

ERFARENHETER FRÅN GJUTNING AV GROVA BETONGKONSTRUKTIONER

RAPPORT 2019:558



VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM
VATTENKRAFT



Energiforsk

Erfarenheter från gjutning av grova betongkonstruktioner

RICHARD MALM

Förord

Idag genomförs endast ett fåtal projekt där man genomför gjutning av grova vattenbyggnadskonstruktioner. Felaktigt utförda arbeten riskerar att ge problem med exempelvis sprickbildning, vilket förkortar konstruktionens livslängd.

Betongtekniskt program vattenkraft tog därför initiativ till en workshop för att samla de erfarenheter som finns, både från vattenkraftsbranschen och andra branscher, och för att få en utblick framåt. Denna erfarenhetsbank kan stödja beställare, projektörer och utförare i kommande investerings- och reinvesteringsprojekt. Workshopen planerades av Richard Malm, senior konsult vid Sweco och forskare vid institutionen för byggvetenskap vid KTH. Stort tack till alla som presenterade och deltog i workshopen.

Intressenterna i Energiforsk Betongtekniskt program vattenkraft är Fortum Sverige AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Sydkraft Hydropower AB, Umeå Energi AB, Vattenfall AB Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven AB.

Monika Adsten, Energiforsk

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

Sammanfattning

De flesta vattenkraftsanläggningar uppfördes under mitten av 1900-talet, vilket innebär att en stor del av den praktiska erfarenheten av att uppföra dessa anläggningar finns hos de som var yrkesaktiva under perioden. Sedan vattenkraftsutbyggnaden avtog under 1970-talet har inte bara en stor del av de yrkesaktiva gått i pension, även byggnadsmaterial och byggnadstekniker har förändrats. Det är därför viktigt att samla in denna erfarenhet och kunskap från när dessa anläggningar byggdes och att även att inkludera resultaten från den senaste forskningen och utveckling inom området.

Vid gjutning av grova konstruktioner måste betongens värmeutveckling reduceras eller kylas bort för att minska risken för sprickbildning. Därtill finns långsamt hårdnande cement inte längre att tillgå och ballast med mindre maximal storlek används. Båda dessa förändringar har medfört att cementhalten ökat och därmed betongens värmeutveckling under hårdnandet. Utöver att betongkonstruktionerna i många fall är kraftigt armerade innebär införandet av en stor mängd kylrör att gjutning och vibrering av betongen kan bli komplicerad att utföra.

Energiforsk Betongtekniskt program för vattenkraft ordnade därför en workshop om gjutning av grova konstruktioner. Syftet var att bygga upp en erfarenhetsbank som kan stötta beställare, projektörer och utförare med goda och dåliga exempel. Under workshopen diskuterades allt från teori och metodik till praktisk tillämpning och resultatet från denna workshop finns sammanfattade i föreliggande rapport.

Summary

Most of the Swedish dams and hydropower plants were built in the mid-20th century. This means that most of the practical experience from construction of these type of structures belong to the people that was involved in building these old dams. After the 1970s, the construction of hydropower has decreased, many of these people have retired but also there has also been significant development in both construction materials and construction techniques. It is therefore important to gather the experiences from when these power plants were built and to further increase the knowledge to also include the latest research and development.

During casting of massive concrete structures, the heat of hydration has to be reduced or cooled in order to minimize the risk of early age cracking. In addition, the slow hardening cement that was previously used is no longer available and the use of large aggregates is not commonly used. Both of these changes has contributed in that the cement content has increased and thereby also increasing the hydration heat during hardening. Hydraulic concrete structures are often heavily reinforced, which means that including large quantities of cooling pipes may have a negative impact the concrete casting and vibration of the concrete.

The concrete development program for hydropower within Energiforsk therefore arranged a workshop about casting of massive concrete structures. The aim was to build a knowledge bank that can support clients, consultants and contractors with good and poor examples. This report summarizes all the different aspects that was covered and discussed during the workshop, such as theory and methodology to practical aspects of concrete casting.

Innehåll

1	Inledning	7
1.1	Bakgrund	7
1.2	Syfte	8
1.3	Mål	8
1.4	Organisation	8
1.5	Rapportens disposition	8
2	Workshop	9
2.1	Program	9
2.2	Innehåll	10
2.2.1	Teoretisk inledning	10
2.2.2	Erfarenheter från vattenkraftsområdet	11
2.2.3	Internationella erfarenheter	11
2.2.4	Erfarenheter från angränsande branscher	12
2.2.5	Framtida utvecklingar inom material och gjutteknik	12
3	Sammanfattning och slutsatser	13
3.1	Sammanfattning	13
3.1.1	Teoretisk inledning	13
3.1.2	Erfarenheter från vattenkraftsområdet	15
3.1.3	Internationella erfarenheter	17
3.1.4	Erfarenheter från angränsande branscher	19
3.1.5	Framtida utvecklingar inom material och gjutteknik	20
3.2	Övergripande slutsatser	20
3.3	Framtida forskning och utveckling	21
3.3.1	Utveckla praxis för betong för vattenbyggnadskonstruktioner	21
3.3.2	Flygaska – recept och materialparametrar	22
3.3.3	Självkompakterande betong	22
3.3.4	Grova ballastpartiklar	23
3.3.5	Riktlinjer för temperatur/sprickberäkningar för ung betong	23
3.3.6	Utvärdering av dimensioneringsmetoder för minimiarmering	23
4	Referenser	25

1 Inledning

I föreliggande avsnitt ges bakgrundsinformation kring problematiken med risk för sprickbildning under hydratationen.

1.1 BAKGRUND

De flesta vattenkraftsanläggningar uppfördes under mitten av 1900-talet, vilket innebär att en stor del av den praktiska erfarenheten av att uppföra dessa anläggningar finns hos de som var yrkesaktiva under denna period. Sedan vattenkraftsutbyggnaden avtog under 1970-talet har inte bara en stor del av de yrkesaktiva gått i pension, även byggnadsmaterial och byggnadstekniker har förändrats.

Vattenkraftskonstruktioner ställs för en del utmaningar som i vissa fall är unika, alternativt blir specialfall på grund av dammarnas stora volymer. Detta leder till att det finns många forskningsfrågor där inte det alltid går att inhämta erfarenheter från närliggande branscher, så som övrig anläggningskonstruktion, och tillämpa dessa rakt av. Detta gäller särskilt de utmaningar som härrör till konstruktionerna som är utsatta för ensidigt vattentryck, t.ex. nedbrytningsmekanismer (urlakning, AKR, frostnedbrytning) som generellt är mer framträdande på vattenkraftens betongkonstruktioner eller laster kopplade till strömmande vatten, islaster etc.

Ett annat exempel på detta är inom området gjutning av grova betongkonstruktioner. Inom detta forskningsområde genomförs en hel del forskning både nationellt och internationellt. Denna forskning är dock främst inriktad mot övrig anläggningskonstruktion eller husbyggnad.

Den stora skillnaden mellan vattenkraftens konstruktioner och dessa konstruktioner är att vattenkraften består av avsevärt mycket tjockare tvärsnitt. Detta leder till att den värmeutveckling som sker under hydratationen på grund av cementens reaktion med vatten blir väldigt stor om inga särskilda åtgärder genomförs. Vid gjutning av grova konstruktioner måste betongens värmeutveckling oftast kylas bort för att minska risken för sprickbildning. Därtill finns långsamt hårdnande cement inte längre att tillgå och ballast med mindre maximal storlek används. Båda dessa förändringar har medfört att cementshalten ökat och därmed även ökat betongens värmeutveckling under hårdningen. Utöver att betongkonstruktionerna i många fall är kraftigt armerade innebär införandet av en stor mängd kylrör att gjutning och vibrering av betongen kan bli komplicerad att utföra.

