektet påbörjades" (1/3)
- "Ej aktivt val, förespråkades eventuellt av entreprenör. Oklart." (1/3)
- "Förespråkades av entreprenör" (1/3)

Fördelar som beskrivs med Anläggningscement FA är:

- "Framförallt det minskade CO2-utsläppet. Inga skillnader när det gäller gjutningar." (1/3)
- "Bra resultat. Slutprodukten. Fått kommentarer från inspektioner som säger att det är fina ytor, ser bra ut. Är i huvudsak en entreprenörsfråga." (1/3)
- "Främst kompaktering och jämnhet i ytstrukturen efter formrivning. Än större utväxling i projekt där man använt extra tillsats av flygaska - långsammare värmeutveckling, ingen kylning behövdes, ingen sprickbildning" (1/3)

Nackdelar som beskrivs med Anläggningscement FA är följande:

- "Högre värmeutveckling än traditionellt cement i ett projekt (84°C). Temperatursprickberäkningar utfördes av konsult, där man använde Cementas nya värden, men dessa visade inte att det skulle bli så hög värmeutveckling. Fick dock inga sprickor.
- På vissa följesedlar står det CEM I, fastän det är CEM II – haft mejlkontakt med leverantören om detta, men vi vet själva vilken data som ska användas" (1/3)
- "Inga nackdelar, har förlitat sig på entreprenören och det har funkat." (1/3)
- "Inga nackdelar. Med Anläggningscement FA har det inte behövts några receptoptimeringar. Har endast noterat i ett projekt där man har gjutit två tunnare delar och man valde rent FA-cement att man fick en effekt att översta toppen av gjutningen skummade. Vi har inte lyckats utvärdera vad det berodde på och det var endast där. Har fått högtrycksblästra och gjuta om." (1/3)

Vidare beskriver respondent B gällande praktiska erfarenheter från gjutningar med Anläggningscement FA att dessa "fungerar lika bra som innan". Vid direkta frågor om specifika egenskaper beskriver respondenten några mindre undantag

- Gjutbarhet/arbetbarhet: "Får lite mer blåsor på tunna horisontella gjutningar, trots mycket vibrering (ej så stor att det skummar), uppstår efter slodning. Samma utförande enligt regelverk.";
- Bindetid/hållfasthetsutveckling: "Eventuellt snabbare - vintergjutningar går ibland snabbare, man kan oftast gå på ytan tidigare.";
- Lufthalt: "Händer att man får undertramp, men det fick man även tidigare"

Respondent F beskriver sina erfarenheter från gjutningar med Anläggningscement FA som att man "inte upplever några försämringar, utan att det varit jämn kvalitet, inga bubblor, inga sår. Inte heller hört något - varken positivt eller negativt om efterbehandling. Däremot hört att det är bättre pumpbarhet, betongen är följsammare och håller ihop bra. Lufthalten mäts av betongleverantören, inte hört något om detta."

Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet

Erfarenheter av betong med Anläggningscement FA som del av bindemedlet, beskrivs av respondent F som att "Vi har fått skruva mer med extra flygaska". Receptoptimeringar utförs framförallt med extra tillsats av flygaska, men även andra justeringar beskrivs: "I ett projekt gick man även upp i ballastsortering för att hålla nere temperaturutvecklingen, vilket också möjliggjort än större gjutetapper. Men eftersom fallhöjden ökar med större gjutetapper, har detta även krävt vissa åtgärder gällande armering. Bl.a. har vi flyttat så man har 1-1,5m i cc mellan armeringen där man ska få ner pumprören, så ligger dubbel armering runt. Eurocode och RIDAS förespråkar så tät armering att detta är en utmaning. Generellt ökat kraven från 1,2-1,67 vilket gör en avsevärd skillnad i mängd."

Respondent F beskriver bl.a. att denna betong får en marginellt längre bindetid. Vidare fastslår respondenten att man "bara mätt värmeutvecklingen där man använder extra flygaska (*ej i projekt där endast Anläggningscement FA används, reds. anm.*) och där har man fått fantastiska resultat, aldrig över 46°C. Däremot ligger hållfastheten vid 28 dygn lägre, men vid 56 dygn börjar den uppfylla kraven, och efter 90 dygn helt uppfylla krav. Vid frostprovning bara ett prov som inte klarat kraven, övriga inte gett några utslag alls med extra flygaska." Om acceleratorer/retarderare svarar respondent F "Nej, används inte, däremot extra luftporbildare med denna betong. I TB sattes krav om 5% luft i betongen, men vid praktiska provningar accepterades lägre lufthalt. Effekten man fick var att vid 5% fick man en viss separation, som minskade när lufthalten minskades. Men vid frostprovning var resultaten tillfredsställande."

Fördelar som beskrivs är:

- "Främst kompaktering och jämnhet i ytstrukturen efter formrivning. Än större utväxling i projekt där man använt extra flygaska - långsammare värmeutveckling, ingen kylning behövdes, ingen sprickbildning"
- "Ökad mängd flygaska, vilket man gärna vill jobba vidare med pga. att det har så många fördelar. Möjliggör att man slipper kylning, minskad sprickbildning, kompakt betong vilket man tror påverkar livslängden."

Nackdelar som beskrivs:

- "Lite erfarenhet i Sverige vilket gjort att vi fått genomföra många utvecklingsprover för att bestämma blandning mot arbetbarhet och slutprodukt"

3.3 TOLKNING AV RESULTAT

Generellt bedöms svarsfrekvensen som låg pga. att svarande inte "vill, får eller kan" dela med sig av sina erfarenheter pga. konkurrensför-/nackdelar.

Projektets huvudsyfte är att beskriva erfarenheter av betong med Anläggningscement FA (som enda bindemedel), vilka sammanfattas och tolkas i avsnitt 3.3.1-3.3.4.

Stycke 3.3.5 beskriver erfarenheter av Anläggningscement FA som del av bindemedlet, dvs. betong med anläggningscement FA och tillsatsmaterial i form av flygaska som överensstämmer med EN 450-1.

3.3.1 Entreprenör

Av de entreprenörer som svarat på enkäten uppger huvuddelen av respondenterna att man inte upplever någon förändring avseende gjutningens utförande, kravställning eller tidpunkt då de olika momenten utförs, i jämförelse med traditionellt anläggningscement. Betongen uppfyller ställda krav gällande exempelvis lufthalt, och antalet kasserade bilar uppges varken vara fler eller färre med Anläggningscement FA.

Den största skillnaden gäller efterbehandling, där några respondenter svarat att det tar längre tid innan glättning kan påbörjas, vilket kan kopplas till en lägre cementshalt och/eller längre härdningstid.

I det fall man utför brädsurning (vilket också uppfattas som mer krävande), förklaras detta med att man använder en grövre ballast med $D_{\max}$ 45, och detta kan således inte härledas till cementet. Den respondent som beskriver att man använder Anläggningscement FA och $D_{\max}$ 45, säger att detta görs för att minimera sprickbildning i betongen. Åtgärden tolkas göras för att minska cementshalten och på så sätt sänka värmeutvecklingen i betongen (ökad $D_{\max}$ leder till mindre hålrumsvolym som behöver fyllas ut med cementpasta).