I och med övergången till dimensioneringsmetoderna i Eurokoderna så har mängden minimiarmering som krävs ökat avsevärt. Minimiarmeringen avser att begränsa sprickbildningen i brukgränstillstånd orsakad av t.ex. tvångspänningar under hydratationen eller långtidskrämpning. Enligt äldre dimensioneringsmetoder som tillämpades i Sverige, så som t.ex. BBK, så var inte mängden minimiarmering proportionell mot tvärsnittstjockleken. Istället så uppnåddes ett viss maximal mängd minimiarmering som gällde oavsett om konstruktionstjockleken ökade. Enligt dimensioneringsmetoderna som ges i Eurokoderna så ökar däremot mängden minimiarmering kontinuerligt vid ökad tvärsnittstjocklek. Detta innebär att för väldigt

grova tvärsnitt, t.ex. > 1 m fås signifikant mycket högre mängd armering än tidigare. I rapporten av Blomdahl et al (2015) visas i ett beräkningsexempel att Eurokod ger ca 10 gånger större armeringsmängd jämfört med BBK för ett betongtvärsnitt med en tjocklek på 2 m, $A_{s,BBK} = 2\,239\text{ mm}^2$ respektive $A_{s,EK2} = 23\,563\text{ mm}^2$ (50 st $\Phi 25$ s100 mm jämfört mot 6 st $\Phi 25$ s100 mm). Tvärsnittstjocklekar på 2 meter är relativt vanligt inom vattenkraftstillämpningar där t.ex. flera av de svenska lamelldammarna har en frontplatta som överskrider denna tjocklek strax ovan grundläggningssnittet och stödsnivåerna är typiskt 2 m. Dessutom, när det gäller valvdammar, eller gravitationsdammar (massivdammar) så finns det flera fall där tjocklekarna är avsevärt mycket större, t.ex. vid de två största svenska valvdammarna så är tvärsnittstjockleken strax ovan grundläggningssnittet som är ca över 10 m.

1.2 SYFTE

Som ett led i att komma framåt i arbetet inom området för ung betong och grova betongkonstruktioner så anordnade Energiforsk Betongtekniska program för vattenkraften en workshop om gjutning av grova konstruktioner den 18 januari, 2018.

Syftet med workshopen är att bygga upp en erfarenhetsbank som kan stötta beställare, projektörer och utförare med goda och dåliga exempel. Under workshopen diskuterades allt från teori och metodik till praktisk tillämpning. Workshopen var öppen för programmets intressenter¹ samt personer som bjudits in av dessa företag.

1.3 MÅL

Målsättningen med workshopen är att det ska leda till en erfarenhetsbank och identifiera viktiga frågor för fortsatt forskning och utveckling.

1.4 ORGANISATION

Workshopen organiserades och finansierades av Energiforsks Betongtekniska program för vattenkraft. I arbetet med att planera och utforma innehåll och samt genomföra workshopen deltog Monika Adsten (Energiforsk), Richard Malm (Sweco), Manouchehr Hassanzadeh (Sweco) och Erik Nordström (Sweco). Moderator för workshopen var Richard Malm.

Workshopen hölls på Swecos kontor i Stockholm den 18 januari, 2018.

1.5 RAPPORTENS DISPOSITION

Rapporten ger en översiktlig redogörelse för de ämnen som presenterades och diskuterades under workshopen. Rapporten presenterar inga djupgående analyser av workshopen och drar inga egna slutsatser utan försöker sammanfatta det som diskuterades under workshopen.

¹ Fortum Sverige AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Sydkraft Hydropower AB, Umeå Energi AB, Vattenfall AB Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven AB

2 Workshop

I föreliggande avsnitt presenteras programmet på workshopen tillsammans med en kort beskrivning av avsikten med de olika presentationerna samt vilket syfte dessa fyllde till workshopen som helhet.

Den 18e januari, 2018, anordnades seminariet "Erfarenheter från gjutning av grova betongkonstruktioner" av Energiforsks betongtekniska program på Swecos huvudkontor i Stockholm. Bland deltagarna var dels inbjudna föredragshållare, samt intressenter inom det betongtekniska programmet. Eftersom detta var en workshop så var en förutsättning för goda diskussioner att det inte fick bli för stort antal deltagare eftersom detta brukar kunna hämma diskussionerna. Totalt deltagarantal på workshopen var 35 personen.

2.1 PROGRAM

Programmet för workshopen illustreras i Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Program för workshopen Erfarenheter från gjutning av grova betongkonstruktioner.

09:00	Inledning Moderator (Richard Malm) / Energiforsk
09:10	Dimensionering och utförande av grova betongkonstruktioner <i>Erik Nordström (Sweco) & Jonas Carlsward (Betongindustri)</i> I presentationen belyses problemställningarna (värmeutveckling och dess konsekvenser) med utgångspunkt från material, konstruktion och utförande. Metoder (material och materialsammansättning, formbyggnad, kylmetoder, gjutmetoder och etapper, mm) för att uppnå bästa resultat, med inriktning på ▪ Design (konstruktion och material) ▪ Betongtillverkning (proportionering, blandning, tillverkningskontroll) ▪ Utförande (leverans, mottagningskontroll, arbetsutförande, härdning, formbyggnad, komprimering)
10:10	Kaffe
10:30	Erfarenheter från vattenkraftområdet <i>Andreas Karlstedt (Jämtkraft), Marcus Hautakoski (Vattenregleringsföretagen), Per Fektenberg (Fortum).</i> Syftet med dessa presentationer var att sprida erfarenheter från ett urval av lyckade och mindre lyckade vattenkraftsprojekt för att på så för att kunna lära från varandra och kunna dra generella slutsatser. Förslag till mall som visar vilka indata som bör presenteras skickas i förväg av Sweco, se avsnitt 2.2.2.
11:30	Lunch

12:30	Erfarenhet från norsk vattenkraft <i>Bernt Kristiansen (AF Gruppen AS)</i> Syftet med denna presentation var att sammanfatta erfarenheter från Norge avseende gjutning av grova konstruktioner med fokus på Vamma kraftstation.
13:00	Erfarenhet från Svensk Kärnbränslehantering (SKB) <i>Per Mårtensson (Svensk Kärnbränslehantering)</i> Syftet med denna presentation var att belysa SKBs erfarenheter från flera olika projekt med teknik- och materialutveckling. Inom SKBs arbete med SFR har praktiska försök pågått sedan förra året, där alltifrån tester i labbmiljö till betongstation till gjutning i Äspö har genomförts och nu pågår uppföljning av utvecklingen.
13:20	Erfarenhet från Ringhals <i>Johan Klasson (Ringhals AB)</i> Syftet med denna presentation var att belysa Ringhals erfarenheter från olika projekt med gjutning av grova konstruktioner för kärntekniska anläggningar.
13:40	Erfarenhet från anläggningsbyggnad <i>Fredrik Stenesand (Sweco)</i> Syftet med denna presentation är att presentera erfarenheter från angränsande områden så som brobyggnad och övrig anläggningsbyggnad.
14:00	Framtida utvecklingar i material-, gjut- och konstruktionsteknik <i>Jonas Carlswärd, (Betongindustri) + Mikael Westerholm (Cementa)</i> Syftet med denna presentation är att visa på framtida utvecklingar inom området med t.ex. självkompakterande betong, inom bindemedelsindustrin, etc.
15:00	Kaffe och diskussion
15:45	Sammanfattning
16:00	Avslut

2.2 INNEHÅLL

2.2.1 Teoretisk inledning

Programmet utformades för att börja med en teoretisk inledning gällande vattenkraftens grova betongkonstruktioner och vilka krav som ställs på dessa typer av konstruktioner samt särskilt att belysa problemställningarna kring värmeutveckling och sprickrisk i grova konstruktioner på grund av hydratationen. I detta inkluderades även en beskrivning av vanligt förekommande åtgärder som används (eller har använts tidigare) i syfte att reducera sprickrisk pga hydratationen.

Föredragshållare var Erik Nordström (Sweco) samt Jonas Carlswärd (Betongindustri).

2.2.2 Erfarenheter från vattenkraftsområdet

Efter detta pass genomfördes presentationer från representanter från kraftbolagen (ägarna) där de presenterade erfarenheter från genomförda projekt. Målsättningen var att det skulle vara möjligt att presentera både fall där det gått bra och även fall där det inte gått lika bra. Detta i syfte för att kunna dra slutsatser om viktiga framgångsfaktorer och/eller riskmoment. För att underlätta utvärderingen från dessa delade även organisatörerna ut en lista på viktig information till anläggningsägarna. Denna lista var avsedd för att vara ett hjälpmedel till föredragshållarna och var inte en "måste-lista". Den efterfrågade informationen var;

DESIGN

- Typ av konstruktion
- Tillämpade regelverk
- Hållfasthets- och beständighetskrav (hållfasthet, exponeringsklass, sprickviddskrav etc.)
- Materialkrav (typ av cement, vct, stenmax, konsistenskrav etc. etc.)
- Ev. temperatursprickberäkningar

UTFÖRANDE

- Entreprenadform
- Entreprenörs organisation (egen regi, huvud-E, UE etc.)
- Betongtillverkning (certifierad fabrik, fabrik, platstillverkat)
- Gjutningens storlek
- Årstid
- Mottagningskontroll
- Gjutförfarande, efterbehandling
- Provningar, resultat
- Härdningsinsatser, ev. kylning (set-up, arrangemang av kylrör etc.)

UPPFÖLJNING

- Status på konstruktioner efteråt i förhållande till ställda krav
- Ev. problem identifierade och när de uppstod efter gjutning
- Bedömning av orsaken till problem / Framgångsfaktorer för att ha undvikit dem
- Kostnadsaspekter

Föredragshållare var Andreas Karlstedt (Jämtkraft) samt Marcus Hautakoski (Vattenregleringsföretagen). Tyvärr fick Per Fektenberg (Fortum) förhinder, men istället gav Olof Thuné (ÅF) en sammanfattning av erfarenheter från projektet.

2.2.3 Internationella erfarenheter

Inom svensk vattenkraftsindustri är erfarenheterna kring användningen av flygaska tämligen begränsade. Internationellt så tillämpas detta dock i stor skala vid gjutning av grova betongkonstruktioner. Vid användning av flygaska för vattenkraftstillämpningar så är det viktigt att få erfarenheter från länder som har

liknande klimat och förutsättningar som Sverige. I Norge har flygaska använts vid flera olika projekt och syftet var därför att få ta del av dessa erfarenheter och kunskaper. Fokus på detta föredrag var dels att prata om användningen av flygaska i Norge samt presentera ett projekt där detta tillämpats.

2.2.4 Erfarenheter från angränsande branscher

Som nämndes i inledningen så finns mycket forskning och erfarenheter från angränsande branscher angående ung betong. I detta fall avses som angränsande branscher; Bro, tunnel, kärnkraftverk samt slutförvar för kärnbränsle. I dessa typer av tillämpningar finns också grova betongkonstruktioner, däremot så kan kraven skilja sig en hel del jämfört mot vattenkraftstillämpningar. Från SKB presenterade Per Mårtensson erfarenheter från material- och utvecklingsprojekt kopplade till slutförvaret av kärnbränsle och övrigt radioaktivt avfall. Från Ringhals presenterade Johanna Spåls erfarenheter från kärnkraftsindustrin gällande byte av ånggeneratorer vid Ringhals 4. Fredrik Stenesand från Sweco som har erfarenheter från både brobyggnad och vattenkraft presenterade hur grova konstruktioner ska beaktas enligt Trafikverket och hur detta skiljer sig mot vattenkraftens konstruktioner.

2.2.5 Framtida utvecklingar inom material och gjutteknik

Som avslutning bland presentationerna gavs två föredrag av betong- och cementtillverkare för att berätta om framtida utvecklingar inom material och gjutteknik. Fokus på dessa presentationer var dels på den nyutvecklade Anläggnings FA cementen samt om självkompakterande betong, då dessa två ämnen bedömdes vara av störst intresse för deltagarna. Föredragshållare var Mikael Westerholm (Cementa) samt Jonas Carlswärd (Betongindustri).

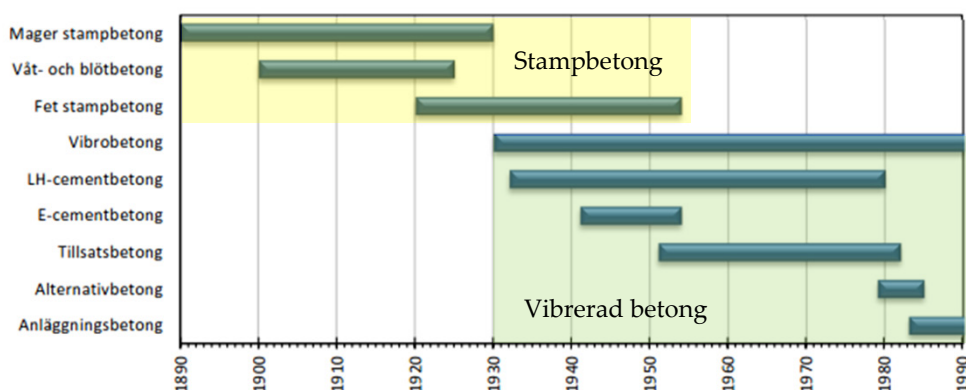
3 Sammanfattning och slutsatser

I föreliggande avsnitt sammanfattas kortfattat presentationerna och diskussionerna från workshopen.

3.1 SAMMANFATTNING

3.1.1 Teoretisk inledning

I den teoretiska inledningen började Erik Nordström med att ge en inledande presentation av vattenkraftens betongkonstruktioner och sammanfatta de krav som vanligtvis ställs på dessa konstruktioner så som att de är rimligt vattentäta och ger adekvat säkerhet för de laster som påverkar stabilitet, funktion och bärförmåga. En viktig aspekt på dammar är att de ofta har en lång livslängd och eftersom betongtekniken förändrats mycket under de senaste 100 åren så har vi många anläggningar med olika förutsättningar, vilket illustreras i Figur 1. De vanligaste typerna av skador som återfinns på dessa konstruktioner är sprickor, läckage/kalkutfällning och avskalning.