De skillnader som uppstår vid olika gjutningar uppfattas i första hand vara kopplade till transporter (och där man ser fler problem vid längre transporter), något som gäller för alla projekt, oavsett cement.

Med andra ord har införandet av Anläggningscement FA inte nämnvärt påverkat utförandet. Att betongen av några respondenter beskrivs som smidigare (bl.a. förbättrad mobilitet, förbättrad stabilitet, förbättrad konsistens, bättre pumpbarhet), bör dock påverka betongens beständighet positivt. Flera respondenter beskriver också en upplevd minskad sprickbildning med Anläggningscement FA, något som stöds av litteraturen.

3.3.2 Cement-/betongtillverkare

Resultaten från intervjuerna är relativt samstämmiga och pekar dels på att samtliga respondenter generellt har en positiv inställning till Anläggningscement FA, men även till andra befintliga och nya alternativa bindemedel. Motivet till detta anges som Företagets klimatmål och att man har en förhoppning om att minska klimatavtrycket från betong.

Även i enkätundersökningen framhålls en positiv inställning till cementet. Dock överensstämmer inte alltid övriga svar i enkäten med de som kommit fram under intervjuerna, varför svaren i intervjuerna ges företräde vid tolkningen av resultat. De två respondenter som i enkäten svarat att man ersatt traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA som del av bindemedlet uppger bl.a. i intervjuerna att man har erfarenhet av båda typerna av betong.

Vidare anger endast ett fåtal betongleverantörer i enkäten att man behövt justera betongrecept/arbetssätt vid inblandning av Anläggningscement FA, men vid intervjuerna uppger samtliga att man faktiskt gör receptjusteringar, även om de inte upplevs belastande.

Utifrån de intervjuer som genomförts beskrivs att en något mer omfattande förprovning behövs för att säkerställa att alla krav uppfylls i betong med Anläggningscement FA, men detta beskrivs inte som något betungande för betongleverantörerna. Huruvida detta är kopplat till cementet eller ökade krav på provning av frostbeständighet i de senaste versionerna av SS 137003 och AMA Anläggning, har inte undersökts, men skulle kunna vara del av förklaringen till att man generellt upplever att mer förprovning krävs. I AMA Anläggning 13-20 ställs bl.a ökade krav på frostprovning för betong för exponeringsklasserna XF2 och XF3 som innehåller flygaska eller slagg (AMA 13: EBE.111, 121, 1131, EBH.1, GBC.11; AMA 17: EBE.1, GBC.11; AMA 20: EBE.1, GBC.11). I AMA Anläggning 23 är det däremot ingen skillnad mellan provningar för Anläggningscement FA och traditionellt anläggningscement, så länge man inte tillsätter mer tillsatsmaterial (betong för exponeringsklass XF3 som innehåller mer än 20% flygaska eller slagg ska frostprovas enligt EBE.1 och GBC.11).

I huvudsak handlar justeringar om (sammanvägt svar från enkät och intervjuer) ett ökat behov av mängden luftporbildare för att uppfylla lufthaltskraven. Mängden luftporbildare anses främst vara relaterad till vilken ballast som används (och dess kornform/siktkurva) vid respektive fabrik. I övrigt genomförs vissa andra receptjusteringar av de olika respondenterna, men inga justeringar som uppges av fler än en respondent. En respondent anger ett minskat behov av flyttillsatsmedel pga. flygaskans reologiska egenskaper; en respondent anger minskad stenandel (D/d) och en respondent anger ökad total bindemedelshalt samt lägre vct.

3.3.3 Beställare/byggherre/beställarstöd

Huvuddelen av respondenterna inom kategorin beställare är aktiva inom Vattenkraft och många har erfarenhet av Anläggningscement FA. Av respondenterna som inte har erfarenhet anges "För lite erfarenhet/ej beprövat" vara huvudorsaken.

Den viktigaste fördelen som beskrivs, av huvuddelen av respondenterna, är minskad klimatpåverkan genom lägre CO₂-utsläpp. Merparten av respondenterna uppger också att man "inte upplever några problem med produkten"; en beskriver den som en "standardprodukt" och "likvärdig traditionellt anläggningscement med endast CEM I". Detta tolkas som att Anläggningscement FA fungerar som tänkt och att man överlag är nöjd med produkten.

Enskilda respondenter uppger att de anser Anläggningscement FA vara en bättre produkt; en annan att det är en sämre produkt, men det bör noteras att detta endast är enskilda respondents svar.

En stor andel av respondenterna anger dock att cementet leder till en ogynnsam värmeutveckling i grövre konstruktioner. Flera av dessa respondenter beskriver också att andra åtgärder utförs för att minimera värmeutvecklingen och minska kylbehovet eftersom värmeutvecklingen är en stor fråga i just vattenkraftsprojekt,

så det är viktigt att poängtera att detta beskrivs i generell bemärkelse, inte jämfört med traditionellt anläggningscement. "Ogynnsamt hög värmeutveckling sommartid" borde också vara kopplat till årstiden och inte cementet. Ingen data tyder på att värmeutvecklingen skulle vara högre med Anläggningscement FA jämfört med traditionellt anläggningscement. Denna värmeutveckling beskrivs också som gynnsam vintertid.

3.3.4 Konsult

Generellt konstateras att kunskapen om Anläggningscement FA är låg bland svarande konsulter alternativt att frågornas utformning inte är relevanta för konsulternas arbetssätt.

Mindre än hälften av respondenterna uppger att de har erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement med betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet, men ingen uppger att de har erfarenhet av bindemedel endast bestående av Anläggningscement FA. Detta kan tolkas som att man antingen inte förstår frågan, att man vill belysa mer "spännande" projekt; eller att det endast är i dessa "specialfall" konsulter blir informerade om/delaktiga i val av bindemedel. I mer traditionella projekt är det också mer sällan som konsulter får någon återkoppling på utförandet.

Endast hälften av respondenterna (ej medräknat de som uppgett att de inte har erfarenhet av Anläggningscement FA) anser att de har tillräcklig kunskap/data för att kravställa på ett korrekt sätt för utförande med Anläggningscement FA. Samma respondenter anser att de har tillräcklig kunskap/data för att genomföra relevanta mognadsgradsutvecklings- och temperaturutvecklingsberäkningar, men ingen av respondenterna anser sig ha tillräcklig kunskap/data för att kunna bestämma betongens långtidsegenskaper (krypning och krympning). Dessa typer av beräkningar utförs också ofta av entreprenören själv, även om de ibland utförs av konsulter.

Den generella tolkningen av resultaten är att man idag kravställer "som man alltid gjort", utan reflektion över vilket bindemedel som kommer användas i betongen. Detta kan troligen härledas till att möjligheten att använda fler cementtyper med större mängd flygaska, slagg och silikastoft infördes i början av 2022 i och med den reviderade versionen av tillämpningsstandarden SS 137003. Däremot konstateras att om man ska möjliggöra användningen av klimatförbättrad betong på fler nivåer, utan avsteg från kravställningar i förfrågningsunderlag, bör utrymme ges åt andra cement än traditionella CEM I (anläggnings-)cement.