Figur 1 Illustration av olika typer av betong som använts vid vattenkraftsanläggningar genom åren, från Rosenqvist (2016).

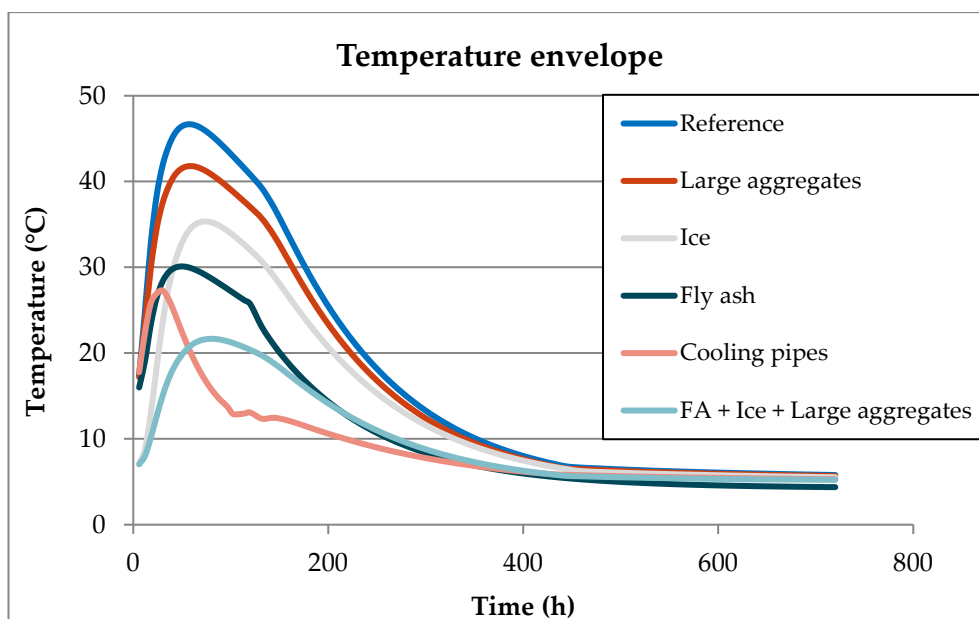
Vid presentationen visade Erik även också en sammanställning av praxis för vattenbyggnadsbetongen baserat på Harald Erikssons erfarenheter (1990):

- $v_{ct} < 0,55 \rightarrow$ vattentäthet
- porfri ren naturballast $\rightarrow$ god täthet
- rena portlandcement $\rightarrow$ beständighet mot frost och korrosion
- begränsad temperaturstegring (max. 20C diff.) $\rightarrow$ sprickfrihet
- låg stighastighet ($< 0,5$ m/h) $\rightarrow$ homogen betong
- fukthärdning till 50 % av 28d-hållf. $\rightarrow$ tätt ytskikt
- täcksikt minst 35 mm $\rightarrow$ skydd mot armeringskorrosion

Erik sammanfattade med att dessa krav i hög grad fortfarande är aktuella idag men t.ex. lägre v_{ct} -tal för ökad nötnings/frostbeständighet och ökade täcksikt.

Vid seminariet diskuterades även behovet av låg gjuthastighet då ofta tillämpas än lägre gjuthastigheter än ovannämnda värden idag (mellan 0,25 – 0,5 m i extremfall). Enligt betongtillverkarnas erfarenheter så är inte gjuthastigheten ett problem i dag då betongen inte släpper vatten i samma omfattning som tidigare, pga lägre vct och bättre tillsatsmedel. Låga gjuthastigheter kan dessutom ge problem med för tidig härdning. Gjuthastighet kan dock styras av möjligheterna att leverera betong, vilket för stora gjutningar kan resultera i låg gjuthastighet.

Vid föredraget diskuterades även metoder för kylning av betongen, där exempel på resultat från arbetet av Lagundžija och Thiam (2017) presenterades, se Figur 2.



Figur 2 Inverkan av olika metoder för att reducera värme från hydratationen. (Stor ballast, is, flygaska, kylrör samt kombination av flygaska, is och stor ballast) från Lagundžija & Thiam (2017)

Jonas Carlswärds inledande presentation handlade om val av betong för massiva betongkonstruktioner. En viktig aspekt är att det ofta kan vara svårt att sänka initialtemperaturen vid gjutningar sommartid, alternativ som kan tillämpas är t.ex. kylning med kväve eller inblandning av is istället för vatten i betongen.

Det är vanligt att betongtillverkaren inte får information om att det är viktigt att minska mängden cement för att minska värmeutvecklingen. Dessutom är det viktigt att komma ihåg att enligt krav från certifieringen så kommer betongtillverkaren att leverera betong med högre hållfasthet² (dvs mer cement). Ofta kan det dock vara andra parametrar som är styrande, så som vct-krav vilket avgör betongvalet och då är det oftast krav på arbetbarhet som styr cementhalten. En generell slutsats var att betongtillverkarna ofta kan göra mer för att minska denna om de får information att detta är viktigt för projektet. En möjlighet att optimera

² Medelvärde ska vara 1,48 * standardavvikelsen högre än erforderlig kvalitet för att klara utvärderingen. Vid en normal standardavvikelse på 5 MPa innebär detta ca 8 MPa i överhållfasthet.

betongen är att ersätta cement med alternativa bindemedel, t.ex. slagg eller flygaska.

Det finns två sätt som flygaska eller andra alternativa bindemedel kan tillsättas till vid blandning av betongen;

- k-värdeskonceptet
- EPCC

Vid k-värdeskonceptet tilldelas olika tillsatsmaterial ett k-värde, där flygaska t.ex. har $k = 0,4$. Detta betyder att ett kg flygaska får användas för att ersätta 0,4 kg cement. Vid EPCC blandas tillsatsmaterial in av betongtillverkare vilket likställs med om det hade blandats in av cementtillverkaren (dvs på samma sätt som ett blandcement). Detta betyder att en viss mängd av cement kan ersättas rakt av mot motsvarande mängd flygaska. I detta fall krävs dock provning för att visa att en kombination av tillsatsmedel och cement är likvärdigt med ett likvärdigt blandcement och får då jämföras med detta cement. Detta innebär att betydligt lägre mängd cement kan användas om EPCC tillämpas jämfört mot k-värdeskonceptet för samma ekvivalenta cementhalt. Som exempel visades en sammanställning av exempel av där dessa metoder använts för att använda flygaska som alternativt bindemedel vid betongtillverkningen, se Tabell 2.

Tabell 2 Exempel på metoder för användning av alternativa bindemedel

		Anläggning FA + 20 % FA	
C30/37 vct 0,50	Ref	k-värdeskonceptet	EPCC
Cementhalt	360	320	288
Flygaska	0	80	72
C _{ekv}	360	352	360

Utöver att optimera betongblandningen går det även att reducera termiska spänningar orsakade utav hydratationen genom att jämna ut temperaturskillnader och på så sätt minska tvånget. Detta kan t.ex. tillämpa genom olika typer av isolering på olika delar av konstruktionen, kylning av betongens delmaterial eller kylning under härdning.

3.1.2 Erfarenheter från vattenkraftsområdet

Vid detta pass presenterade anläggningsägare erfarenheter från tidigare projekt som inkluderade gjutning av grova betongkonstruktioner. Föredragshållare var Andreas Karlstedt (Jämtkraft), Marcus Hautakoski (Vattenregleringsföretagen) samt Olof Thuné (ÅF). Till skillnad från övriga föredrag så presenteras här ett sammanfattande referat baserat på de viktigaste aspekterna och den samlade bilden från dessa föredrag. I detta avsnitt har det medvetets valt att presentera informationen så att det inte framgår vilken anläggning eller vilken föredragshållare som har presenterat respektive del.

För denna typ av tillämpningar blir det ofta stora gjutningar där de projekt som presenterades var mellan 3 100 – 20 000 m³ betong. I samtliga fall som presenterades så avsåg projekten gjutningar av betongutskov eller -intag, dvs inte

själva dammarna. Typiskt för dessa konstruktioner är att de består av massiva armerade betongkonstruktioner som utsätts för högt tvång från motgjutning mot berg.

Typisk betongkvalitet som användes i dessa projekt var C30/37 och dimensionerad för exponeringsklasser XC4 / XF3 vilket motsvarar hög vattenmättnad (frost) och omväxlande våt och torr (karbonatisering). Betongen består vanligtvis med anläggningscement (CEM I) och luftporbildare.

I de flesta befintliga vattenkraftsanläggningar så har man använt stora stenstorlekar till ballast, upp mot ca 100 mm eller eventuellt mer. I dag används ofta max 32 mm som största stenstorlek. Användning av stora ballaststenar resulterar i reducerad mängd cement, men dessutom så fås högre brottenergi hos betongen vilket leder till reducerad sprickpropagering. I ett av projekten som sammanfattades berättades om erfarenheter där stenstorlekar upp till 50 mm hade tillämpats. Vid användning av större stenstorlekar fås större slitage på betongpumpar och kan vara så att de inte är dimensionerade för att klara att pumpa betongen.

De projekt som presenterades utfördes alla som utförandeentreprenad. Detta innebär att beställaren ansvarar för projekteringen och entreprenören för utförandet av entreprenaden. Entreprenören saknar funktionskrav och krav på att anläggningen ska vara funktionsduglig, men kravet definieras så att utförandet ska vara fackmannamässigt.

En aspekt som dessutom skiljer vattenkraftsrelaterade projekt mot övrig anläggningsbyggnad är att ofta önskas att delar av anläggningen, dvs vissa av aggregaten, fortfarande är i drift undertiden som bygget pågår. Detta innebär främst två saker; korta byggtider och trånga utrymmen. Trånga utrymmen innebär dels att bygget behöver anpassas till befintliga konstruktioner som är i drift men även att det kan bli problematiskt från ett logistiskt perspektiv då en begränsad yta finns tillgänglig.

Dessutom kan dessa vattenkraftsanläggningar ligga långt ifrån närmaste betongfabrik vilket kan leda till långa transporter eller att mobila betongfabriker behöver upprättas. Dessa stora gjutningar leder ofta till att gjutningarna sker under hela året.

Problem som uppstått i de projekt som presenterades avsåg brister i utförandet, så som

- Brister vid rengöring av formar
- Brister vid vibrering/kompaktering
- Samt frostsador

Brister vid vibrering/kompaktering kunde dels leda till områden med ofullständigt kompakterad betong och i vissa fall hålrum (råttbon) inuti betongkonstruktionerna. Särskilt i de projekt som baseras på Eurokoderna blev det stora armeringsmängder och därmed mer komplicerade gjutningar. Detta beroende dels på att en större mängd armering krävs som minimiarmering men även att kravet på skarvlängder ökat i och med övergången till Eurokoderna.

Vid efterföljande diskussion framgick även att man normalt undviker att vibrera i tätskiktet eftersom detta kan leda till reducerad mängd luftporer och därmed ökad risk för frostsador.

Vid gjutningar mot berg, så som vid ett av de presenterade fallen med en skibordsplatta, är ett potentiellt problem om bergutfallet blir avsevärt större än det teoretiska. Detta innebär att dessa betongplattor därmed blir tjockare och löper därför större risk att spricka under härdningen. Om dessa plattor förutsätts vara utan kylning enligt ursprunglig dimensionering kan vara i behov av kylning om tjockleken blir större än den teoretiska. Dessa plattor utsätts för stort tvång, dels mot berggrunden men särskilt för plattor som tillhör senare gjutetapper och därmed får tvång mot angränsande delar. En slutsats från detta var även att många av sprickorna i skibordsförlängningarna troligen kunnat undvikas med en avjämningsgjutning för att på så sätt minska tvånget mot berget.

Två fall presenterades av snarlika utskovskonstruktioner som byggts vid två olika tidpunkter (2006 till 2008 resp. 2013 till 2016) och därav dimensionerats enligt olika betongstandards, BBK respektive Eurokod. Vid jämförelse av dessa projekt framgick det att betongväggarna nedströms om luckinfästningen det första fallet (som dimensionerats enligt BBK) hade spruckit men inte det senare fallet. Orsaken till detta bedöms dock inte påverkats av vilken dimensioneringsstandard som använts. Den största skillnaden torde dock vara att i det första fallet så tillämpades endast kylning på de högsta väggarna (närmast luckinfästningen) medan i det senare fallet så kylades samtliga väggar och pelare. Mängden armering kan inte påverka huruvida betongen spricker eller ej men en större armeringsmängd skulle kunna begränsa sprickbildningen ytterligare.

3.1.3 Internationella erfarenheter

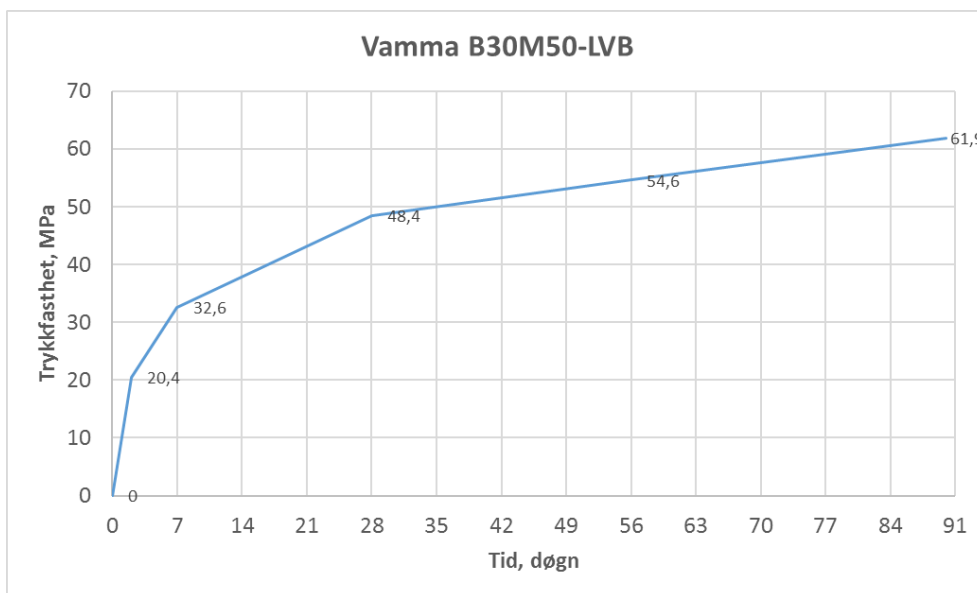
För att ta del av erfarenheter från dammbyggnadsbranschen i Norge och särskilt avseende användningen av flygaska så hade Bernt Kristiansen (AF Gruppen Norge AS) bjudits in som föredragshållare.