3.3.5 Betong där Anläggningscement FA utgör del av bindemedlet

Erfarenheter som beskrivs i detta avsnitt avser betong med bindemedel i form av Anläggningscement FA i kombination med flygaska som tillsatsmaterial. För denna betong utförs vanligen flera justeringar gällande både betongrecept och arbetssätt. Utifrån de erfarenheter som sammanställts i denna analys beskrivs ett förfarande där detta görs i samverkan mellan beställare/entreprenör/betongleverantör/konsult. Vidare beskrivs recept-/utförande-optimeringar som projektspecifika.

För vattenkraftsprojekt beskrivs i huvuddrag åtgärder för att minska värmeutvecklingen/kylbehovet i grövre konstruktioner (svar från både enkät och intervjuer); samt för att minska klimatavtrycket från betongen.

Justeringar avser:

- Tillsatsmaterial
 - Flygaska som tillsatsmaterial blandas in i betongen, vilket ger 1) en minskad värmeutveckling i betongen, och 2) ett reducerat klimatavtryck.
- Tillsatsmedel:
 - Pga. flygaskans täthet (både i cement och som tillsatsmaterial) krävs ett ökat behov av mängden luftporbildare för att uppfylla lufthaltskraven i betongen. Cementets liksom flygaskans egenskaper anses variera med "batch", varför en mer omfattande förprovning generellt görs i dessa projekt. I vissa fall görs dock avsteg från lufthaltskraven (då projektet tillåter och betongen exempelvis klarar provning av frostbeständighet).
- Ballast
 - Ballastgradering och $D_{\max}$ justeras för att minska värmeutvecklingen ytterligare. Vanligen används ett större $D_{\max}$ i grövre konstruktioner, om armering och tätskikt tillåter detta.
- Den totala bindemedelshalten kan vid behov ökas, för att uppfylla hållfasthetskraven, alternativt minskas, för att reducera värmeutvecklingen.

Svarsgrupperna Entreprenör, Beställare och Betongleverantör beskriver generellt att betongen blir bättre med Anläggningscement FA (bättre konsistens, gjutbarhet och pumpbarhet), men att dess positiva egenskaper förstärks ytterligare med extra tillsatsmaterial (oavsett om det är flygaska eller exempelvis slagg). Inom kategorin Entreprenör beskrivs även en bättre arbetsmiljö och ekonomiska besparingar som fördelar med denna betong.

2/3 uppger att bindetiden inte förändras med extra tillsats av flygaska, vilket den dock borde göra då cement ersätts av flygaska, se avsnitt 2.2.1, Härdning. Det är dock möjligt att detta inte har någon praktisk betydelse för utförandet och att det därför inte uppmärksammas. Däremot uppskattar 3/3 att hållfasthetsutvecklingen är långsammare i betong med extra tillsats av flygaska, vilket överensstämmer med litteraturen, se avsnitt 2.2.1, Hållfasthetsutveckling. Att variationerna i uppmätt lufthalt upplevs öka med extra tillsats av flygaska, stöds också av litteraturen, se avsnitt 2.2.3, Frostbeständighet och antas vara relaterad till mängden restkol i flygaskan.

3.4 ÖVERGRIPANDE SLUTSATSER

Praktiska erfarenheter av Anläggningscement FA gör gällande att det vid betongtillverkning krävs en något mer omfattande förprovning för att framförallt säkerställa lufthalten i betongen. I övrigt beskrivs Anläggningscement FA fungera i stort sett som traditionellt anläggningscement, med liknande värmeutveckling, hållfasthetsutveckling och samma utförande. De största upplevda skillnaderna är att arbetbarheten upplevs som något bättre och att det tar något längre tid innan glättning kan påbörjas.

För att minska värmeutvecklingen i grova konstruktioner kan andra receptoptimeringar och arbetssätt utföras, där extra tillsats av flygaska, är en möjlig åtgärd.

4 Referenslista

- Appelquist K., Trägårdh J. & Mueller U. (2017). An ASR-preventive strategy for durable concrete in Sweden. XIV DBMC – 14th International Conference on Durability of Building Materials and Components, 29-31 May 2017, Ghent University, Belgium. DOI: https://www.researchgate.net/publication/329151961_An_ASR-preventive_strategy_for_durable_concrete_in_Sweden.
- Betongföreningen (2020). ASR i svensk betong – vägledning för nya och befintliga konstruktioner. Betongrapport nr 18, utgåva 1. Cementa/Heidelberg Materials Cement (2023). Cementa produktdatablad anläggningscement FA.
- Cementa/Heidelberg Materials Cement (2023). Anläggningscement FA För klimatförbättrad anläggningsbetong. Anläggningscement FA smart val vid omfattande broprojekt.
- Cementa/Heidelberg Materials Cement (2023). Cementa produktdatablad anläggningscement Slite.
- Cementa/Heidelberg Materials Cement (2023). Cementa produktdatablad anläggningscement Brevik.
- Fossilfritt Sverige (2018). Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft – Betongbranschen. DOI: [https://www.svenskbetong.se/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=59&Itemid=Heinz D., Heisig A. \(2018\). Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie \(KIT\) - Betone der Zukunft. KIT Scientific Publishing.](https://www.svenskbetong.se/component/edocman/?task=document.viewdoc&id=59&Itemid=Heinz D., Heisig A. (2018). Flugasche und Hüttensand – Zusatzstoffe mit Zukunft? 14. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - Betone der Zukunft. KIT Scientific Publishing.)
- Helsing E. (2020). Nedbrytning hos betong med slagg och flygaska efter fyra vintersäsonger vid RV40. RISE Rapport 2020:40.
- Hobbs D.W. (2002). Alkali-silica reaction in concrete. In: Structure and Performance of Cements. Bensted J, Barnes P (eds) Spon Press, London, p 265-281. Lohtia R.P., Nautiyal B.D., Jain O.P. (1976). Creep of fly ash concrete. ACI Journal 73: 469–472.
- Lothenbach, B., Scrivener, K., Hooton, R.D. (2011). Supplementary cementitious materials. Cement and Concrete Research 41 (2011) 1244-1256.
- Löfgren, I. (2017). Tillsatsmaterial. Betonghandbok Material, Del 1. Kap. 6. AB Svensk Byggtjänst.
- Mulenga DM, Stark J, Nobst P (2003) Thaumasite formation in concrete and mortars containing fly ash. Cement & Concrete Composites 25: 907–912.
- Neville, A.M. (2011). Properties of Concrete. 5e utgåvan. Pearson Education Limited.

- Newman J., Choo B.S. (2003). *Advanced Concrete Technology, Constituent Materials*. Elsevier (Butterworth Heinemann).
- Nordström E., Hassanzadeh M. (2018). Inblandning av flygaska i vattenbyggnadsbetong. Energiforsk rapport 2018:478.
- Regeringskansliet (2017). Det klimatpolitiska ramverket. DOI: <https://www.regeringen.se/artiklar/2017/06/det-klimatpolitiska-ramverket/>
- Shehata M.H. & Thomas M.D.A. (2002). Use of ternary blends containing silica fume and fly ash to suppress expansion due to alkali-silica reaction in concrete. *Cement & Concrete Research*, Vol 32 (3), pp. 341-349.
- Siddique R. (2008). *Waste Materials and By-Products in Concrete*. Springer Engineering Materials.
- Siddique R., Khan M.I. (2011). *Supplementary Cementing Materials*. Springer Engineering Materials.
- Snellings R., Mertens G., Elsen J., (2012). *Supplementary Cementitious Materials*. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, Vol. 74 pp. 211-278. Svensk betong, 2022: Vägledning klimatförbättrad betong, utgåva 2, 24pp.
- Thomas M.D.A. (2011). *The effect of supplementary cementing materials on alkali-silica reaction: A review*. *Cement & Concrete Research*, Vol 41, pp. 1224-1231.
- Wesche K., (1991). *Fly Ash in Concrete – Properties and Performance*. RILEM Report 7.