I Norge har ett särskilt cement, NORCEM Anlegg FA (liknande som Cementas Anläggnings FA cement), typgodkänts i det nationella annexet. I NORCEM Anlegg FA har 15 % av cementen ersatts med flygaska och 4 % ersatts med kalkstensfiller. Detta cement är tillåtet att användas i betongblandningar med ytterligare flygaska som alternativt bindemedel, så att den totala mängden flygaska typiskt ej överstiger 35 % av viktprocenten av totalt bindemedel för de exponeringsklasser som är förväntade vid vattenkraftstillämpningar. I samband med detta har även alla materialparametrar för denna cementtyp tagits fram som krävs för beräkningar sprickrisk i ung betong.

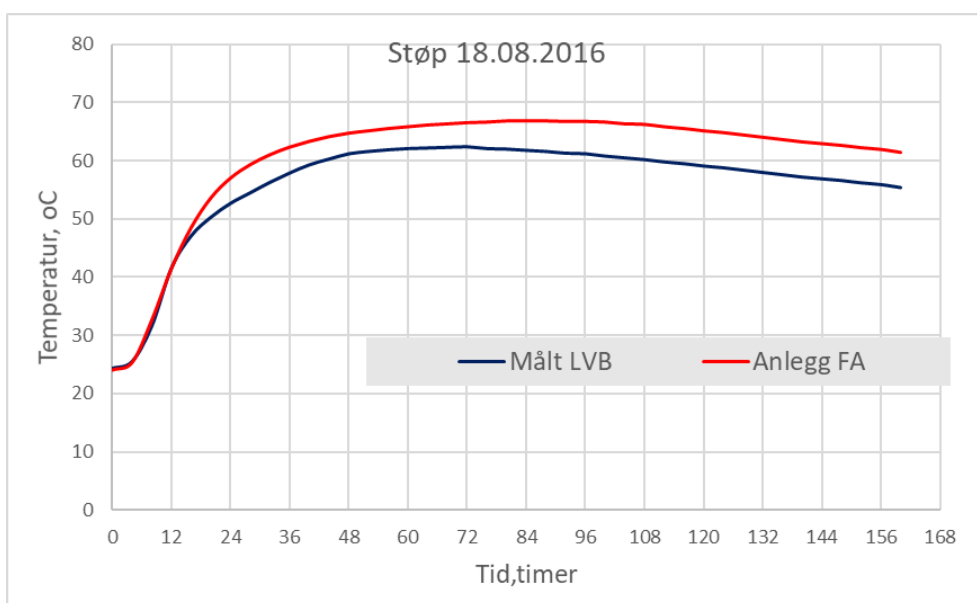
Vid föredraget presenterades olika fall där denna betongblandning har använts. Som exempel användes ett betongrecept som baseras på motsvarande C30/37 betong vid Vamma kraftstation, där den totala mängden flygaska motsvarar ca 30 %. Betongreceptet benämns i Norge som B30M50, där B30 motsvarar hållfasthetsklassen och M50 motsvarar exponeringsklassen. I Figur 3 illustreras hållfasthetstillväxten för denna typ av betong. Typiskt för betong med flygaska så

sker reaktionerna långsammare vilket leder till en långsammare hållfasthets-tillväxt. Motsvarande temperaturutveckling illustreras i Figur 4. Viktigt att poängtera att i Norge har man inte några krav på maximal temperaturdifferens, utan istället definieras endast att maximalt tillåtna temperaturen är 70 °C.

Enligt Eurokoderna (EN-206) får man använda slagg istället för, eller i kombination med flygaska. Erfarenheterna från Norge är dock att detta sällan tillämpas då det finns osäkerheter kring dokumentation om frostbeständighet.



Figur 3 Exempel på hållfasthetstillväxt hos betongrecept B30M50.



Figur 4 Exempel på temperaturläkt.

Kylning av betongen tillämpas inte i samma utsträckning som i Sverige. I vissa fall tillämpas dock kylning med både kylrör och med is.

Sammanfattningsvis kan sägas att den samlade erfarenheten från användning av flygaska för vattenkraftens betongkonstruktioner är väldigt god med många fall av gjutning av sprickfria grova konstruktioner.

3.1.4 Erfarenheter från angränsande branscher

Det framgick väldigt tydligt att det finns vissa likheter mellan de olika anläggningsbranscherna men också flera skillnader särskilt med hänsyn till krav etc.

Per Mårtensson (SKB) berättade om deras erfarenheter kring utveckling för låg och mellanaktiva förvaret 2 BMA. Material som används för kärnbränsleförvaret eller vid förvaret av övrigt radioaktivt material krävs i många fall att materialet ska upprätthålla kemisk, hydraulisk eller mekanisk funktion för tidsperioder upp till 100 000 år. Detta styr till stor del förutsättningarna för betongtillämpningar. Vid förvaret av låg- och medelaktivt avfall förutsätts att betongen ska vara kemiskt stabil över mycket lång tid (10 000-tals år). Detta innebär t.ex. krav som att armering inte får användas och att sprickor $> 0,1$ mm ej tillåts under drift av förvaret. Detta leder till anpassning av betongmaterialet så att det ska gå att gjuta betongkassunerna, som består av en rektangulär låda med ca 700 mm tjock bottenplatta och väggar, för att förhindra sprickbildning under hydratationen eller efterföljande uttorkningskrämpning. Det framtagna receptet används bland annat finmalad kalkstensfiller.

Johanna Spåls (Ringhals) berättade om projektet då ånggeneratorer skulle bytas vid Ringhals 4. I och med detta sömborrades ett ca 50 m² stort hål genom reaktorinneslutningen för att transportera in och ut ånggeneratorerna. Reaktorinneslutningens väggar är typiskt 0,8 m tjocka och kraftigt armerade och spännarmerade. Efter att ånggeneratorerna bytts ut skulle hålet i reaktorinneslutningen återställas. Höga krav på betonggjutningen ställdes i och med att den gjuts mot befintlig betong och eftersom reaktorinneslutningen har hårda krav gällande dess täthet. Eventuella sprickor i betongen skulle kunna ha negativ inverkan på tätplåtens täthet. Betongbilar isolerades och betongen kylde med is före gjutning samt dessutom kylde konstruktionen med kylrör där hårda krav på maximalt 15 ± 1 °C definierades för gjutningen.

Som sista presentationspunkt angående erfarenheter från angränsande branscher presenterade Fredrik Stenesand (Sweco) om hur grova konstruktioner ska beaktas enligt Trafikverkets och hur detta skiljer sig mot vattenkraftsbranschen. Som inledning berättade Fredrik att det är relativt ovanligt med konstruktioner som är grövre än 1 m inom brobyggnadsbranschen tack vare optimeringar av konstruktioner utifrån tekniskt och ekonomiskt perspektiv, konstruktionsutformning (rörlika lager, fogar, gjutetappslängder etc) och att man undviker att gjuta direkt mot berg. Det finns tre metoder att utvärdera minimiarmering för grövre konstruktioner, där den sista och mest avancerade avser sprickrisk-simuleringar med programvaror så som t.ex. ConTest Pro. Kylning med kylrör förekommer men brukar vara den sista utvägen då det i första hand försöker lösas

genom klok gjutetappsindelning, förlängda formrivningstider, uppvärmning av motgjutna konstruktionsdelar samt sänkt initialtemperatur på betongen.