Standarder

- SS 137003:2021. Betong - Användning av SS-EN 206:2013+A2:2021 i Sverige
- SS-EN 197-1:2011. Cement – Part 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement
- SS-EN 197-2:2020. Cement – Part 2: Bedömning och fortlöpande kontroll av prestanda
- SS-EN 450-1: 2012. Flygaska för betong – Del 1: Definition, specifikationer och kriterier för överensstämmelse
- SS-EN 15167-1:2006. Mald granulerad masugnsslagg för användning i betong, bruk och injekteringsbruk – Del 1: Definitioner, specifikationer och kriterier för överensstämmelse
- SS 134202:2021. Cement – Ordinär cement med moderat värmeutveckling (MH-cement) – Krav
- SS 134203:2022. Cement – Ordinär cement med låg alkalihalt (LA-cement) – Krav
- SS 134204:2022. Cement – Nationella sulfatresistenta ordinära cement (NSR-cement) – Krav

BILAGA 1: EGENSKAPER HOS ANLÄGGNINGSCEMENT FA OCH TRADITIONELLA ANLÄGGNINGSCEMENT ENLIGT CEMENTAS PRODUKTDATABLAD 2023

Tabellen visar egenskaper av Anläggningscement FA och Anläggningscement Brevik/Slite, enligt Cementas produktdatablad (Cementa 2023).

	Värde	Intervall	Krav enligt SS-EN 197-1
Kompaktdensitet (kg/m³)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	3000	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	3200	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	3200	±20	
Skrymdensitet (kg/m³)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	1250	±250	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	1250	±250	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	1250	±250	
Specifik yta (blaine, m²/kg)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	400	±30	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	360	±30	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	390	±30	
Passerande 32 µm (%)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	73	±3	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	72	±3	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	73	±3	
Värmeutveckling (kJ/kg)			
1 dygn			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	170	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	170	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	170	±20	
3 dygn			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	240	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	240	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	240	±20	
7 dygn			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	270	±20	≤290 ¹
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	270	±20	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	270	±20	
Alkali, Na₂O-ekv (%)²			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	0,54	±0,05	≤0,6 ²
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	0,55	±0,05	≤0,6 ²
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	0,55	±0,05	≤0,6 ²
Sulfathalt, SO₃ (%)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	2,8	±0,2	≤3,5 ³
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	2,6	±0,2	≤3,0

Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	2,8	±0,2	≤3,0
C₃A, klinker (%)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	2	±0,7	≤3 ³
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	2	±0,8	≤3
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	2	±0,7	≤3
Klorid, Cl⁻ (%)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	0,01	±0,01	≤0,10
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	0,03	±0,01	≤0,10
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	0,02	±0,01	≤0,10
Vattenlöslig Cr⁶⁺ (PPM)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	0-2		≤2 ⁴
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	0-2		≤2 ⁴
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	0-2		≤2 ⁴
Ljushet (%)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	22	±1	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	17	±1	
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	23	±1	
Glödförlust, flygaska (%)			
Anläggningscement FA - CEM II/A-V 42,5 N - MH/LA/NSR	<5,0 %	-	≤5,0
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Brevik	-	-	-
Anläggningscement CEM I 42,5 N SR3 MH/LA Slite	-	-	-

¹Enligt krav i SS 134202.

²I klinkern enligt krav i SS 134203.

³Enligt krav i SS 134204. Kravet på C₃A gäller klinkern.

⁴Punkt 47 i bilaga XVII till REACH.

BILAGA 2: WEBBENKÄT, FRÅGOR OCH SAMMANSTÄLLNING AV SVAR

1. Inom vilket område är du aktiv?

Vattenkraft	18
Vindkraft	2
Gruvdammar	0
Annat	12



2. Vilken roll beskriver dig bäst? (Vill du svara utifrån olika roller ber vi dig svara på formuläret flera gånger)

Entreprenör	7
Cement-/betongleverantör	6
Beställare/byggherre/beställarst...	11
Konsult	8



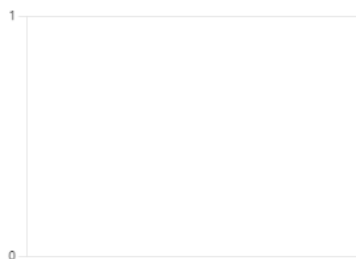
3. Har du erfarenhet av betong med Anläggningscement FA? (Entreprenör)

Ja	7
Nej	0
Vet ej	0



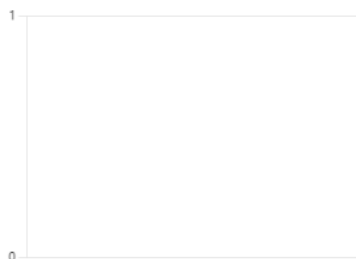
4. Om erfarenhet saknas - varför har ni inte använt Anläggningscement FA?

Ej i betongleverantörens sortim...	0
För dyrt	0
För lite erfarenhet/ej beprövat	0
Dåliga erfarenheter vid tidigare ...	0
Aldrig varit en fråga	0
Vet ej	0
Annat	0



5. Vad skulle få er att använda Anläggningscement FA (eller annan typ av klimatförbättrad betong) i framtiden?

Tydligare klimatmål	0
Ökad resurseffektivitet	0
Minskade kostnader	0
Kortare produktionstid	0
Mer erfarenhet	0
Vet ej	0
Annat	0



6. Har du erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA?

Ja, bindemedel endast beståend...	3
Ja, där Anläggningscement FA u...	3
Nej	0
Vet ej	1



7. Anläggningstyp:

Hus	0
Industri	0
Anläggning	7



8. Om "anläggning", beskriv typ av anläggning:

Vattenbyggnad (vattenkraft, ha...	7
Vatten och avlopp	0
Vindkraft	2
Bro, järnväg, väg, tunnel	1
Annat	0



9. Ange anläggningsdimension nedan:

Konstruktioner med en tjocklek ...	1
Konstruktioner med en tjocklek ...	2
Både konstruktioner med en tjö...	4



10. Vad var huvudmotivet till att Anläggningscement FA användes?

Företagets klimatmål	1
Förespråkades av konsult	0
Förespråkades av byggherre	1
Ej aktivt val	2
Vet ej	0
Annat	3



11. Har du märkt någon förändring i pumpbarhet jämfört med traditionella anläggningcement?

Försämring	0
Förbättring	1
Ingen förändring	6



12. Hur försämrades/förbättrades pumpbarheten?
(Valfri)

1
Svar

Senaste svar

13. Ändrades ursprungligt recept p.g.a. detta?
(Valfri)

Ja	1
Nej	0
Vet ej	0



14. Hur?
(Valfri)

1
Svar

Senaste svar

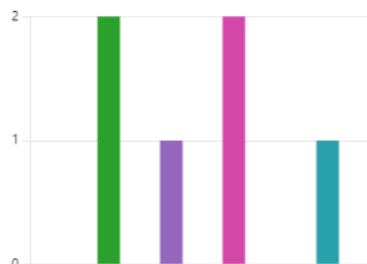
15. Har du märkt någon förändring i gjutbarhet/arbetbarhet jämfört med traditionella anläggningscement?

Försämring	0
Förbättring	2
Ingen förändring	5



16. Om du har valt "Försämring/Förbättring" på sistn frågan, välj vilka egenskaper som har förändrats:

Ökad komprimerbarhet	0
Minskad komprimerbarhet	0
Förbättrad mobilitet (t. ex. utfyll...	2
Försämrad mobilitet	0
Förbättrad stabilitet (t.ex. minsk...	1
Försämrad stabilitet (t. ex. ökad ...	0
Förbättrad konsistens	2
Försämrad konsistens	0
Ökat vibreringsbehov	0
Minskat vibreringsbehov	1
Annat	0



17. Ändrades ursprungligt recept p.g.a. detta?
(Valfri)

Ja	1
Nej	1
Vet ej	0



18. Hur?
(Valfri)

1
Svar

Senaste svar

19. Har du märkt någon förändring när det gäller efterbehandling?

Försämring	2
Förbättring	1
Ingen förändring	4



20. Om du har valt "Försämring/Förbättring" på sistau frågan, välj vilka egenskaper som har förändrats:

Minskad tidåtgång för glättning	0
Mer tid krävdes för glättning	0
Längre tid krävdes innan glättni...	2
Härdningsmetod behövde juste...	0
Försämrade ytfrish	0
Annat	3



21. Har du noterat en ökad eller minskad tendens till sprickbildning orsakad av plastisk sättning? (sättsprickor)

Ja, ökad	0
Ja, minskad	3
Nej	4
Vet ej	0



22. Har du noterat en ökad eller minskad tendens till sprickbildning orsakad plastisk krympning?

Ja, ökad	0
Ja, minskad	3
Bromsa	0
Nej	4
Vet ej	0



23. Har bindetiden förändrats märkbart i jämförelse med traditionellt anläggningcement?

Ja	0
Nej	6
Vet ej	1



24. Om bindetiden förändrats, hur?
(Valfri)

0
Svar

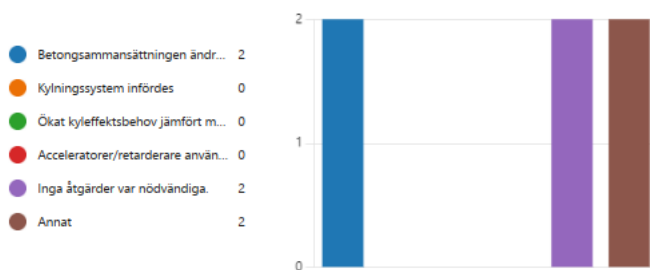
Senaste svar

25. Förändrades värmeutvecklingen under hårdnandet märkbart jämfört med traditionellt anläggningcement?

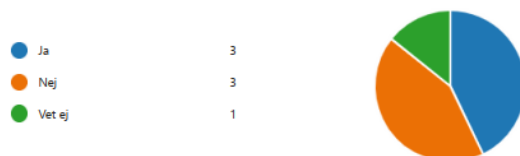
Ja	4
Nej	2
Vet ej	1



26. Om du har svarat "Ja" på sistau frågan, välj vilka åtgärder som var nödvändiga:



27. Har du noterat en förändrad hållfasthetsutveckling?



28. Hur?
(Valfri)

3
Svar Senaste svar

29. Har ni använt acceleratorer/retarderare för att påskynda/bromsa
hållfasthetsutvecklingen?
(Valfri)

3
Svar Senaste svar

30. Har betongen uppfyllt krav gällande lufthalt i den färska betongen?



31. Hur hanterades detta?
(Valfri)

1
Svar Senaste svar

32. Har ökade variationer i uppmätt lufthalt hos levererad betong på site observerats?



33. Har Anläggningcement FA på något annat sätt påverkat gjutningens utförande eller
kravställning?



34. Hur?

2

Svar

Senaste svar

35. Har du upplevt skillnader mellan grova/tunna konstruktioner?

Ja	1
Nej	4
Vet ej	2



36. Hur?

1

Svar

Senaste svar

37. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA i SKB (självkompakterande betong)?

Ja	2
Nej	5



38. Har SKB med Anläggningscement FA påverkat betongens tillstyvnandetid?

Ja, ökad	0
Ja, minskad	0
Nej	1
Vet ej	1



39. Har SKB med Anläggningscement FA påverkat betongens pumpbarhet?

Ja, till det sämre	0
Ja, till det bättre	0
Nej	2
Vet ej	0

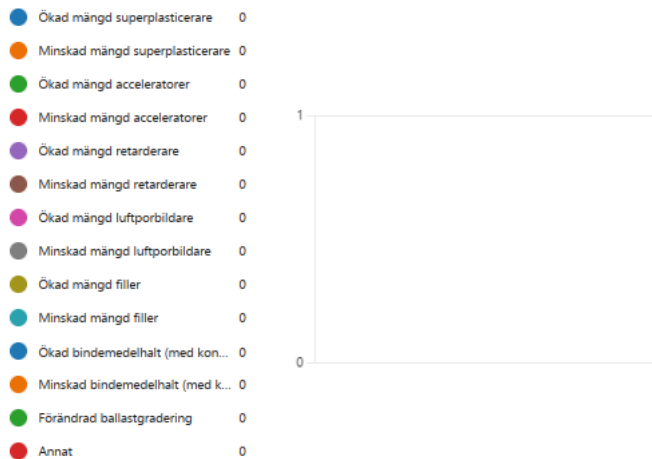


40. Har ni behövt justera betongrecept/arbetssätt vid inblandning av Anläggningscement FA i SKB för att uppfylla ställda krav?

Ja	0
Nej	2
Vet ej	0



41. Hur justerades betongrecept/arbetssätt vid inblandning av Anläggningscement FA i SKB?



42. Har SKB med Anläggningscement FA använts för undervattensgjutning?



43. Beskriv dina erfarenheter. (Valfri)

0
Svar

Senaste svar

44. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA i UV-betong (undervattensbetong)?



45. Har Anläggningscement FA använts för konventionell UV-betong med antiutvaskningsmedel?



46. Beskriva dina erfarenheter. (Valfri)

0

Svar

Senaste svar

47. Har ni upplevt någon förändring gällande antalet reklamationer med Anläggningscement FA?

Ja, ökat	0
Ja, minskat	0
Nej	7
Vet ej	0



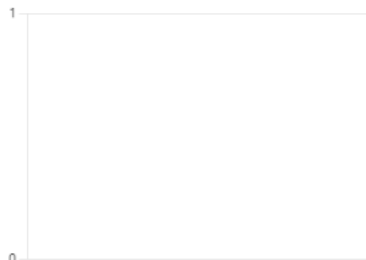
48. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA? (Cement-betonglev)

Ja	6
Nej	0
Vet ej	0



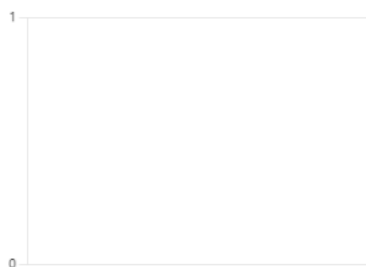
49. Om erfarenhet saknas - varför har ni inte använt Anläggningscement FA?