3.1.5 Framtida utvecklingar inom material och gjutteknik

Vid det avslutande passet om framtida utvecklingar inom material och gjutteknik gavs två stycken presentationer. Mikael Westerholm (Cementa) presenterade utvecklingen med portlandflygaskecement och Cementas nya produkt *Anläggning FA* där 20 % av cementen ersatts med flygaska (15 %) och kalkstensfiller (5%).

Denna cement är framtagen främst för att få en mer miljövänlig anläggningscement. Målsättningen med framtagandet av denna cement har varit att den ska ha egenskaper som är mycket snarlika konventionell anläggningscement. Detta innebär att den långsammare hydratationen som normalt erhålls tack vare flygaska har kompenserats med en något mer finmald klinker. Utav denna anledning fås ingen positiv effekt av att använda *Anläggning FA* cement sett ur ett perspektiv gällande värmeutveckling under hydratationen. Däremot så är denna cement mycket intressant för vattenkraftsområdet för att minska CO₂ utsläppen från användningen av betong, särskilt med hänsyn till att relativt stora volymer betong normalt används vid gjutningar av vattenkraftkonstruktioner.

Jonas Carlswärd (Betongindustri) presenterade i sitt föredrag om självkompakterande betong. Som tidigare påpekats så används självkompakterande betong i begränsad omfattning inom vattenkraften men är snarare att anse som konventionell betong vid t.ex. husbyggen och inom prefab-industrin. Det finns många fördelar med användande av självkompakterande betong så som snabbare och billigare, bättre vid trånga och svåråtkomliga utrymmen (tack vare bättre utfyllnadsförmåga) samt bättre arbetsmiljö (vibration, buller etc). Nackdelarna kan vara högre formtryck, och att betongens konsistens har en större inverkan vid användning av självkompakterande betong. Detta eftersom man inte genomför någon vibrering av betongen. I fall en konventionell betong är något trögare går detta att hantera genom en större vibreringsinsats. Detta innebär att det ställer högre krav på mottagningskontroll etc. vid självkompakterande betong.

3.2 ÖVERGRIPANDE SLUTSATSER

Projektering och utförande av grova betongkonstruktioner vållar problem och huvudbry inom samtliga anläggningsbranscher (och även inom huskonstruktion). Den främsta orsaken till detta är att det med dagens dimensioneringsmetoder enligt Eurokoderna fås en signifikant mycket högre mängd armering jämfört mot tidigare. Den stora mängden armering påverkar möjligheterna till bra utförande. För att reducera mängden armering utförs ofta åtgärder under gjutningen och hårdningen av betong så som kylning av betongen antingen genom kylning av delmaterialen före gjutning eller genom kylning under själva hårdningsförloppet med hjälp av kylrör.

Erfarenheterna från t.ex. brobyggnad visar att de sällan har riktigt grova konstruktionsdelar, i detta fall menat konstruktioner med en tjocklek större än en meter. Detta framgick ju även från presentationerna från kärnkraft och slutförvar

av kärnbränsle då inga av dessa fall presenterade visade på betongkonstruktioner som är grövre än detta. I Eurokod (EKS 10) finns det en faktor som reducerar det procentuella armeringsinnehållet vid grövre konstruktioner, dock så går denna endast upp till ca 700 mm. Detta indikerar tydligt att för dessa typer av konstruktioner så är tvärsnittstjocklekar större än detta att anse som undantagsfall. Detta är dock inte fallet för vattenkraftkonstruktioner som ofta har krav på vattentäta konstruktioner. Även kärnkraftsanläggningar har täthetskrav (dock gällande gas) men i dessa fall står en ingjuten stålplåt för själva tätheten hos konstruktionen.

Detta visar tydligt att hanteringen angående projektering och gjutning av grova betongkonstruktioner är en fråga som måste hanteras av vattenkraftsbranschen eftersom angränsande discipliner ej förväntas att genom forskning finansierad av dessa discipliner leda till resultat som ger en hållbar lösning för vattenkraftens konstruktioner. I stället kan erfarenheter hämtas från vattenkraftsforskningen internationellt. Detta har gjorts t.ex. inom uppdateringen av RIDAS då nuvarande version av tillämpningsvägledningen för betongkonstruktioner hänvisar till en tysk standard för beräkning av minimiarmering vid grova betongkonstruktioner. Internationellt inom vattenkraftsbranschen är dock användningen av flygaska avsevärt mycket större än inom Sverige. För att använda flygaska vid svensk vattenkraft krävs därmed en del forskningsarbete och insamling av erfarenheter innan det används. Detta gäller både för fall med blandcement så som Anläggning FA och fall där delar av cementen ersätts med flygaska som alternativt bindemedel vid betongtillverkningen. Detta diskuteras ytterligare i nästkommande avsnitt.

En annan del inom materialutvecklingen som inte har lett till spridning inom vattenkraften är användningen av självkompakterande betong. Detta används till stor del inom övriga discipliner där det t.ex. för husbyggnadstillämpningar blivit standard medan det inte än har spridit sig till vattenkraften.

3.3 FRAMTIDA FORSKNING OCH UTVECKLING

Som påpekats tidigare så har det framkommit mycket värdefull information tack vare workshopen om gjutning av grova betongkonstruktioner. Föredragshållarna har visat på områden som kan förbättrats, det har i vissa fall även indikerat hur det skulle kunna förbättrats.

I detta avsnitt presenteras de forsknings- och utvecklingsbehov som har identifierats vid workshopen.

3.3.1 Utveckla praxis för betong för vattenbyggnadskonstruktioner

En mycket viktig aspekt för att förbättra projektering och utförande av grova konstruktioner inom vattenkraften är att vi lär oss av varandra. Detta betyder bl.a. att det vore mycket värdefullt att utveckla en praxis för betong för vattenbyggnadskonstruktioner som kan stötta beställare, projektörer och utförare.

Vid inledande teoretiska föredraget presenterade Erik Nordström en sammanställning av vilken praxis som tillämpades under 90-talet. Denna skulle behöva uppdateras så att den reflekterar dagens krav och materialutvecklingen.

Vid genomgång av fallen från vattenkraftsbranschen visades även att många av de problem som uppkom skulle kunna förhindras om det fanns en framtagen riktlinje för hur vattenkraftskonstruktioner ska uppföras. Som exempel presenterades att brister på utförande så som rengöring av formar, vibrering/kompaktering men även t.ex. hantering av gjutetapper och gjutetappsindelningar samt att t.ex. större bergutfall än teoretiskt kan leda till problem vid härdningen. I detta fall är det viktigt att gå igenom befintlig betongpraxis för att se vad som saknas i normer och standarder.

Ett projekt som föreslås att drivas vidare inom Energiforsk betongprogram är därför att ta fram en riktlinje för grova betongkonstruktioner som behandlar alla relevanta aspekter inom beställning, projektering och utförande.

3.3.2 Flygaska – recept och materialparametrar

För att kunna använda betong med flygaska vid vattenkraftstillämpningar så krävs flera olika förutsättningar vara uppfyllda. Dels så behövs att materialegenskaper tas fram dels för blandcement så som Anläggning FA. Detta görs redan inom Cementa. Däremot så behövs ytterligare erfarenheter av användningen av betong med flygaska som alternativt bindemedel dvs då delar av cementen ersätts med flygaska vid betongtillverkningen. Detta innefattar dels laborationsstudier för att analysera olika typer av flygaskebetong för att hitta betong som bedöms vara lämplig att använda för vattenkraften samt för att bestämma tillhörande materialegenskaper, så som värmeutveckling, hållfasthetstillväxt, etc som behövs för prediktion av sprickrisk. Här bör även laborationsförsök genomföras t.ex. vid Älvkarleby fältstation för att studera frostbeständighet hos flygaskebetong.