Ej i vårt sortiment	0
För dyrt	0
För lite erfarenhet/ej beprövat	0
Dåliga erfarenheter vid tidigare ...	0
Aldrig varit en fråga	0
Vet ej	0
Annat	0

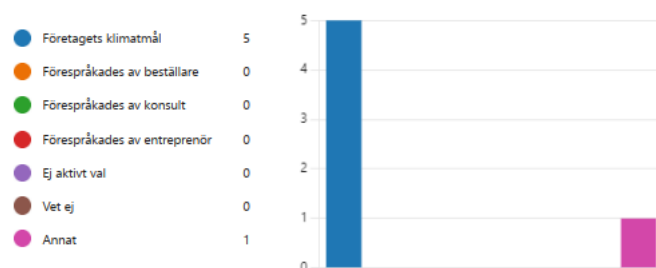


50. Vad skulle få er att använda Anläggningscement FA (eller annan typ av klimatförbättrad betong) i framtiden?

Tydligare klimatmål	0
Kravställning	0
Ökad resurseffektivitet	0
Minskade kostnader	0
Kortare produktionstid	0
Mer erfarenhet	0
Vet ej	0
Annat	0



51. Vad var huvudmotivet till att Anläggningscement FA användes?



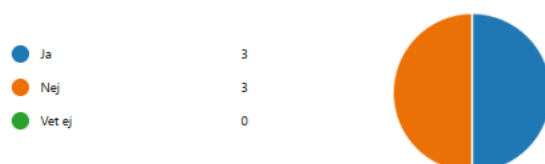
52. Har du ersatt traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA?



53. Har du ersatt andra typer av cement (ej anläggningscement) med Anläggningscement FA?



54. Har ni behövt justera betongrecept/arbetsätt vid inblandning av Anläggningscement FA för att uppfylla ställda krav?



55. Har andra tillsatsmaterial använts?



56. Har avsikten varit för att ersätta andelen Portlandcement?



57. Var avsikten för användning som filler?

Ja	0
Nej	2
Vet ej	0



58. Var avsikten för något annat ändamål?
(Valfri)

0

Svar

Senaste svar

59. Har ni sett ett behov av justeringar gällande tillsatsmedel?

Ja	3
Nej	0
Vet ej	0



60. Har ni märkt någon förändring gällande behov av luftporbildare? (ökat/minskat behov)

Ja, ökat	3
Ja, minskat	0
Ändrad blandningssekvens/blan...	0
Nej	0
Vet ej	0



61. Hur ändrades blandningssekvens/blandningstiden?
(Valfri)

0

Svar

Senaste svar

62. Har ni sett ett ökat/minskat behov av superplasticerare?

Ja, ökat	0
Ja, minskat	0
Nej	3
Vet ej	0



63. Har ni sett ett ökat/minskat behov av acceleratorer?

Ja, ökat	0
Ja, minskat	0
Nej	3
Vet ej	0



64. Har ni sett ett ökat/minskat behov av retarderare?

Ja, ökat	0
Ja, minskat	0
Nej	3
Vet ej	0



65. Har andra tillsatsmedel behövts?

Ja	0
Nej	3
Vet ej	0



66. Vilka? (Typ, ej produktnamn)

0
Svar

Senaste svar

67. Har ballastgraderingen ändrats?

Ja	2
Nej	1
Vet ej	0



68. Ökad/minskad stenandel (grov/finfraktion (D/d))?

Ökad	1
Minskad	1
Vet ej	0



69. Har Dmax (storlek) ändrats?

Ja	0
Nej	2
Vet ej	0



70. Hur har Dmax ändrats?
(Valfri)

0

Svar

Senaste svar

71. Har ballastgraderingen ändrats på något annat sätt?
(Valfri)

0

Svar

Senaste svar

72. Har bindemedelshalten ändrats?

Ja	2
Nej	1
Vet ej	0



73. Har behovet av total bindemedelshalt ökat eller minskat?

Ökat	2
Minskat	0
Vet ej	0



74. Om ökat eller minskat, vad var anledningen?
(Valfri)

1

Svar

Senaste svar

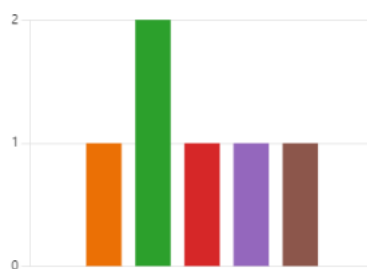
75. Har vct-ekvivalenten ändrats?

Ja, högre	0
Ja, lägre	1
Nej	2
Vet ej	0



76. Varför har receptjusteringen/-arna utförts?

Förbättrad temperaturutveckling	0
Förbättrad hållfasthetsutveckling	1
Förbättrad gjutbarhet	2
Förbättrad pumpbarhet	1
För att förändra betongens hållf...	1
För att uppfylla luftkrav	1
Annat	0



77. Har ni behövt ändra temperaturen på levererad betong?

Ja	0
Nej	3
Vet ej	0



78. Har andra åtgärder behövt vidtas för att uppfylla ställda krav?

Ja	0
Nej	3
Vet ej	0



79. Vilka?

0

Svar

Senaste svar

80. Har du erfarenhet av Anläggningcement FA i SKB (självkompakterande betong)?

Ja	4
Nej	2



81. Har SKB med Anläggningscement FA påverkat betongens tillstyvnandetid?

Ja, ökad	0
Ja, minskad	0
Nej	3
Vet ej	1



82. Har SKB med Anläggningscement FA påverkat betongens pumpbarhet?

Ja, till det sämre	0
Ja, till det bättre	1
Nej	3
Vet ej	0



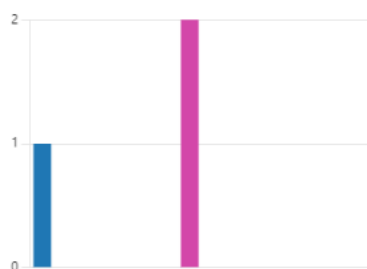
83. Har ni behövt justera betongrecept/arbetssätt vid inblandning av Anläggningscement FA i SKB för att uppfylla ställda krav?

Ja	2
Nej	2
Vet ej	0



84. Hur justerades betongrecept/arbetssätt vid inblandning av Anläggningscement FA i SKB?

Ökad mängd superplasticerare	1
Minskad mängd superplasticerare	0
Ökad mängd acceleratorer	0
Minskad mängd acceleratorer	0
Ökad mängd retarderare	0
Minskad mängd retarderare	0
Ökad mängd luftporbildare	2
Minskad mängd luftporbildare	0
Ökad mängd filler	0
Minskad mängd filler	0
Ökad bindemedelhalt (med kon...)	0
Minskad bindemedelhalt (med k...)	0
Förändrad ballastgradering	0
Annat	0



85. Har SKB med Anläggningscement FA använts för undervattensgjutning ?

Ja	3
Nej	0
Vet ej	1



86. Beskriv dina erfarenheter.
(Valfri)

1

Svar

Senaste svar

87. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA i UV-betong (undervattensbetong)?

Ja	2
Nej	4



88. Har Anläggningscement FA använts för konventionell UV-betong med antiutvaskningsmedel?

Ja	2
Nej	0
Vet ej	0



89. Beskriv dina erfarenheter.
(Valfri)

1

Svar

Senaste svar

90. Har ni upplevt någon förändring gällande antalet kasserade bilar/m3 med Anläggningscement FA?

Ja	1
Nej	5
Vet ej	0



91. Beskriv dina erfarenheter. (Valfri)

1

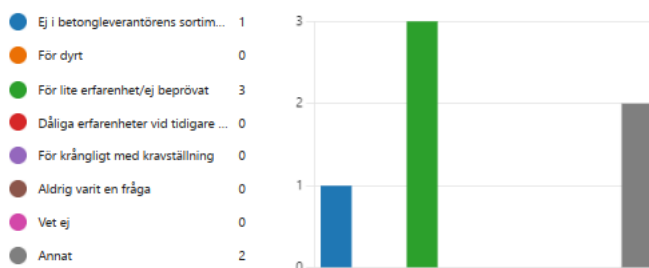
Svar

Senaste svar

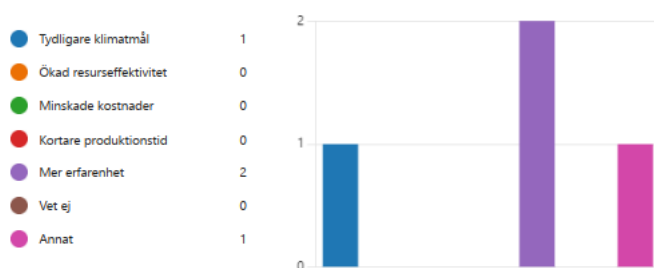
92. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA? (Byggherre)



93. Om erfarenhet saknas - varför tror du ni inte använt Anläggningscement FA? (Flera alternativ möjliga)



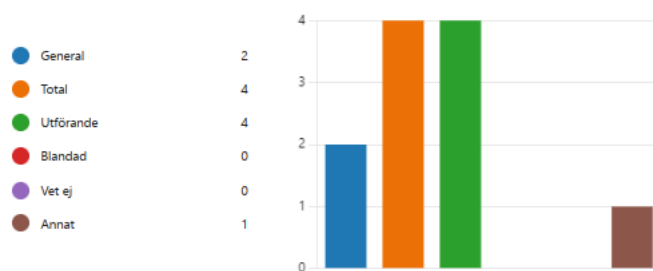
94. Vad skulle vara huvudargumentet för att använda Anläggningscement FA (eller annan typ av klimatförbättrad betong) i framtiden?



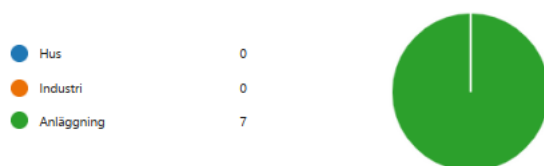
95. Har du erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA?



96. Typ av entreprenadform för projektet?



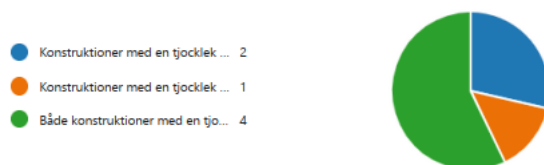
97. Anläggningstyp:



98. Om "anläggning", beskriv typ av anläggning:



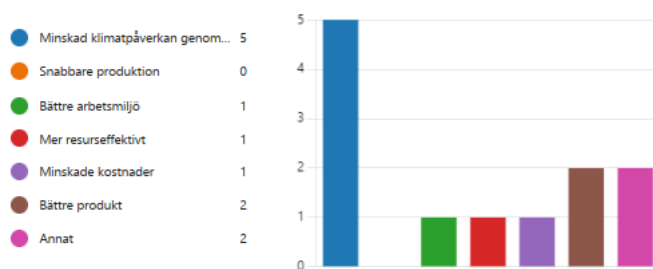
99. Ange anläggningsdimension nedan:



100. Vad var huvudmotivet till att Anläggningscement FA användes i det valda projektet?



101. Vilka fördelar har du upplevt med Anläggningscement FA?



102. Vilka nackdelar har du upplevt med Anläggningscement FA?



103. Om Anläggningscement FA i framtiden skulle justeras, vilka förändringar skulle du vilja se?

7

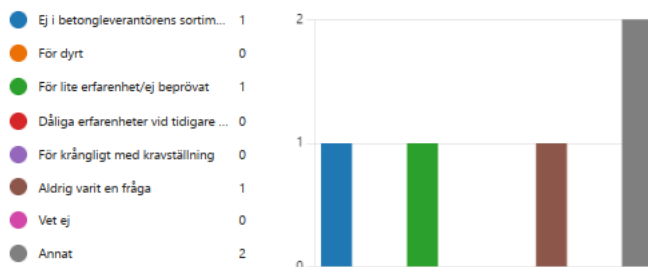
Svar

Senaste svar

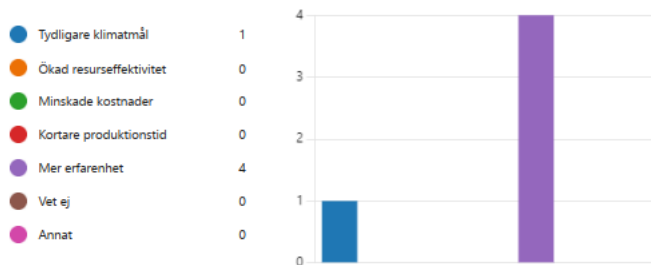
104. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA? (Konsult)



105. Om erfarenhet saknas - varför har ni inte använt Anläggningscement FA?



106. Vad skulle få er att använda Anläggningscement FA (eller annan typ av klimatförbättrad betong) i framtiden?



107. Har du erfarenhet av att ersätta traditionellt anläggningscement med Anläggningscement FA?



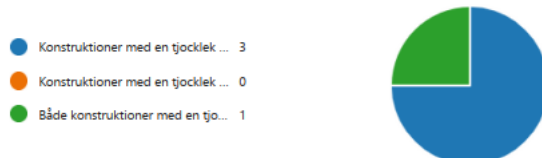
108. Anläggningstyp:



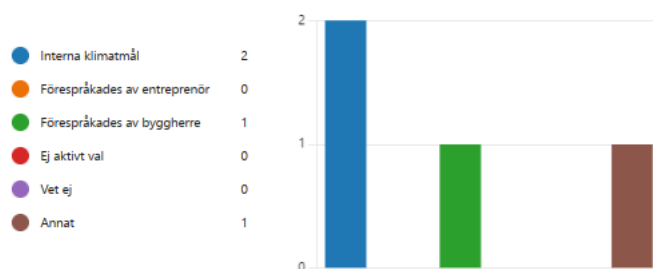
109. Om "anläggning", beskriv typ av anläggning:



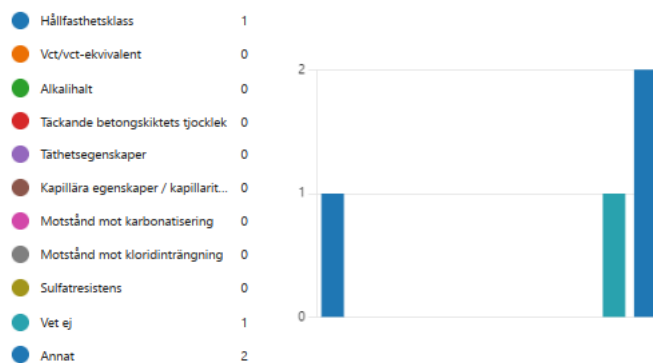
110. Ange anläggningsdimension nedan:



111. Vad var huvudmotivet till att Anläggningscement FA användes?



112. Har införandet av Anläggningscement FA, vid projektering, påverkat kravställning gällande någon/några av följande parametrar?



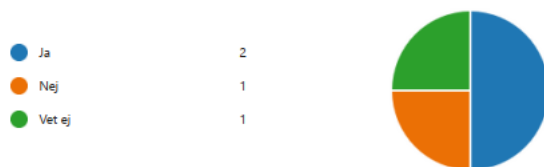
113. Anser du dig ha tillräcklig kunskap/data om Anläggningscement FA för att kunna kravställa på ett korrekt sätt?



114. Anser du dig ha tillräcklig data om Anläggningscement FA för att kunna genomföra relevanta mognadsgradsutvecklingsberäkningar?



115. Anser du dig ha tillräcklig data om Anläggningscement FA för att kunna genomföra relevanta temperaturutvecklingsberäkningar?



116. Anser du dig ha tillräcklig data för att kunna bestämma betongens långtidsegenskaper (krypning och krympning)?



117. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA i SKB (självkompakterande betong)?



118. Har SKB med Anläggningscement FA påverkat betongens tillstyvnandetid?



119. Har SKB med Anläggningscement FA påverkat betongens pumpbarhet?



120. Har SKB med Anläggningscement FA använts för undervattensgjutning?

Ja	0
Nej	0
Vet ej	1



121. Beskriv dina erfarenheter.
(Valfri)

0

Svar

Senaste svar

122. Har du erfarenhet av Anläggningscement FA i UV-betong (undervattensbetong)?

Ja	0
Nej	4



123. Har Anläggningscement FA använts för konventionell UV-betong med antiutvaskningsmedel?

Ja	0
Nej	0
Vet ej	0

124. Beskriv dina erfarenheter.
(Valfri)

0

Svar

Senaste svar

125. Har du någon övrig erfarenhet/kommentar som du skulle vilja dela med dig av?

13

Svar

Senaste svar

Beställare (fråga 125):

- Ogynnsamt hög värmeutveckling sommartid vid varma sommardagar, runt/strax över 25 grader. Gynnsam värmeutveckling vintertid, flera tuffa tunna gjutningar med kraftiga minusgrader och klen isolerad form som utvecklats väl. Problem med blåsor i ovanytan på ett ställe, gäller platta på mark och bjälklag (p-hus).

- Det vore bra om man nyttjade möjligheten att få lägre värmeutveckling från Anläggning FA istället för att öka malningsgraden så att samma värmeutveckling som vanlig Anl. erhålls
- Erfarenheten i de kontakter jag har/haft med mina arbetsplatser är det inga problem med pumpbarhet, bearbethet, temperaturutveckling och ej heller den färdiga produkten med hållfasthet eller sprickor
- Jag tror konsulterna kan ha stor påverkan i frågan med att tydligt föreskriva detta i den tekniska beskrivningen.
- Ur min erfarenhet är Anläggningscement FA likvärdig traditionellt anläggningscement med endast CEM I. Jag ser Anläggning FA som en standardprodukt och arbetar för använda cement som är mer klimatförbättrade i projekten.
- Anläggningscement, 45 sten och ca 25% flygaska ger en bättre betong! det tillåter oss att göra större gjutningar utan kylrör vilket skapar färre fogar. Det projektet jag jobbar med för närvarande använder vi ovanstående recept med god framgång vi kommer att använda ca 12 000m³ betong. Detta recept är något jag har erfarenhet ifrån från min tid utomlands där man använder det ofta. FA cement är i mina ögon en dålig produkt där man har en mer finmald cement och blandat i flygaska. (vet inte om det är för att man vill spara pengar på att använda byggcement blanda i flygaska och kalla det anläggningscement för att spara pengar)
- Vi har blandat ut FA med ytterligare andel flygaska samt större ballast än normalt för att få bättre naturlig kylning

Entreprenör (fråga 125):

- Här använder vi anläggningscement / FA och d-max 45 för att försöka minimera sprickbildning.
- Lite synd bara att cementet är mer finmalt än traditionell anläggningscement, man hade kunnat fått ännu bättre resultat vid extra inblandning av flygaska vad gäller temperaturutveckling.

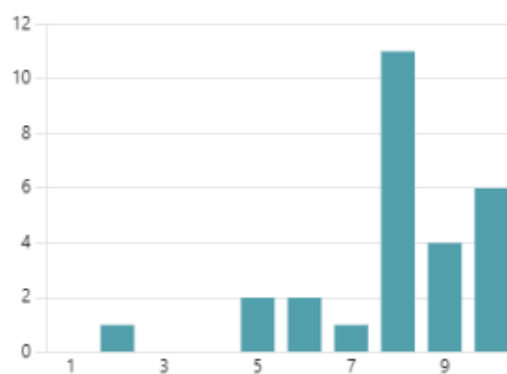
Konsult (fråga 125):

- Har enbart erfarenhet i ett uppdrag där jag inte varit med under processen från början. Bygget har idag enbart gjutit ett par gjutdelar. Antar att mer feedback från beställare och entreprenör kommer i ett senare skede.
- Jobbar mer som forskare en konsult så det kan vara att jag har lite mer kunskap och tillgång till data angående material parametrar en de som jobbar i industri.

126. Jag upplever att frågorna är relevanta för min roll. (10 Instämmer helt – 1
Instämmer inte alls)

7.96

Genomsnittligt omdöme



ERFARENHETER ANLÄGGNINGSCEMENT FA

Praktiska erfarenheter av betonggjutningar med Anläggningscement FA har insamlats genom en webb-enkät samt intervjuer med ett urval av respondenterna. Dessa samlade erfarenheter visar att Anläggningscement FA fungerar i stort sett som traditionellt anläggningscement; det uppfyller kraven för ett Portlandflygaskcement enligt SS-EN 197-1 och även de krav som anges för cement i AMA Anläggning 13 och i senare versioner; att en något mer omfattande förprovning krävs för att säkerställa lufthalten i betongen; att glättning kan utföras något senare än med traditionellt anläggningscement; men att det generellt upplevs som lättare att arbeta med cementen.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.



Energiforsk