Projekten bör leda fram till att recept och materialdata tagits fram så att en större mockup (som bättre motsvarar en grövre vattenkraftkonstruktion jämfört mot labbprover). Mockup-testet bör instrumenteras med temperatur och töjningsgivare i syfte att användas för utvärdering av olika typer av simuleringsmetoder.

3.3.3 Självkompakterande betong

Självkompakterande betong används till stor del inom betongindustrin, men har egentligen inte anammats av vattenkraftsindustrin. Det finns många fördelar med användande av självkompakterande betong så som snabbare och billigare, bättre vid trånga och svåråtkomliga utrymmen samt bättre arbetsmiljö (vibration, buller etc). Nackdelarna kan vara högre formtryck, formtäthet, svårare att bibehålla jämn konsistens vid leveranser (dvs högre krav på mottagningskontroll etc).

Det är rimligt att många av vattenkraftens konstruktioner med fördel skulle kunna uppföras med självkompakterande betong istället för konventionell vibrerad betong. Ett projekt bör därför genomföras inom Energiforsk betongprogram som utvärderar möjligheterna att använda självkompakterande betong för vattenkraft branschen och i slutändan ger förslag på hur och när denna typ av betong bör användas. Detta projekt skulle därmed även kunna ge viktig input till projektet som beskrevs i avsnitt 3.3.1.

3.3.4 Grova ballastpartiklar

Många av våra vattenkraftsanläggningar, främst dammar, är byggda med stora ballastpartiklar jämfört mot vad som är normalt. I vissa fall användes största ballastpartiklar (stenar) med en diameter på ca 100 mm. Användningen av stora ballastpartiklar erbjuder flera fördelar sett till betongens egenskaper. Dels innebär detta att mängden cement reduceras och därmed fås gynnsamma effekter på risken för sprickor under härdningen. Dessutom så bidrar användningen av större ballastpartiklar att betongkonstruktionens brottenergi ökar, dvs ökad duktilitet vid sprickbildning. Som diskuterades i avsnittet med erfarenheter från vattenkraftsområdet så är det inte ovanligt att entreprenören saknar erfarenhet av att pumpa betong med stor stenstorlek (t.ex. > 50 mm).

Det vore därför värdefullt om ett projekt genomförs inom Energiforsk betongprogram som utvärderar möjligheterna att använda större stenstorlekar i ballasten vid blandningen av betongen. I detta projekt bör det även ingå att ta fram tillhörande materialparametrar för denna typ av betonger så som brottenergi, temperaturutveckling, etc. Detta projekt skulle därmed även kunna ge viktig input till projektet som beskrevs i avsnitt 3.3.1.

3.3.5 Riktlinjer för temperatur/sprickberäkningar för ung betong

Sprickriskberäkningar utgör en mycket viktig grund vid projekteringen av vattenkraftens grova betongkonstruktioner. Det finns ett flertal specialiserade programvaror för att genomföra denna typ av beräkningar men även ett stort antal av mer generella finita elementprogramvaror. Flera av dessa programvaror fungerar dock mer eller mindre som en "black-box" lösning, där det inte alltid framgår hur och vad som beaktas. Dessutom, sprider resultatet från denna typ av simuleringar en hel del bland yrkesverksamma, beroende på antaganden etc.

Det är viktigt att öka kunskapen bland yrkesverksamma som genomför denna typ av simuleringar och för att sprida kunskapen vidare från erfarna utövarna till de personer som är nya inom området. För att åstadkomma detta föreslås att ett projekt bedrivs inom Energiforsks betongprogram för vattenkraften i syfte att utveckla en riktlinje för sprickriskberäkningar av ung betong. Denna riktlinje skulle dels beskriva hur dessa simuleringar bör genomföras inkl. val av randvillkor, materialegenskaper, etc. Den bör även ge tips och rekommendationer för hur isolering av vanliga konstruktioner kan utformas (isolera olika områden, applicera isolering vid olika tidpunkter etc.), hur kylsekvenser för kylsystemen bör utformas i syfte att minska temperaturgradienten i betongkonstruktionerna.

3.3.6 Utvärdering av dimensioneringsmetoder för minimiarmering

Enligt nya tillämpningsvägledningen i RIDAS kan Eurokoderna tillämpas förutom för grövre konstruktioner då istället den tyska metoden enligt BAW bör tillämpas. Det finns även rekommendation för maximal mängd minimiarmering som bör användas för ett konventionellt fall. Dessa rekommendationer bör utvärderas för ytterligare fallstudier för att komplettera alternativt revidera föreslagna metoderna i RIDAS. Revidering av Eurokoderna pågår för närvarande och området gällande minimiarmering har varit omdiskuterat i många europeiska länder. Detta avsnitt

förväntas ändras vid kommande revisionen av Eurokoden och därför bör även detta beaktas i ett framtida projekt inom Energiforsks betongprogram för vattenkraften.

4 Referenser

Blomdahl J., Malm R., Nordström E., och Hassanzadeh M. (2016) *Minimiarmering i vattenkraftens betongkonstruktioner – Förstudie*. Energiforsk rapport 2016:234.
https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/19201/minimiarmering-i-vattenkraftens-betongkonstruktioner-forstudie-energiforskrapport_2016_234.pdf

Rosenqvist M. (2016) *Frost-induced deterioration of concrete in hydraulic structures: Interaction between water absorption, leaching and frost action*. Report TVBM-1036, Lund University.
http://portal.research.lu.se/portal/files/12207160/Avhandling_Webbversion_2016_09_13.pdf

Lagundžija S., och Thiam M. (2016) *Temperature reduction during concrete hydration in massive structures*. TRITA BKN-Master Thesis 514, KTH Royal Institute of Technology.
<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1116691/FULLTEXT01.pdf>

ERFARENHETER FRÅN GJUTNING AV GROVA BETONGKONSTRUKTIONER

Idag genomförs endast ett fåtal projekt där man gjuter grova vattenbyggnadskonstruktioner. De flesta vattenkraftsanläggningar uppfördes i mitten av 1900-talet och efter att utbyggnaden avtog under 70-talet har de yrkesaktiva gått i pension och byggnadsmaterial och -tekniker har förändrats. Det är därför viktigt att samla in erfarenheter och tidigare kunskap tillsammans med resultat från den senaste forskningen inom området.

Felaktigt utförda arbeten riskerar att ge problem exempelvis med sprickbildning, vilket förkortar konstruktionens livslängd. Vid gjutning av grova konstruktioner måste betongens värmeutveckling reduceras eller kylas bort för att minska risken för sprickbildning. Betongkonstruktionerna är i många fall kraftigt armerade och att dessutom ha en stor mängd kylrör gör att det kan vara komplicerat att utföra gjutning och vibrering av betongen.

Här redovisas erfarenheter om design, utförande och uppföljning som samlades in under en workshop med representanter både från vattenkraftsbranschen och andra branscher. Rapporten är en viktig erfarenhetsbank till stöd för beställare, projektörer och utförare i samband med investeringar och reinvesteringar.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk