

RAPPORT SBUF PROJEKTEN:

FOGFRIA BETONGGOLV OCH

KRYMPNINGSREDUCERARE VID REPARATION AV BETONGKONSTRUKTIONER



2007-08-31
Örjan Petersson

FB Engineering

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid
	FÖRORD	4
	SAMMANFATTNING	5
	BAKGRUND	8
1	INLEDNING	9
2	STATE OF THE ART	9
3	MODELL FÖR KRYMPNING	18
4	LABORATORIEFÖRSÖK	22
4.1	Allmänt	22
4.2	Mätning av krympning på standardbalkar	23
4.3	Kompletterande krympningsprov	29
4.3.1	Diskussion	30
4.4	Mätningar av krympning på långa balkar	30
4.4.1	Diskussion	35
4.5	Försök med förhindrad krympning ”ringförsök”	36
4.5.1	Diskussion	38
5	OARMERAD PLATTA	40
6	ARMERAD PLATTA	42
7	HALVSKALEPROV	44
7.1	Prov på prefabricerade håldäcksplattor	44
7.2	Prov tunn pågjutning på Rejmes i Norrköping	44
8	FULLSKALEPROVNINGAR	48

8.1	Cloettafabriken i Ljungsbro	48
8.2	Malmens flygfält Linköping	49
8.3	Pågjutning på industrigolv Rejmes Norrköping	51
8.4	Industrigolv på Colitech i Söderköping	51
9	EKONOMI OCH MILJÖ	54
10	REFERENSER	54

FÖRORD

Denna rapport är resultatet av två SBUF projekt: **Fogfria betonggolv** (11529) och **Krympningsreducerare vid reparation av betongkonstruktioner** (11683). Målsättningen har varit att ge underlag till praktisk användning av krympningsreducerare för betongplattor och vid reparationer av betongkonstruktioner.

Projekten har drivits tillsammans för att ge största möjliga samverkan. Projekten har delfinansierats av SBUF.

En projektgrupp har varit drivande för projekten och består av personer ifrån Skanska (Entreprenör, Skanska har varit sökande hos SBUF), Materialleverantörer (SIKA och BASF), Konsult (FB Engineering). Följande personer har ingått i projektgruppen:

Thomas Johansson	Skanska BTC Solna
Markus Petersson	Skanska BTC Solna
Mats Wiklund	Skanska Fabriksbetong Norrköping
Iad Saleh	SIKA Järfälla
Håkan Nykvist	BASF Stockholm
Örjan Petersson	FB Engineering Linköping

Tidigare medlemmar i projektgruppen har varit:

(Karin Pettersson	tidigare på Skanska BTC nu på SWEROCK)
(Sven Sjöström	(tidigare på SIKA nu på Rescon)

Örjan Petersson FB Engineering har fungerat som projektledare.

SAMMANFATTNING

Projektet har gett betydande kunskaper i användning av krympningsreducerare. Krympningsreducerare har funnits länge men de tidigare medlen har inte påverkat själva mekanismen för krympningen. Funktionen har istället varit en viss svällning av betongen i början av gjutningen för att sedan vid krympningen (uttorkningen) komma tillbaka till eller närhet av utgångsläget i rörelsen. De "nya" medlen påverkar själva mekanismen hos krympningen. Medlen är glykolbaserade.

Mätning av den fria krympningen för standardbalkar har visat på stora skillnader jämfört med vanliga beräkningar av den fria krympningen. För referensbetong (betong utan krympningsreducerare) med "Byggcement" skiljer sig resultaten kraftigt åt jämfört med beräknade värden. Beräkning gav 0,68 promille medan referensprov gav 1,04 promille, en skillnad på ca 55%. Båda referensproven med olika flytmedel gav likartade resultat.

Motsvarande värden för SKB betong gav vid beräkningen 0,96 promille, mätresultaten för referensvärden blev ca 0,9 promille dvs relativt väl överensstämmande.

En komplettering av de inledande proven för fri krympning gjordes. För dessa kompletterade prov var referensvärdena strax under 0,6 promille och beräkning gav enligt betonghandbok gav 0,78 promille, ca 20% lägre värde. Vid dessa prov användes en annan ballast än vid de tidigare proven. Det konstaterades en stor skillnad på krympning och effekten av krympningsreducerare beroende på vilken ballast som användes.

För mätningarna med 1% dosering av krympningsreducerare var minskningen i krympning ca 10% - 30%. För 2% dosering var minskningen upp till 45 %. Storleken på minskningen i krympning synes vara starkt beroende på utgångskrympningen för betong utan krympningsreducerare. Liten krympning i ursprungsmaterialet ger också mindre minskning av krympningen när krympningsreducerare används. Lägre vct gav större minskning i krympning vilket också stämmer med resultat ifrån litteraturen.

Resultaten av mätningar på "långa balkar" har gett intressanta resultat. Minskningen i krympning speciellt i det tidiga kunde studeras och visade sig vara stor och påverkar förmodligen den slutliga sprickbildningen för tex ett betonggol. Resultaten stämmer överens med resultat ifrån litteraturen. Denna stora minskning i tidigt skede är mycket positivt för tex en pågjutning på gammal betong vid en reparation.

Resultaten har också visat att efter lång tid så minskar effekten vid användning av byggcement medan effekten av krympningsreducerare består för betong med anläggningscement. Hur signifikant detta är, är svårt att slå fast.

Mätning av fri krympning är inte helt lätt ofta får man varierande resultat även om försöksbalkar tillverkas på ett och samma laboratorium. Krympning hos vanlig modern betong har vi begränsad kunskap om. De handledningar som finns är baserade på äldre betong med stort stenmax och relativt styv konsistens jämfört med en modern betong. Förändring av konsistensen genom att använda flytmedel (bibehållen vattenmängd trots lösare konsisten) ger inte den effekt som kan förväntas på krympningens storlek, en ökning av krympningen fås oftast. Förklaringen till denna mekanism är inte tillräckligt utred idag, forskning behövs inom detta område.

Under projektet har vikten av att varje betongtillverkar bör ha en god uppfattning av sin betongs krympning framstått som en betydelsefull aspekt för goda resultat vid gjutning av olika konstruktioner. Mycket kan påverka krympningen tex annan ballast, förändrad konsistens (med eller utan flytmedel). Projektgruppen rekommenderar att man mäter krympningen för sin betong, speciellt för golvetbetongen. En praktisk metod kan vara en

balkutformning som visats i rapporten, men med balk som bara är ca 1,2-1,5 meter. Med 1/100 dels noggrannhet kan 0,01 promille mätas. Man kan då också få en uppfattning om krympningen för ett visst objekt genom tex objektslagring av balkar. Enkla praktiska metoder för mätning av fri krympning på fabriksbetonganläggningar eller/och på arbetsplats anser projektgruppen viktigt att ta fram.

Försöken med ringar för förhindrad krympning har gett mycket intressanta resultat. Resultaten visar tydligt på positiva effekter vid användning av krympningsreducerare. Sprickbildningen är betydligt mindre samt även den maximala sprickvidden är också mindre. Det sistnämnda är speciellt viktigt för tex beständigheten. Dessa resultat är svåra att utläsa ur resultat av fri krympningsmätning på standardbalkar. De långa balkarna visar däremot i tidigt skede en stor effekt av användning av krympningsreducerare som förmodligen kan vara en effekt som påverkar resultatet vid ringförsöken. Den minskade krympningen i tidigt skede kan möjliggöra att betongens draghållfasthet hinner växa till sig parallellt med krympningens rörelse. Möjligen kan det också vara så att flera mindre sprickor kan utbildas då krympningsreducerare används. Någon stor skillnad mellan dosering 0,75 och 1,5 % dosering har inte konstaterats. Tabell A åskådliggör resultatet av användning av krympningsreducerare vid ringförsöken

Tabell A. Sammanställning av resultat av ringförsök.

Betong med:	Sprickvidd*spricklängd mm*mm	Max sprickvidd mm
Byggcement, ej krympningsreducerare	24	0,2
Byggcement med krympningsreducerare	17	0,1
Anläggningscement ej krympningsreducerare.	6	0,05
Anläggningscement med krympningsreducerare.	0,4	0,05
Pågjutningsbetong ej krympningsreducerare	38	0,4
Pågjutningsbetong med krympningsreducerare	8	0,1

Förhindrad krympning genom att gjuta betongringar kring en stålkärna är en bra och intressant metod för att ta fram den "bästa" betongen för en applikation. Kan vara ett golv, kan också vara en reparation genom en pågjutning. Önskvärt skulle vara om man kunde få fram en snabbare metod för förhindrad krympning, nu tar det ca 120 dygn innan sprickbildning börjar synas.

Dosering av krympningsreducerare har inte påverkat resultaten i så stor omfattning som andra mätningar visat. Dosering kring 1 till 1,5% räknat på cementvikten verkar vara ett rimligt värde.

Hållfastheten har bestämts vid olika tidpunkter samtidigt som mätningarna utförts för krympning har gjorts. Generellt så minskar inte hållfastheten speciellt mycket vid 1 % dosering av krympningsreducerare. För 2% är minskningen ca ca 5-7% för halvflyt och ca 10% för SKB betongen.

Våra slutsatser är att användningen av krympningsreducerare kan klart minska skadefrekvensen för industrigolv. Projektet har visat att krympningsreducerare är ett bra tillsatsmedel vid reparation. Mätningar av vidhäftning mellan ny och gammal betong synes ge mindre variation i resultaten. Även för pågjutningar på håldäcksbjälklag är krympningsreducerare ett effektivt tillsatsmedel.

Genom beräkningar har projektet kunnat visa att fogavståndet kan fördubblas genom att använda krympningsreducerare om medlen ger en minskning av krympningen med ca 50%. Stora kostnadsbesparingar kan uppnås.

För en armerad platta kan armeringen för en given sprickvidd reduceras i samma utsträckning som krympningen minskas. Den mindre armeringsmängden ger också möjlighet att minska armeringsdimensionen vilket ytterligare minskar sprickvidden för en tänkt spricka. Man kan alltså få dubbla positiva effekter genom att använda krympningsreducerare – mindre mängd armering samt mindre stångdiameter som i sin tur ger mindre sprickvidd.

BAKGRUND

Betonggolv är en viktig del i byggandet och det saknas inte kunskap om hur det skall utformas och utföras för att ge avsedda egenskaper. Det är därför förvånande att det förekommer så många misslyckade betonggolv \1\. Sedan mer än 30 år tillbaka har skador förekommit på betonggolv i form av krympsprickor, plastiska krympsprickor, otillräcklig slitstyrka, cementballastreaktioner och kantresningar.

I de flesta fallen har sprickor orsakats av betongens uttorkningskrympning i några fall har orsaken varit temperaturvariationer och för höga belastningar. Andelen skadefall med avseende på plastiska krympsprickor och långtidskrympning i betonggolv varierar under de senaste 40 åren. Bidragande orsakerna till krympsprickor i den hårdnade betongen är bland annat att armeringsmängden är för liten. Vanligt förekommande misstag är att:

- entreprenören ibland slarvar med placeringen av armeringen varvid den kan hamna för långt ner i plattan.
- konstruktören missbedömer betonghållfastheten, t.ex tar ej hänsyn till hållfasthetshöjande effekter.
- plattjockleken kan bli större än angivet på ritningen.

Misslyckanden med betonggolv kan bero på utförandet av entreprenören. Kunskap och kännedom om materialet betong och behandling av denna produkt skulle höja kvaliteten på betonggolv som utförs idag \1\. Betongsammansättningen spelar också en stor roll och att man inte förändra sammansättningen vid gjutning.

Krympningsreducerande medel har börjat användas utomlands (främst USA) för att kunna bygga betonggolv och eller betongplattor utan fogar eller med mycket långa fogavstånd. Många problem skulle kunna undvikas med betonggolv utan fogar. Vilda sprickor skulle kunna undvikas.

Målsättning för projektet "*Fogfria betonggolv*" är att stödja till praktisk användning av krympningsreducerare vid produktion av betongplattor. Ta fram underlag med modell som möjliggör "fogfria" eller längre fogavstånd för betongplattor. Projektet skall ge som resultat minskad skadefrekvens för betongplattor och mindre underhåll. En bättre funktion med jämnare betongplattor med mindre kantresning vid arbetsfogar förväntas också.

En stor del av byggverksamheten i dag och framtiden kommer att vara reparationer av äldre betongkonstruktioner (tex infrastruktur). Ett av de största problemen vid betongreparationer är den ojämna krympningen över tvärsnittet, den gamla betongen har krympt färdigt och den nya betongen har sin krympning. Exempel är många pågjutningar där sprickor har orsakats av betongens uttorkningskrympning. Kantbalkar på broar är ett annat exempel på svårigheter att reparera utan att få sprickor pga krympning hos den nya betongen.

Målsättning för den andra delen "*Krympningsreducerare vid reparation av betongkonstruktioner*" är att påvisa fördelar med krympningsreducerare för att undvika uttorkningsprickor i reparationsbetong samt ojämn krympning över tvärsnittet. Reparation kan tex vara pågjutning på platta eller reparation av kantbalk till en bro. Tillämpningar finns förutom i anläggningkonstruktioner också i huskonstruktion tex balkongplattor.

1 INLEDNING

Krympningsreducerare har funnits länge men dessa tidigare medel har inte påverkat själva mekanismen för krympningen. Funktionen har istället varit en viss svällning av betongen i början av gjutningen för att sedan vid krympningen komma tillbaka till eller närhet av utgångsläget i rörelsen. De "nya" medlen som är glykolbaserade påverkar själva mekanismen hos krympningen.

Krympning hos betong är ett komplicerat fenomen och består av ett antal olika mekanismer. Då relativa fuktigheten minskar avgår vatten ifrån porer. Krympningens mekanism kan förklaras med figur 1. Cementpastan krymper pga. av vattenavdunstning, figur 1a. Krafter uppkommer genom vattnets ytspänning i de menisker som finns i pastans porsystem. Vattnets ytspänning i delvis fyllda porer ger dragkrafter inåt figur, 1b. Betongens reaktion på dessa interna krafter blir genom att krympa. Tillsatsmedel som förhindrar/minskar krympningen verkar genom att minska vattnets ytspänning i alla porer.



Figur 1:1a. Vattenavdunstning 1:1b. Ytspänning ger dragkrafter inåt

Betongsammansättning har stor betydelse för krympningen. Större pastavolym ger större andel gelporer och ökar krympningen. Även gelporerernas storlek har betydelse för effekten av krympningsreduceraren.

2 STATE OF THE ART

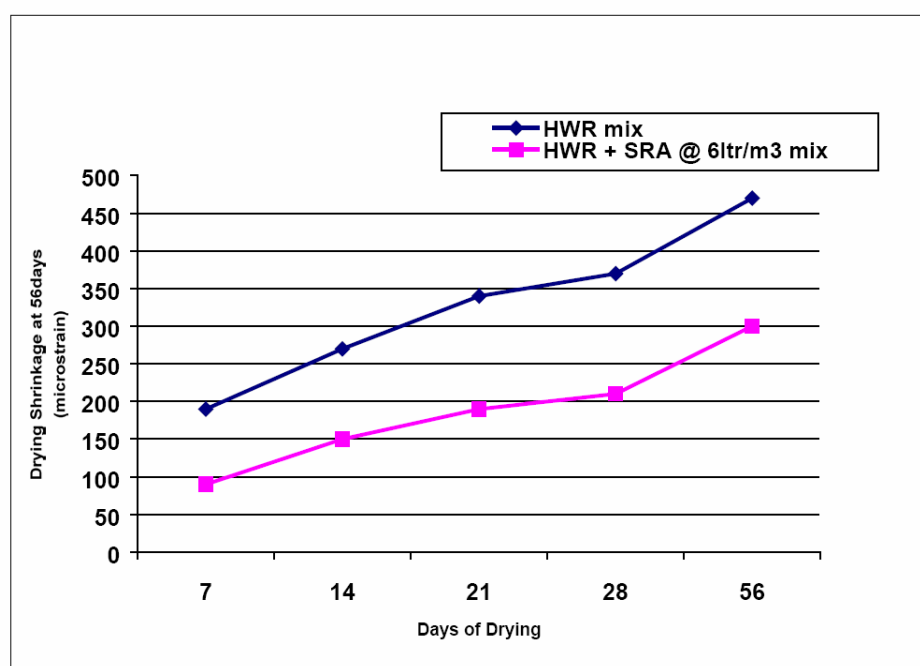
En mindre "State of the art" har genomförts inom projektet. Resultat och fullskaleprovningar som gjorts tidigare i Sverige redovisas också här.

Krympningsreducerande medel har också en bieffekt genom att de också förändrar konsistensen till en lösare konsistens, lite som ett flytmedel. Oftast tillsätter man krympningsreduceraren i slutet av processen, det är då viktigt att känna till att man förändrar konsistensen, kanske 1 steg genom krympningsreduceraren. Studien i "Wisconsin Highway Research Program" \2\ visade på följande positiva egenskaper för brodäck eller andra betongbeläggningar, (direkt citat på engelska, SRA Shrinkage reducing admixture):

1. *Reduced autogenous shrinkage cracking.*
2. *Reduced drying shrinkage cracking.*
3. *Less corrosion of steel reinforcing bars and steel in beams, and less spalling of concrete by reducing penetration of moisture and chloride ions through micro- and macro-cracks.*
4. *Reduced curling.*
5. *Longer joint spacing.*
6. *Less deterioration from cracking, soaking, and spalling along joints.*
7. *A smoother ride.*
8. *Fewer repairs, traffic congestions, accidents, and detouring.*
9. *Lower life-cycle costs.*

- *SRA may greatly increase the effectiveness of concrete pavement repairs. Typically, fresh (“unshrunk”) concrete is placed to repair sections of existing (shrunk) concrete pavements. This often caused cracking in the repair and/or in the original concrete pavements.*
- *By using SRA, fresh concrete is made somewhat similar to preshrunk pavement and thus more compatible with existing concrete pavements.*
- *In addition, use of SRA will significantly reduce the autogenous shrinkage of typically high-cementitious repair concrete materials.*
- *The material cost of SRA is rather high. By using SRA, however, the life and performance of bridge concrete decks and concrete pavements can be improved.*
- *Also, use of certain brands of SRA either reduces or eliminates the cost of using water-reducing admixtures and/or air-entraining admixtures.*

Andra resultat ifrån undersökningar visar på en påtaglig reduktion av den fria krympningen. Figur 2:1 visar resultat ifrån en undersökning ifrån \3\.



Figur 2:1. Resultat ifrån \3\ som visar reduktion i krympning vid användning av krympningsreducerare.

Följande konklusioner presenterades i denna skrift (citat på engelska):

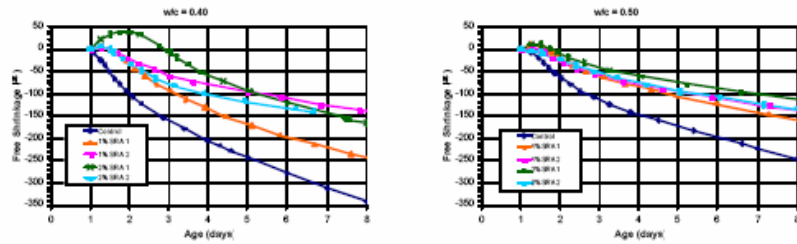
1. *Significant reductions in drying shrinkage of up to 50% can be obtained with the use of SRAs.*
2. *Within the tested dosage range of 2 to 8 L/m³, the percent reduction in drying shrinkage is linear with SRA dosage.*
3. *ASTM C 666 data shows that adequately air-entrained concretes treated with SRA would be durable in a cyclic freezing and thawing environment.*
4. *Long-term performance confirms the durability of SRA treated concrete.*
5. *SRAs can improve the durability, serviceability and aesthetics of concrete by assisting in the reduction of drying shrinkage.*

Nedan presenteras resultat ifrån en studie utförd på Illinois University \4\ på uppdrag av Grace Corporation, se figur 2:2.

RESULTS

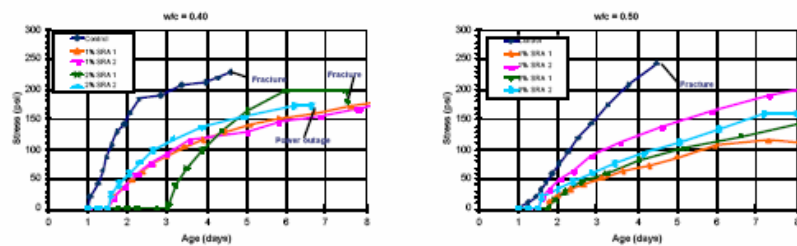
FREE SHRINKAGE:

■ SRA reduced unrestrained shrinkage, as expected. 3" prisms and 1" mortar bars confirmed shrinkage results. Early expansion ($\sim 10 - 20 \mu\epsilon$) was observed in some materials containing SRA.



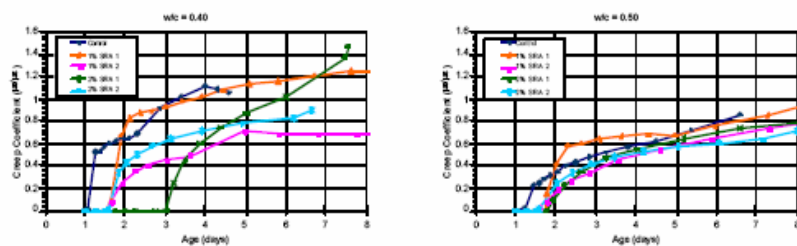
RESTRAINED STRESS DEVELOPMENT:

■ Early age tensile strength development was only slightly reduced with SRA, but SRA significantly reduced restrained stress development and cracking was delayed or prevented. Stress development was delayed in some cases due to early expansion



TENSILE CREEP COEFFICIENT:

■ SRA reduced the tensile creep strain of concrete, but did not appreciably reduce the creep coefficient. A slight reduction in creep coefficient with SRA in the 0.40 w/c mixtures is attributed to a delay in initial loading



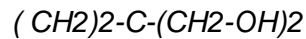
Figur 2:2. Resultat ifrån undersökning på Illinois University [4].

Andra försök [5] med förhindrad krympning visade att sprickvidden reducerades med en faktor 7. Detta är ett mycket intressant resultat speciellt för reparation tex pågjutningar.

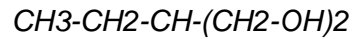
- The topping with a shrinkage reducing admixture (SRA) reduced crack widths in the restrained shrinkage test by a factor of seven.

Krympningsreducerare benämns som SRA i engelsk litteratur. SRA står för "Shrinkage Reducing Admixtures" i en undersökning \6\ beskrivs uppbyggnaden av tillsatsmedlet såsom:

"A chemical admixture based on the presence of glycolic group such as in neopentil-glycol:

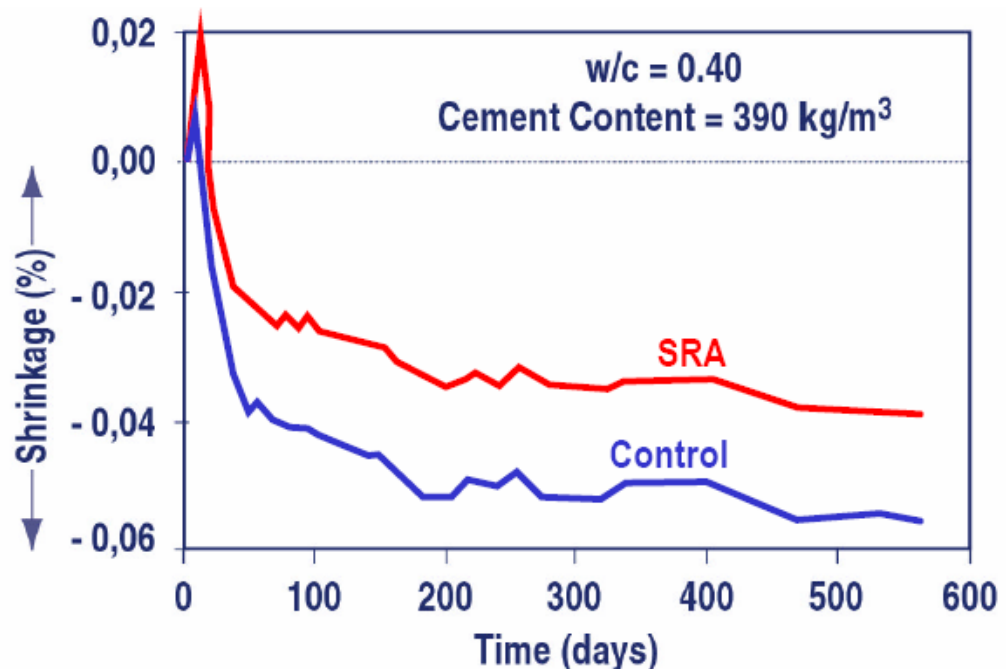


or propylen-glycol:



Typical dosages of SRA are in the range of 1-2% by weight of cement."

I undersökningen visades resultat på minskning av krympning när SRA användes, se figur 2:3.

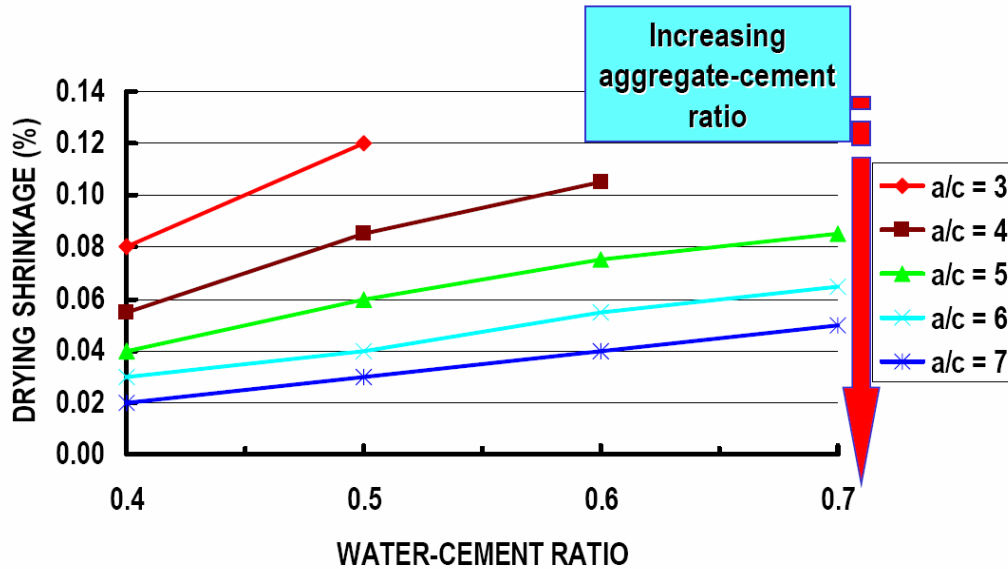


Figur 2:3. Mätning av fri krympning för betong med och utan SRA.

I undersökning i \6\ provades inte bara SRA även utan expanderande medel samtidigt. Slutsatserna som drogs var följande (citat på engelska ifrån skriften):

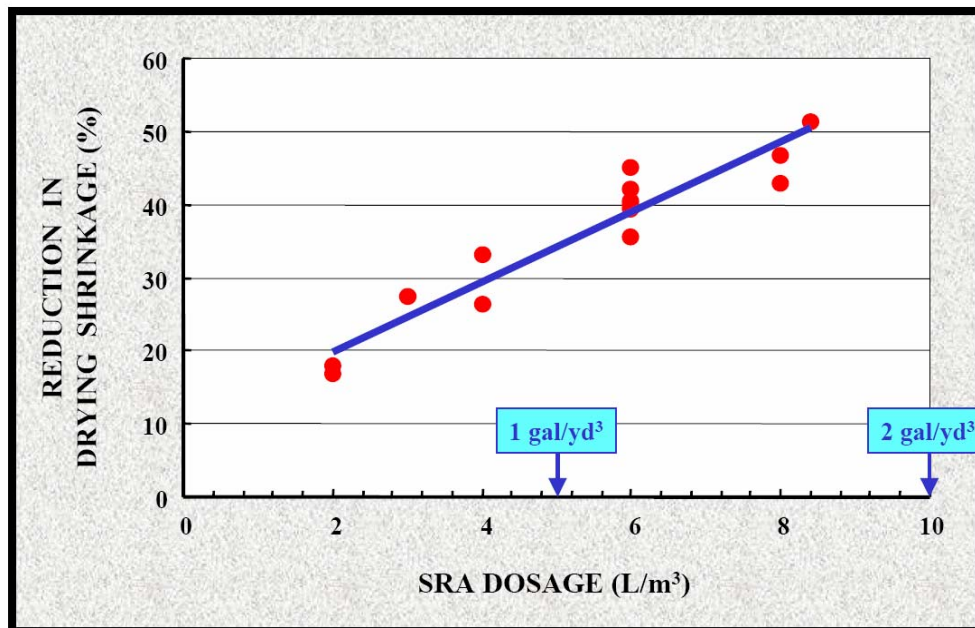
- Neither SRA nor expansive agents, when used separately, can completely remove the drawback caused by drying shrinkage specially in the absence of any wet curing after demolding.
- The combined use of SRA and CaO-based expansive agent can remove the shrinkage at least during the first two months even in the absence of any wet curing.
- This technology can be extended even to SCC provided that the strength development at early ages fits the expansion rate produced by CaO hydration.

Ifrån en presentation ifrån degussa – Masterbuilders 17 presenteras några resultat vid användning av SRA betong. Figur 2:4 visar hur förhållandet mellan ballastandel och cement påverkar storlek av krympningen.



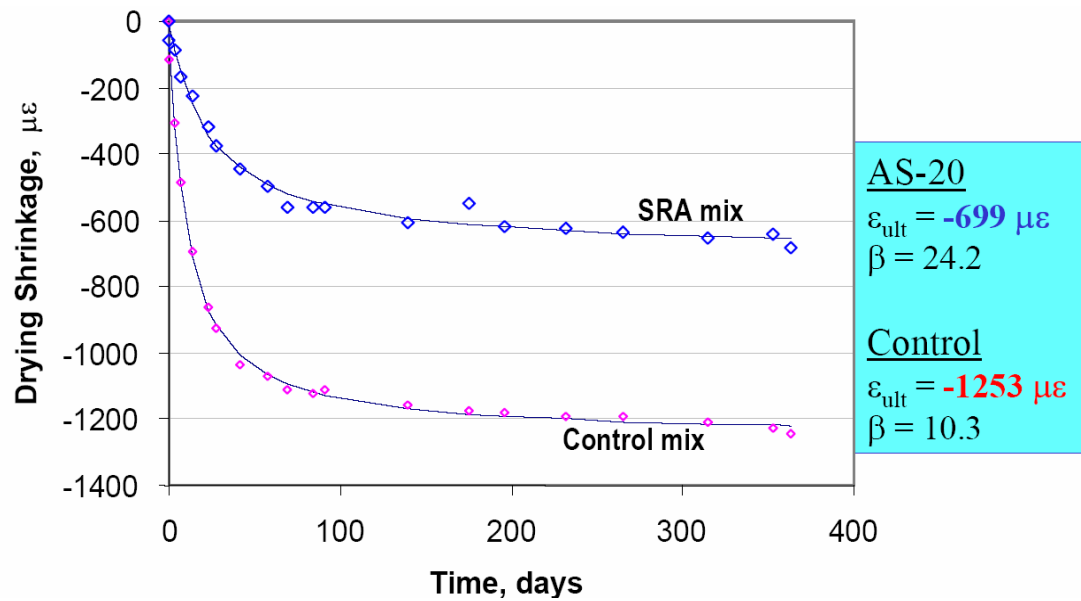
Figur 2:4. Krympningens beroende på andelen ballast i förhållande till cementen.

I figur 2:5 åskådliggörs doseringens effekt på reduktionen av krympningen.



Figur 2:5. SRA doseringens effekt på reduktionen av krympning.

Figur 2:6 visar reduktionen för ett speciellt prov med SRA. Observeras bör den höga krympningen för kontrollreceptet, ca 1,2 promille. Det är möjligt att vid mycket höga krympningar i utgångsbetongen fås den största effekten.

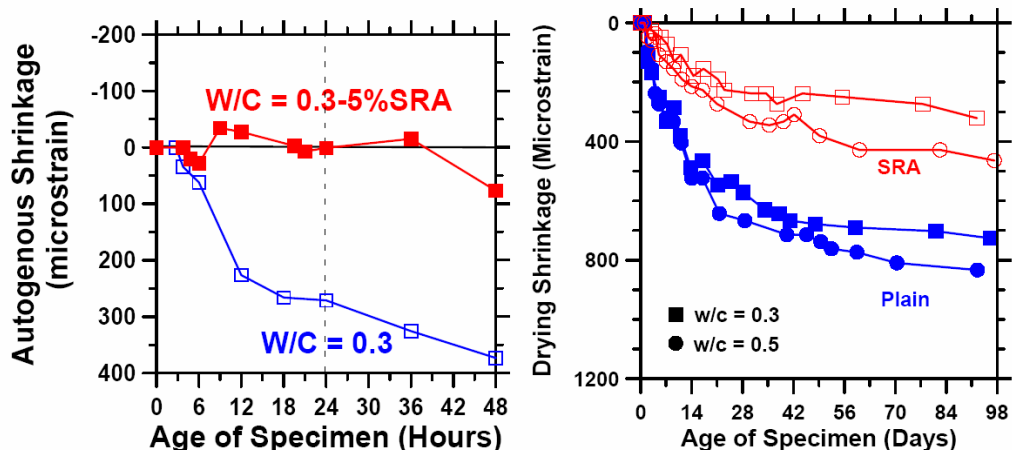


Figur 2:6 Resultat för krympningsreducerare vid stor krympning hos kontrollbetongen.

Nedanstående visar olika förslag där användning av krympningsreducerare är intressant:

- Golv och väggar
- Brokonstruktioner
- Parkeringshus
- Tunnelar
- Vatten och avloppsanläggningar
- Prefabricerade produkter
- Reparationer
- Sprutbetong

Andra mätningar av effekten av användning av krympningsreducerare speciellt på autogen krympning redovisas i \8\ se figur 2:7.



Figur 2:7. SRA effekt på autogen krympning.

Allmänt sett så har vi väldigt lite material om modern betong och dess krympning. Det som finns i Betonghandbok betongmaterial baseras på gamla data. Vi vet inte om nya cemente också ger mer krympning än tidigare använda cement. Påverkan ifrån flytmedel är också lite utrett.

Det finns några olika prov med krympningsreducerare i Sverige. Fortifikationsverket har använt krympningsreducerare för ett projekt. Verket har under flera år arbetat med att ta fram dimensionering för betongplattor och tillhörande beskrivande text. Under några år har ett antal sk. JAS-plattor byggts på flera flottiljer, se figur 2:8. Det framtagna förslaget består av plattor som är 18 * 18 meter utan fogar. Plattornas tjocklek är 200 mm. Plattorna är armerade i underkant och överkant med ϕ 12 s 150 i bägge riktningar.

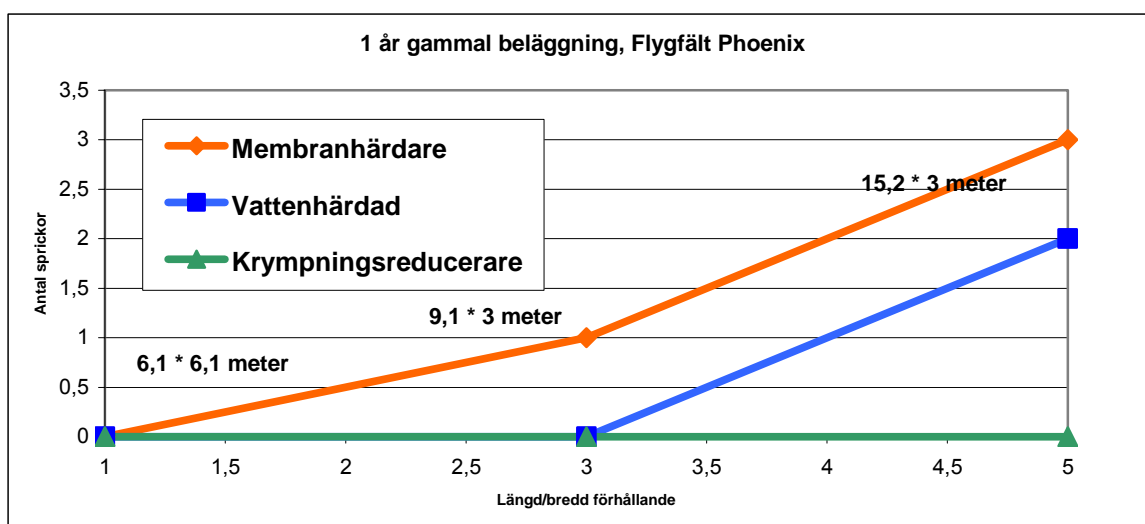


Figur 2:8. Klargöringsplatser för JAS Gripen Säteneäs.

Ifrån början var förslaget att utforma plattorna med fogar på 5-6 meters avstånd. Med tanke på funktion (avrinning etc) så önskade man plattor utan fogar. Plattorna var armerade i underkant och utökades nu med armering i överkant och fogarna slopades. Armeringsmängden är på samma nivå som för en kontinuerligt armerad betongväg.

På Malmens flygfält i Linköping skulle nya betongytor utföras för "specialplan". Dessa betongplattor är 29*34 meter i storlek. Att direkt överföra konceptet för JAS-plattorna (18*18 meter) till dessa stora ytor kändes inte helt rätt. För att gardera sig mot inte allt för stora sprickor diskuterades att använda krympningsreducerande medel.

Provningar i USA på flygfält visade också på lovande resultat. Figur 2:9 visar ett försök som utförts i Phoenix, USA \9\. På ett flygfält göts plattor med olika fogavstånd relativt plattans bredd. Plattor som var 6,1*6,1 meter (kvadratiska) fick efter ett år inga genomgående sprickor. För plattor som var 3*9,1 meter uppstod en spricka för den platta som var membranhärdad. För plattor som var 3*15,2 meter uppstod sprickor både för membranhärdad och vattenhärdad platta. Plattor med krympningsreducerare fick inga sprickor alls.



Figur 2::9. Försök med krympningsreducerare på flygfält i Phoenix USA \9\

Plattorna (3 st) som göts i april 2003 på Malmens flygfält i Linköping har fram tills nu inte fått några sprickor, figur 2:10. Som jämförelse visas en bild på en kontinuerligt armerad betongväg och en detaljbild av ytan på Malmens flygfält se figur 2.11a och b. Plattorna är armerade enligt JAS-plattor för att kunna fördela eventuella sprickor så att sprickvidden blir liten. Armeringsmängden är likvärdig med använd mängd för en kontinuerligt armerad betongväg. Fortfikationsverket är mycket nöjda med resultatet och kan förväntas använda konceptet för framtida byggnation av större betongplattor.



Figur 2:10. Specialflygplatta på flygplatsen Malmen i Linköping.



Figur 2:11a. Detalj av yta på Malmen i Linköping. 2:11b. Detalj av yta på armerad betongväg E6.

I delprojektet med reparation speciellt pågjutningar redovisa mätningar av vidhäftning. Pågjutningar vid reparation är en viktig konstruktion som är besvärlig att utföra med bra resultat. Några erfarenheter ifrån vidhäftningsprovningar redovisas i tabell 2:1.

Tabell 2:1. Några erfarenhetsvärden ifrån vidhäftningsmätningar vid reparation.

Betonghandbok Rek. vidhäftning golv	> 1 MPa			
Silfwerbrand	Handbilning 0,7 MPa	Sandblästring 1,1 - 1,3 MPa	Vattenbilning 1,4 - 1,8 MPa	
FORTV Erfarenhet "Vattenfräsning"	Helsingborg 2,35 MPa	Hultsfred 2,42 MPa	Ängelholm 1,6 MPa	Kallax* 1,7 MPa
<i>Max/Min</i>		2,7/1,8	2,7/0,7	2,8/0,7
Malmen 2000 "Enkel utrustning"	Ingen primer 1,2 MPa		Primer Densit 1,5 MPa	
<i>Max/Min</i>	1,8/0,7 MPa		1,8/0,9 MPa	

*Totalt 4052 m².

3 MODELL FÖR KRYMPNING

Krympningen kan delas upp i olika delar, se Betonghandbok, del Material \10\.

Det finns flera modeller för beräkning av uttorkningskrympningens storlek. Här redovisas två modellen den första ifrån betonghandbok \10\. Modellen utgår ifrån en referenskrympning sluttidskrympning och justerar med hänsyn till tid, luftfuktighet och sektion.

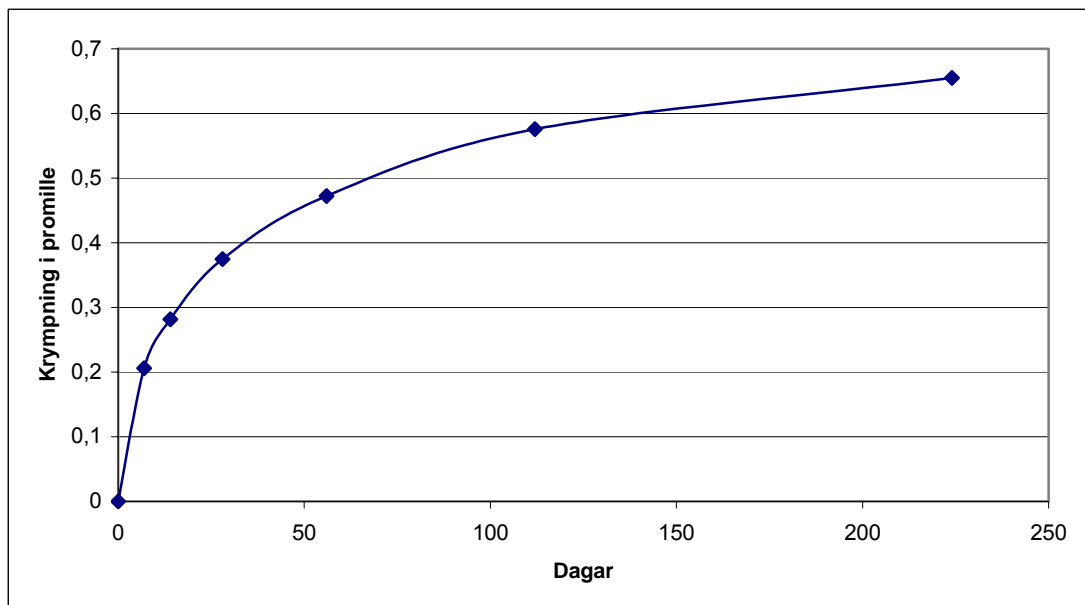
$$\varepsilon_{cs} = \gamma_t * \gamma_{RH} * \varepsilon_{s0} \quad \dots 3:1$$

För beteckningar hänvisas till Betonghandbok, referenskrympningen beräknas enligt nedan.

$$\varepsilon_{s0} = \left(\frac{W}{215} \right)^3 * 10^{-3} \quad \dots 3:2$$

där W är vattenhalten i kg/m³.

För det recept som använts i undersökningen med Byggcement (360 kg/m³) och vct 0,55 har beräkning gjorts och visas i figur 3:1.



Figur 3:1. Beräkning av krympningens storlek för laboratorieprov vct 0,55 och Byggcement.

En nackdel med denna beskrivning är att man inte skiljer på autogen krympning (förseglad krympning) och uttorkningskrympning. En modell som visar detta har beskrivits av R I Gilbert (2001) se \11\. Krympningen indelas i två komponenter en för autogen- och en för uttorkningskrympning. Den autogena krympningen (ekv 3:3) kommer tidigt och ökar med hållfastheten. Uttorkningskrympningen (ekv 3:4) utvecklas långsammare och minskar med ökad hållfasthet (mindre vattenmängd).

$$\varepsilon_{cse} = \varepsilon_{cse}^* * (1,0 - e^{-0,1t}) \quad \dots 3:3$$

där ε_{cse}^* är den autogena krympningen efter lång tid och beräknas enligt ekv 3:4

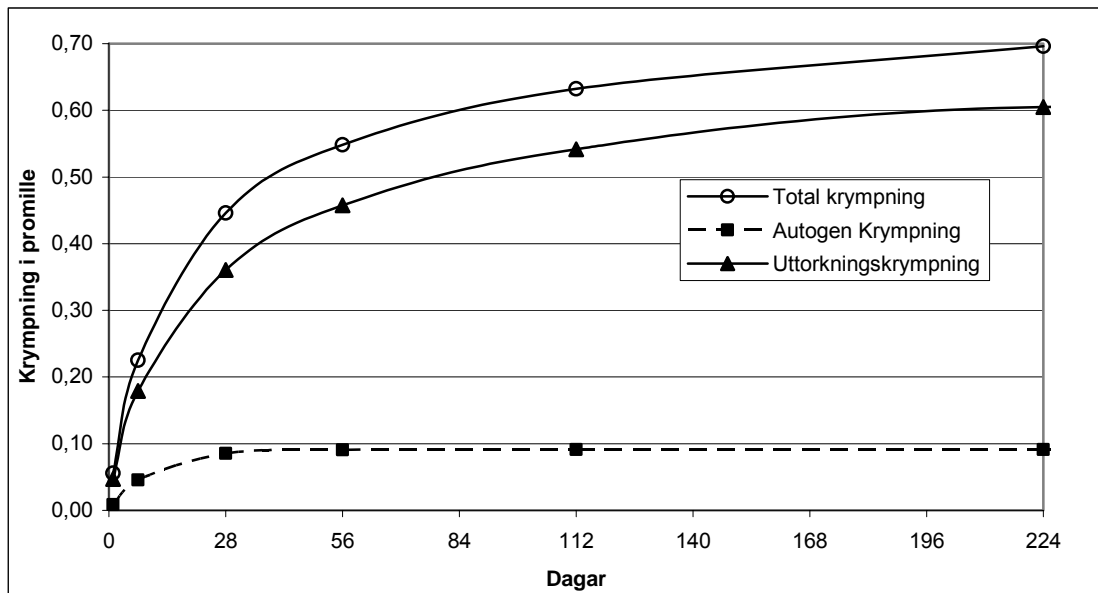
$$\varepsilon_{cse}^* = (3 * f'_c - 50) * 10^{-6} \quad \dots 3:4$$

Uttorkningskrympningen ε_{csd}^* efter lång tid beräknas enligt ekv 3.5

$$\varepsilon_{csd}^* = (1100 - 8 * f'_c) * 10^{-6} \geq 250 * 10^{-6} \quad \dots 3:5$$

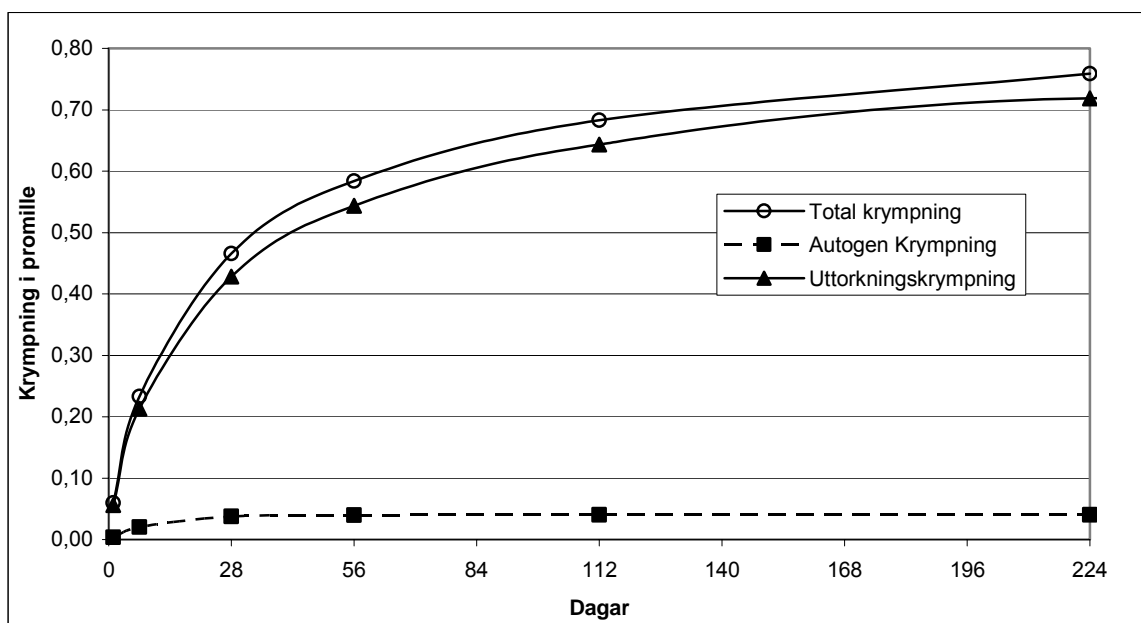
Genom att multiplicera uttorkningskrympning med en faktor k_1 som i sin tur beror av faktorer för antalet dagar efter härdning, miljön (RH) samt tvärsnitt fås uttorkningskrympningens tidsförlopp i princip enligt metoden i Betonghandbok Material.

Figur 3:2 visar hur den autogena- och uttorkningskrympningen varierar över tiden för i princip samma betong som använts i figur 3:1 (här beräknad ifrån hållfasthet istället för vattenhalt).

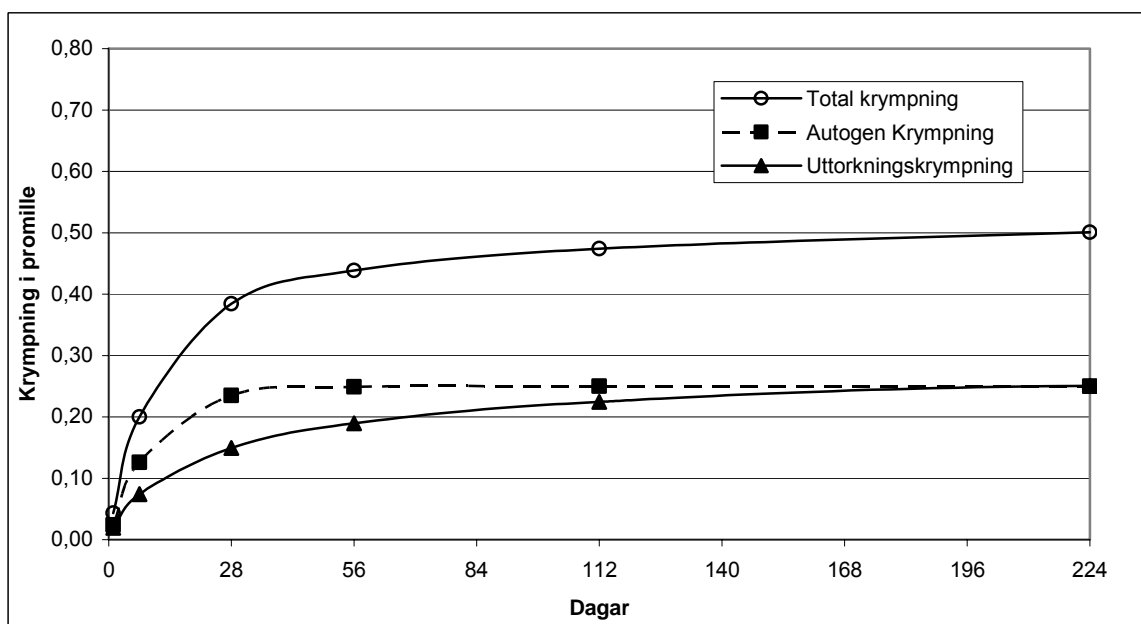


Figur 3:2. Autogen och uttorkningskrympning enligt Gilbert \11\.

Intressant är att se hur krympningens tidsförlopp varierar för låghållfast- och höghållfast betong. Figur 3:3 och 3:4 visar detta för en betong med 30MPa och en för en betong med 100 MPa tryckhållfasthet.

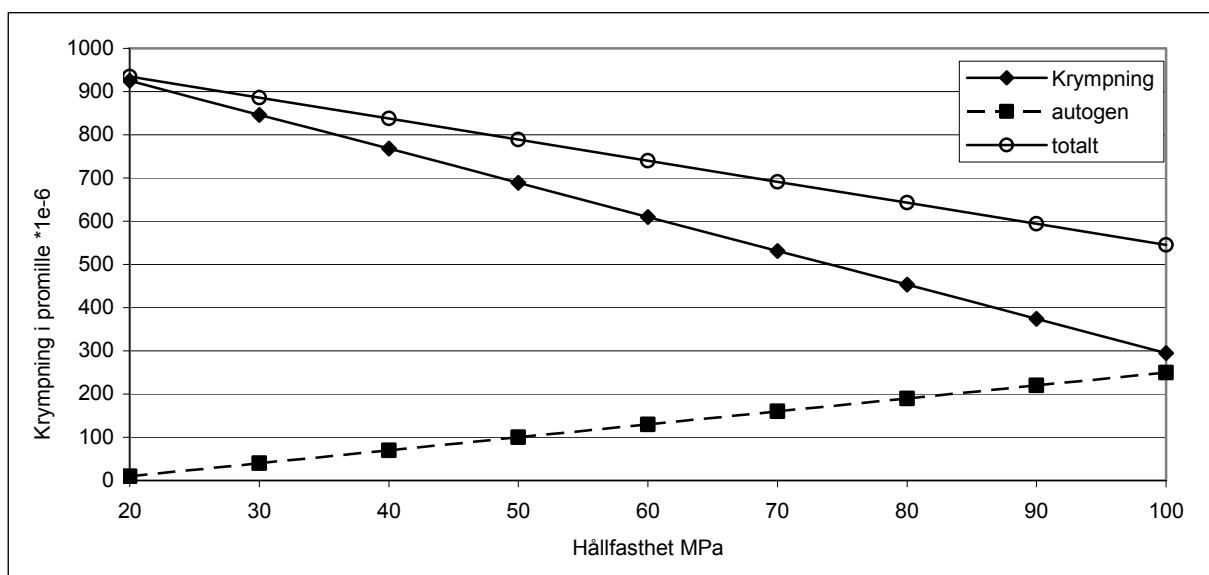


Figur 3:3. Krympning för en betong med 30 MPa:s tryckhållfasthet uppdelad i autogen- och uttorkningskrympning.



Figur 3:4. Krympning för en betong med 100 MPa:s tryckhållfasthet uppdelad i autogen- och uttorkningskrympning.

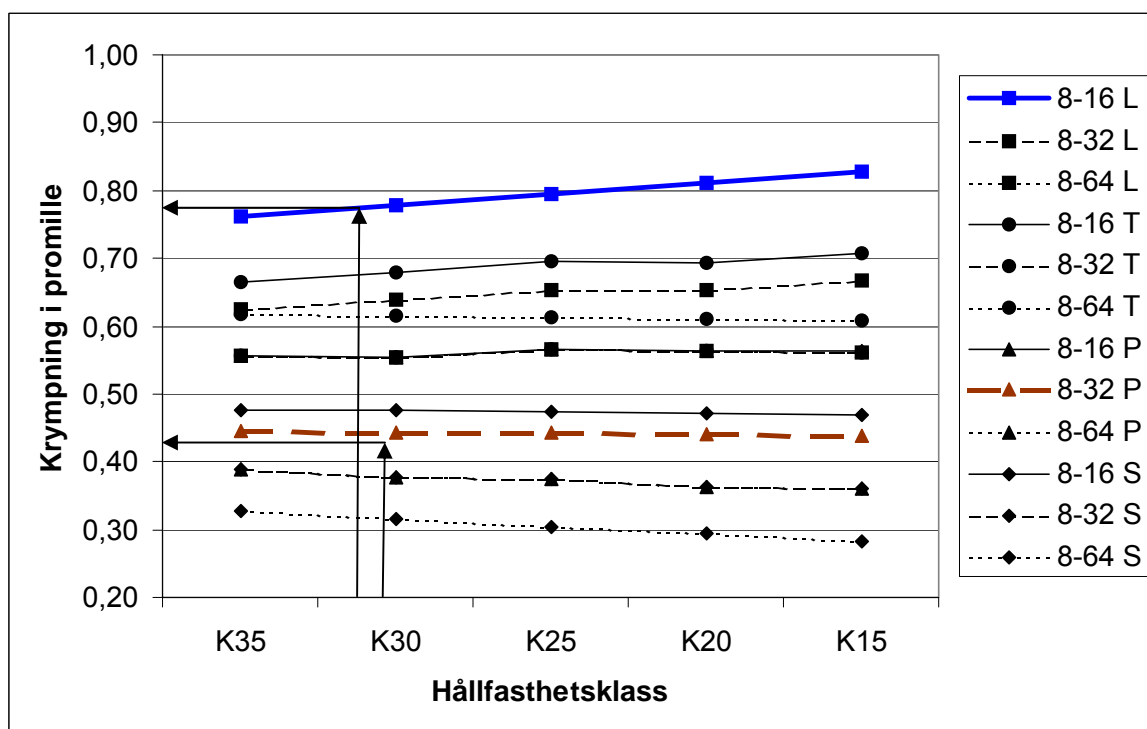
I figur 3:5 visas hur en betongs krympning, vid olika hållfasthet, kan uppdelas i autogen- och uttorkningskrympning.



Figur 3:5. Krympning uppdelad i autogen- och uttorkningskrympning för olika tryckhållfastheter.

Som framgår av figur 3:5 så är den autogena krympningen "obefintlig" för låga hållfastheter medan för höga kan uppgå till 50% av den totala krympningen. Figur 3:4 visar att den autogena krympningen kommer snabbt, jämfört med uttorkningskrympningen.

Exempel på skillnad i krympning "för och nu" visas i figur 3:6. Förr använde vi 8-32 som sten och plastisk till styv konsistens (P till S). Idag har man 8-16 mm sten samt också övergått till lättflytande konsistens (L). Detta påverkar krympningens storlek. Krympning har i princip gått ifrån 0,45promille till nästan 0,8 promille, jämför figur 3:6.



Figur 3:6. Krympning för och nu stor max sten styv konsistens resp litet stenmax och löss konsistens.

Diagrammet är gjort för en modell där man justerar konsistensen med vattnet. I dag använder man flytmedel och behöver inte öka vattenmängden lika mycket vilket påverkar

krympningen. Tyvärr får man inte ut hela effekten ty användning av flytmedel påverkar krympningen negativt.

Vi behöver mer kunskap om storleken av modera betongs krympning, samt vad som påverkar den fria krympningen.

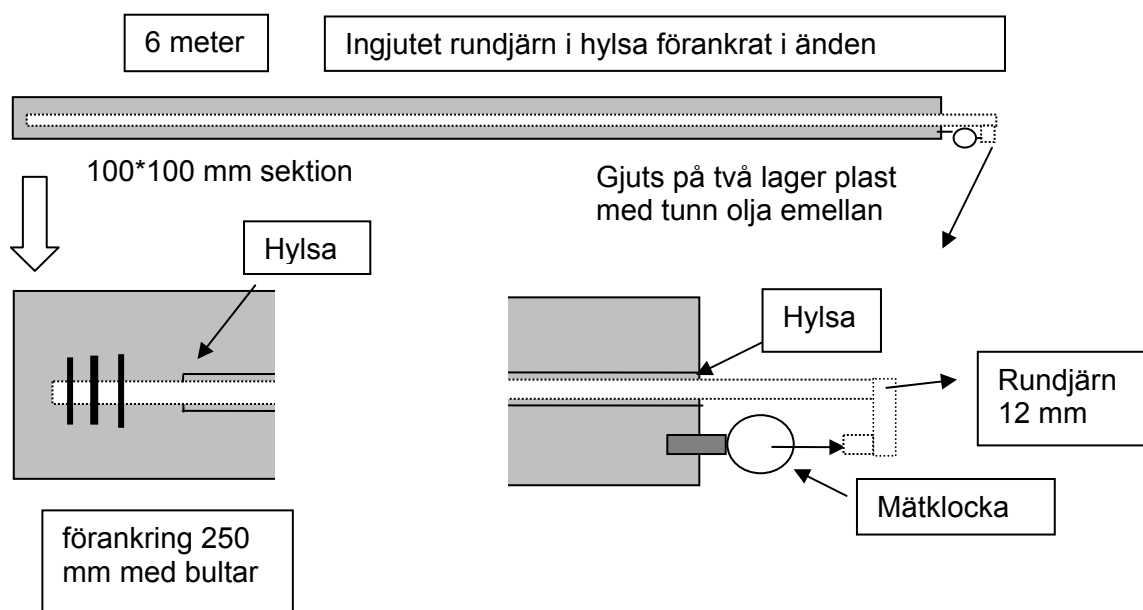
4 LABORATORIEFÖRSÖK

4.1 Allmänt

Mätning av krympning kan vara svår att utföra med tillräcklig liten spridning. I betonghandbok, Material, utgåva 2 se \12\, skriver Jan-Erik Jonasson om prov av krympning ” trots att försöken är utföra i ett och samma laboratorium är spridningen relativt stor, vilket verkar typiskt för krympningsvärden”.

Vi har utfört laboriemätningar enligt SS 13 72 15. Provkropparna har 400 mm längd och med en bredd och höjd av 100 mm. Provkropparna har förvarat i konditioneringsrum. Mätning har gjorts med hjälp av ingjutna dubbar. Själva mätningen gjorde med ett långt digitalt skjutmått. Det visade sig att mätningen var väldigt beroende av vem som utförde mätningen. Detta har vi försökt eliminera till största delen genom att en och samma person utfört mätningarna. Trots detta har vi fått en stor spridning av resultaten. Efter diskussioner inom gruppen beslöts att försöka förbättra noggrannheten samt också mäta vi mera realistiska förhållanden.

För att ge en bättre noggrannhet så kompletterades proven med att mäta på långa balkar i metod beskriven i \13\. I princip består utrustningen av en lång balk, i vårt fall 6 meter, balken ha en ingjuten stång i en hylsa där ena änden gjuts fast i betongbalken. I den andra änden av stången mäts rörelsen relativt denna ände av betongbalken, se figur 4:1. Balken vilar på två lager plast med en oljefilm emellan.



Figur 4:1. Mätning av krympning för långa balkar. Balkarna läggs på två lager plast.

Forts tabell 4:1

Variabel	Nr	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Krympningsred	Tetraguard AS 20, 1%												
	Control 40, 1%												
	Tetraguard AS 20, 2%				X		X	X	X				
	Control 40, 2%	X	X	X		X				X	X	X	
Cement	Byggcement Slite	X			X	X	X			X			X
	Byggcement Skövde		X					X			X		
	EMBRA Bygg			X					X			X	
Flytmedel	SIKA EVO 26	X	X	X						X	X	X	
	Glenium Sky						X	X	X				X
	Melamin Pozzoli. 475-s				X	X							
Konsistens	Halvflyt	X	X	X	X	X							
	SKB (utan filler)						X	X	X	X	X	X	X

Anm: **SKB (utan filler)**

Recept C32/40 16mm vct 0,53 cement 400 kg

Krympning ca 0,96 promille förväntat av referensprov (btg-handbok)

Halvflyt

Recept C28/35 (K35) stenmax 25 mm Vct 0,58 halvflyt

Krympning ca 0,67 promille förväntat av referensprov (btg-handbok)

(ca 325 kg cement)

Tabell 4:2 visar en sammanställning av resultatvärden. För vissa prov har inte nollvärdet vid 7 dygn kunnat användas utan 14 dygn har använts. Detta på grund av "konstiga resultat" vid 7 dygn eller att inga mätningar har kunnat göras.

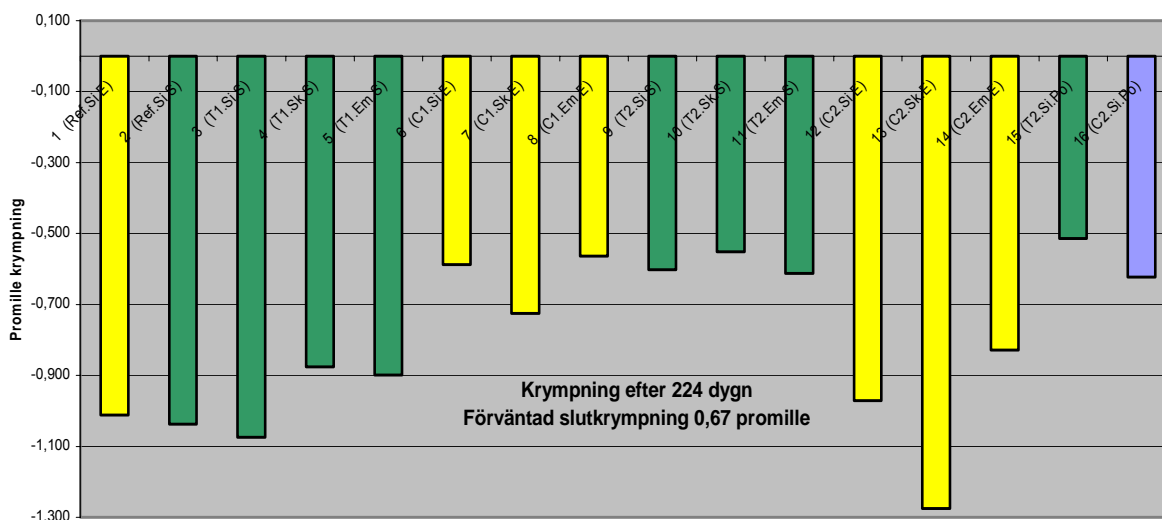
Tabell 4:2 Resultat av mätningar i tabellform.

Dygn enligt standard	0	7	14	28	56	112	224
Ålder ifrån gjutning	7	14	21	35	63	119	231
Prov							
1 (Ref.Si.E)	0,000	-0,250	-0,075	-0,125	-0,475	-0,986	-1,011
2 (Ref.Si.S)	0,000	-0,301	-0,150	-0,263	-0,451	-1,039	-1,037
3 (T1.Si.S)	0,000	0,000	-0,250	-0,125	-0,500	-0,925	-1,075
4 (T1.Sk.S)	0,000	0,000	-0,213	-0,075	-0,300	-0,876	-0,876
5 (T1.Em.S)	0,000	0,000	-0,250	-0,075	-0,262	-0,824	-0,899
6 (C1.Si.E)	0,000	0,000	-0,475	-0,450	-0,263	-0,701	-0,588
7 (C1.Sk.E)	0,000	0,000	-0,275	-0,050	-0,337	-0,450	-0,725
8 (C1.Em.E)	0,000	0,000	-0,150	-0,100	-0,238	-0,288	-0,564
9 (T2.Si.S)	0,000	0,000	-0,188	-0,075	-0,150	-0,364	-0,602
10 (T2.Sk.S)	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,175	-0,175	-0,551
11 (T2.Em.S)	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,375	-0,462	-0,612
12 (C2.Si.E)	0,000	0,000	-0,287	-0,224	-0,411	-0,548	-0,971
13 (C2.Sk.E)	0,000	0,000	-0,488	-0,462	-0,800	-0,887	-1,275
14 (C2.Em.E)	0,000	0,000	-0,301	-0,151	-0,439	-0,515	-0,828
15 (T2.Si.Po)	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,251	-0,251	-0,514
16 (C2.Si.Po)	0,000	-0,199	-	-0,274	-0,274	-0,323	-0,623
17 (T2.Si.S.SKB)	0,000	-0,188	-0,075	-0,325	-0,350	-0,400	-0,626
18 (T2.Sk.S.SKB)	0,000	-0,163	0,013	-0,276	-0,326	-0,476	-0,664
19 (T2.Em.S.SKB)	0,000	-0,025	-0,025	-0,152	-0,367	-0,380	-0,595
20 (C2.Si.E.SKB)	0,000	0,025	-0,025	-0,190	-0,379	-0,506	-0,677
21 (C2.Sk.E.SKB)	0,000	0,000	-0,050	-0,200	-0,427	-0,452	-0,706
22 (C2.Em.E.SKB)	0,000	-0,076	0,139	-0,164	-0,405	-0,455	-0,354
23 (Ref.Si.S.SKB)	0,000	-0,152	-0,101	-0,228	-0,519	-0,645	-0,847

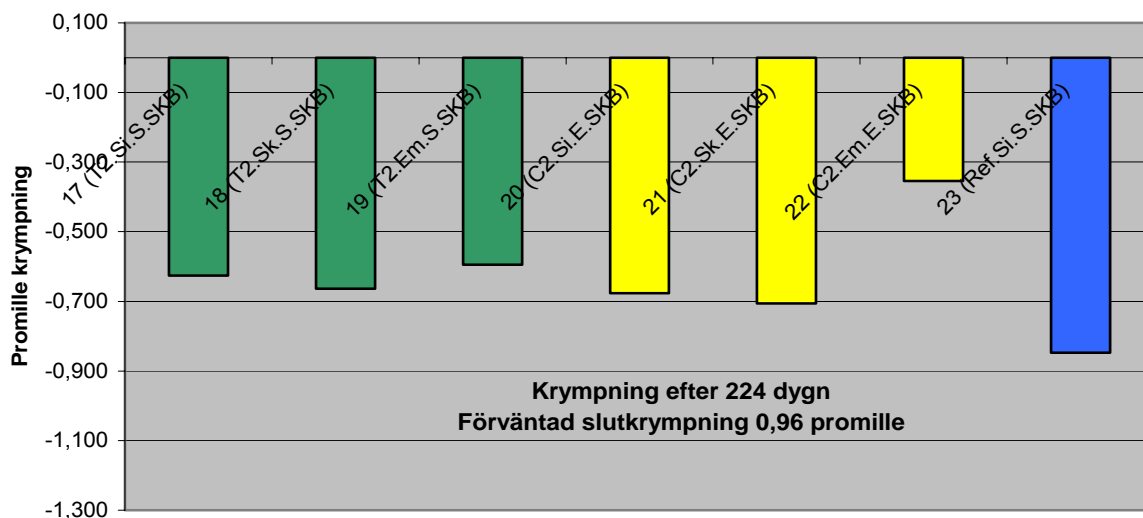
Anmärkning: För att få fram de olika variabler som använts tex prov 19, Terraguard 2% dos, Embla cement och Sky som flytmedel samt konsistens SKB = 19 (T2.Em.S:SKB).

Slutvärdet för alla krympningsmätningar är medel av 4 balkars mätvärden.

Figur 4:2 och Figur 4:3 visar resultat av mätningarna i stapelform.



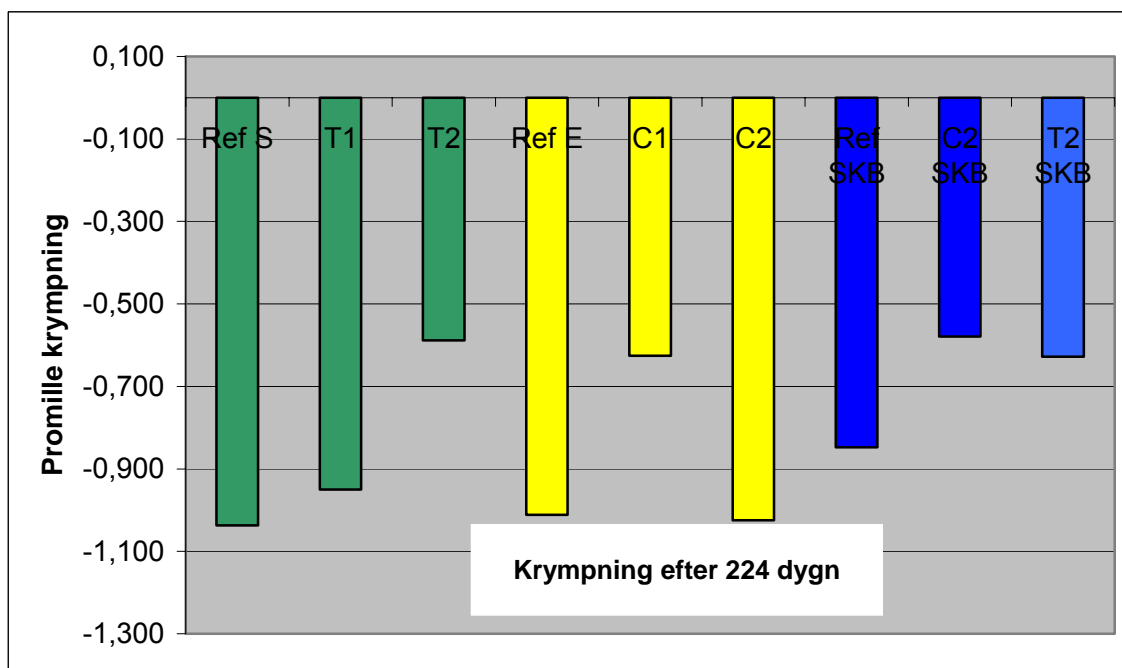
Figur 4:2. Resultat för prov 1 till 16, halvflytbetong.



Figur 4:3. Resultat för prov 17 till 23, SKB betong.

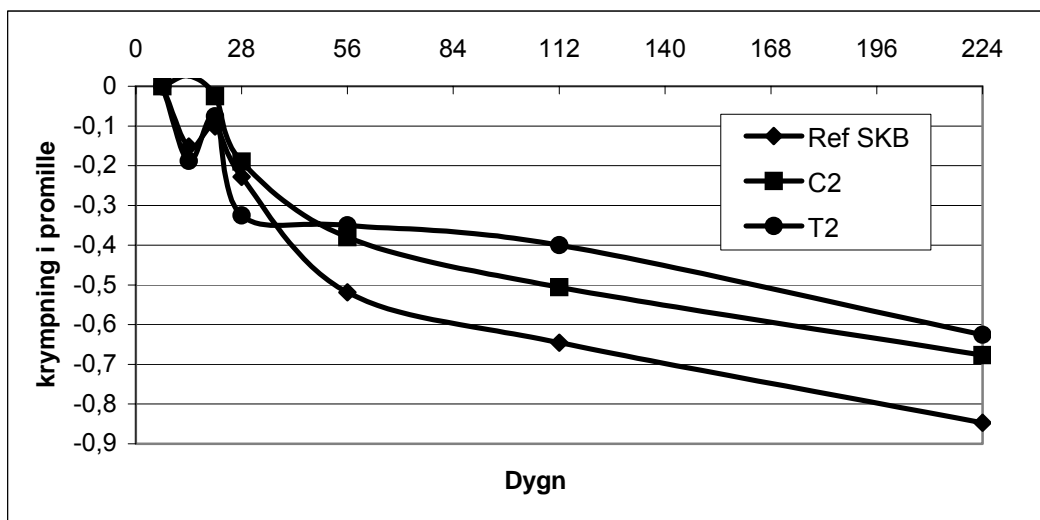
Resultaten varierar en hel del. Någon tydlig skillnad mellan de olika cementsorterna kan inte ses. Någon skillnad mellan moderna flytmedel såsom polykarboxylat och äldre som melaminbaserade syns inte heller. För en av krympningsreducerare syns en klar skillnad vid ökande doseringar. För den andra är effekten den motsatta. Anledningen är förmodligen mät- eller gjuttekniskt. Osäkerheten gjorde att vi efter diskussioner beslöt att göra om några prov. Resultaten tyder dock på att vid en procent dosering erhålls mellan 10-30% reduktion av krympningen. Vid 2% dosering upp till 45 % reduktion (med osäkerhet för värdet av en typ av krympningsreducerare).

Figur 4:4 visar en sammanställning av resultaten där medelvärden använts för att ge en mera generell bild av resultaten.



Figur 4:5. Sammanställning av resultaten som medelvärde krympningen.

Figur 4:6 visar utvecklingen över tiden för resultat ifrån mätningar av självkompakterande betong, en referensbetong och två med 2% dosering av krympningsreducerande medel. Cementet som användes var Byggcement ifrån Slite. Vattencementtalet var för betongerna 0,53.



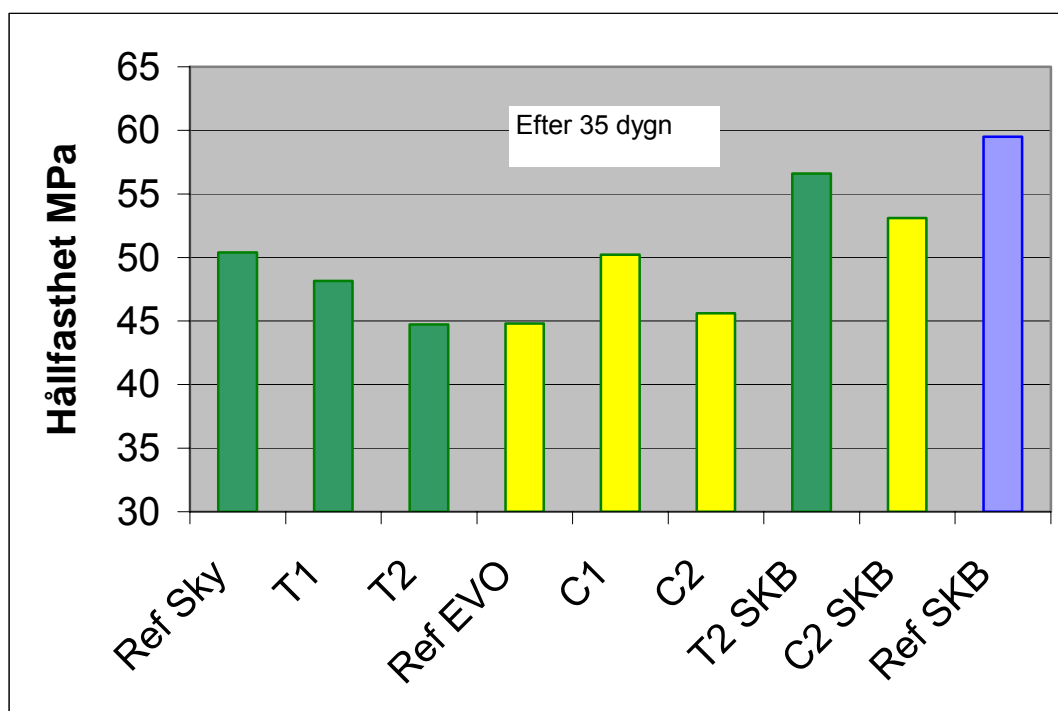
Figur 4:6. Tidsförloppet för krympning för SKB betong med och utan krympningsreducerare.

Hållfastheten har bestämts vid olika tidpunkter samtidigt som mätningarna utförts för krympningen. Tabell 4:7 redovisar hållfastheten vid 7 dygn samt upp till 231 dygn. Generellt så minskar inte hållfastheten speciellt mycket vid 1 % dosering av krympningsreducerare. För 2% är minskningen ca ca 5-7% för halvflyt och ca 10% för SKB betongen.

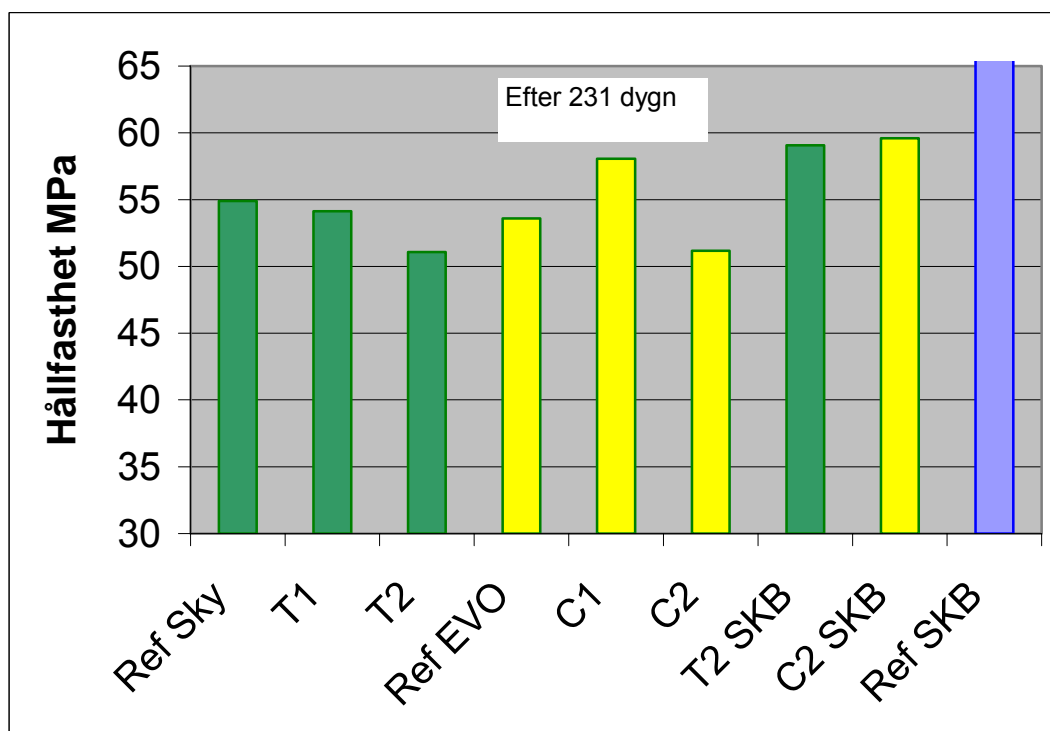
Tabell 4:3. Hållfasthetsvärden vid olika tidpunkter.

Prov	7 dygn	14 dygn	21 dygn	35 dygn	63 dygn	231 dygn
1(Ref.Si.E)	36,8	43,1	44,5	44,8	49,9	53,6
2(Ref.Si.S)	40,4	45,3	47,8	50,4	52,9	54,9
3(T1.Si.S)	38,5	44,6	45,4	49,7	49,6	54,7
4(T1.Sk.S)	37,2	42,0	41,9	45,0	47,6	52,5
5(T1.Em.S)	40,5	45,9	46,2	49,8	49,7	55,2
6(C1.Si.E)	46,4	51,1	54,4	55,4	58,6	60,3
7(C1.Sk.E)	39,0	44,1	47,6	47,6	50,5	54,5
8(C1.Em.E)	39,0	46,0	48,7	47,7	54,6	59,4
9(T2.Si.S)	33,6	39,0	39,4	42,3	44,4	48,0
10(T2.Sk.S)	35,2		39,8	42,9	44,8	50,8
11(T2.Em.S)	40,1		46,1	49,0	52,5	54,4
12(C2.Si.E)	36,8	42,4	43,4	44,7	47,2	50,9
13(C2.Sk.E)	35,8	39,8	41,9	44,1	44,9	51,2
14(C2.Em.E)	39,9	43,7	46,7	48,0	48,5	51,4
15(T2.Si.Po)	32,9		40,4	41,3	46,8	50,1
16(C2.Si.Po)	36,6	42,5	43,1	46,3	48,9	53,6
17(T2.Si.S.SKB)	43,6	51,4	52,6	54,7	57,6	62,3
18(T2.Sk.S.SKB)	39,5	47,2	48,7	51,9	54,7	60,6
19(T2.Em.S.SKB)	45,2	46,6	61,0	63,2	64,3	54,3
20(C2.Si.E.SKB)	42,6	47,0	49,0	51,6	56,9	59,6
21(C2.Sk.E.SKB)	42,1	46,9	49,0	51,9	56,5	60,6
22(C2.Em.E.SKB)	45,8	50,3	54,3	55,8	55,6	58,6
23(Ref.Si.S.SKB)	49,5	50,0	56,1	59,5	63,9	66,8

Figur 4:7 visar hållfastheten efter 35 dygn, Figur 4:8 efter 231 dygn. Hållfastheten ökar generellt med ca 10-15% mellan 35 och 231 dygn.



Figur 4:7. Hållfasthet efter 31 dygn



Figur 4:8. Hållfasthet efter 231 dygn

Även här är det en krympningsreducerare som resultatet inte är konsistent för utan varierar. Vid en procent dosering har värdena för hållfastheten tom ökat.

4.3 Kompletterande krympningsprov

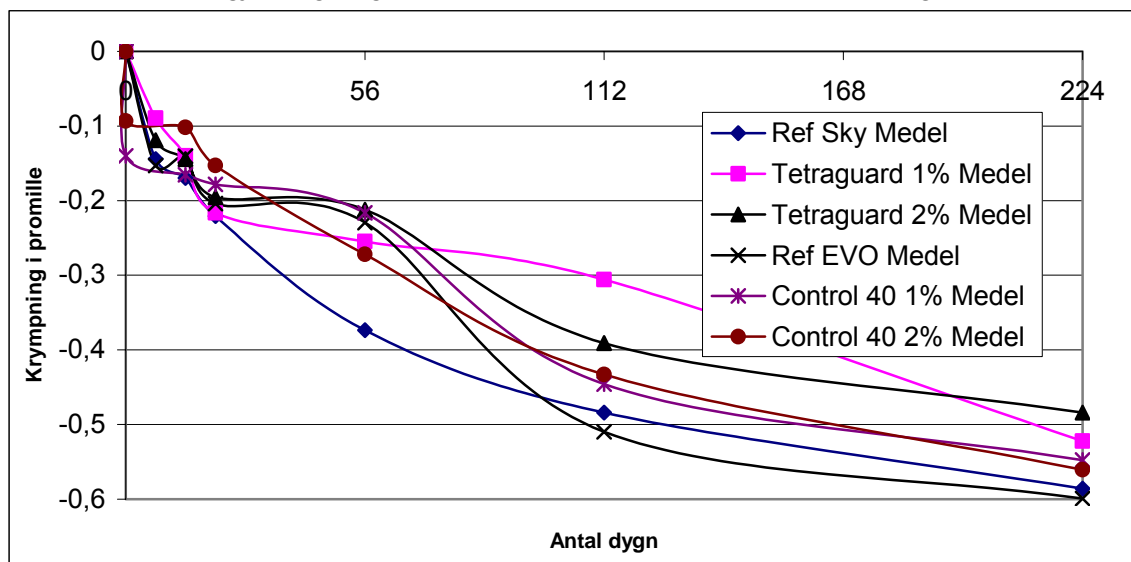
Då resultaten för krympningsmätningar för de provade krympningsreducerarna var varierande beslöts att göra en komplettering av mätningarna. Nedan i tabell 4:4 visas de provade variablerna.

Tabell 4:4. Utformning av variabler för de kompletterande proven.

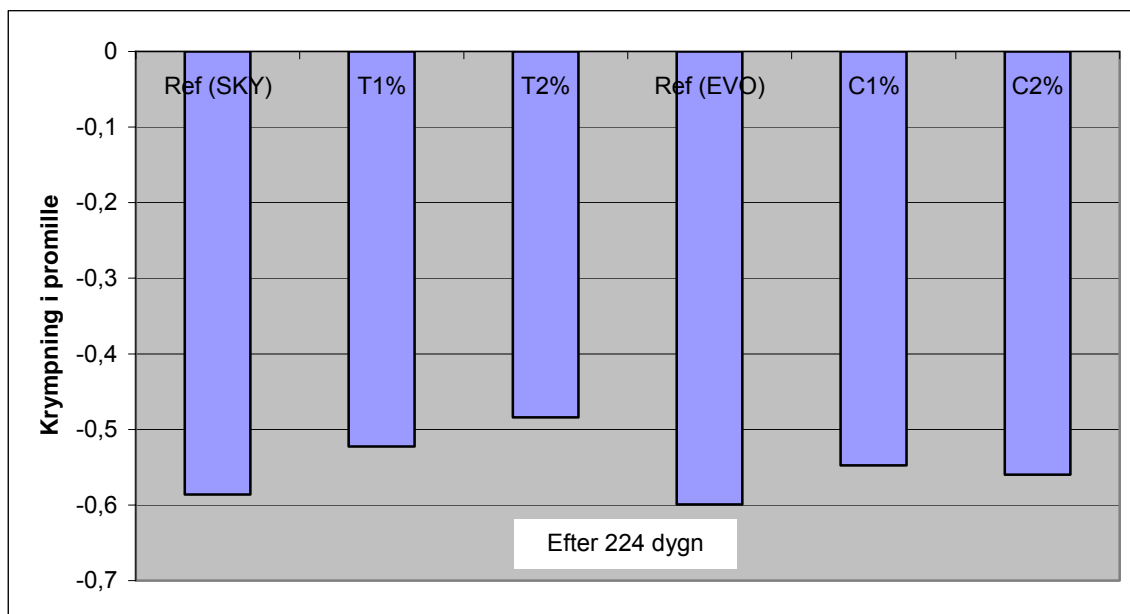
Komplement till	Variabel	Nr	Ref Ref					
			1	2	3	6	9	12
Krympningsred	Tetraguard AS 20, 1%				X			
	Control 40, 1%					X		
	Tetraguard AS 20, 2%						X	
	Control 40, 2%							X
Cement	Byggcement Slite		X	X	X	X	X	X
Flytmedel	SIKA EVO 26		X			X		X
	Glenium Sky			X	X		X	
Konsistens	Halvflyt		X	X	X	X	X	X
	SKB (utan filler)							
Vct	0,55		X	X	X	X	X	X

Anm: Recept C28/30 (K35) Vct 0,55 halvflyt stenmax 25 mm
 Krympning ca 0,78 promille förväntat av referensprov (btg-handbok)
 (ca 360 kg cement) konsistens 220-240 mm
 Annat stenmaterial än vid tidigare provningar

Figur 4:9 visar resultaten som medelvärde av tre prov. Resultaten är visade efter olika tidsperioder ifrån gjutning. Figur 4:10 visar slutresultaten som stapeldiagram.



Figur 4:9. Resultat av kompletterande prov.



Figur 4:10 Resultat av krympningsmätningar, slutvärden.

Resultaten visar något mindre krympning än vad som förväntat enligt betonghandbok jmf kapitel 4. Dosering mellan 1 och 2 % visar inte på några större skillnader i effekt på krympningen. Observera att ett annat stenmaterial används vid dessa försök än vid de tidigare försöken.

För en procents dosering blir minskningen i krympning ca 10% och vid 2% dosering ca 10-20% reduktion av krympningen.

4.3.1 Diskussion

En jämförelse med referensvärden visar att för de första proven med "Byggcement" skiljer sig resultaten kraftigt åt jämfört med beräknade värden. Beräkning gav ca 0,68 promille medan referensprov gav 1,04 promille, en skillnad på ca 55%. Båda referensproven gav likartade resultat. Motsvarande för SKB betong var ca 0,96 promille. Resultatet vid mätningar visar på referensvärde av ca 0,9 promille dvs relativt väl överensstämmande.

För de kompletterade proven var referensvärdena strax under 0,6 promille och beräkning enligt betonghandbok gav 0,78 promille, ca 20% lägre värde. Vid dessa prov användes en annan ballast än för de tidigare proven.

Det har konstateras en stor skillnad på krympning och effekten av krympningsreducerare beroende på vilken ballast som användes. För 1% dosering av krympningsreducerare var minskningen i krympning ca 10% - 30%. För 2% dosering var minskningen upp till 45%. Minskningen i krympning synes vara beroende på utgångskrympningen för material utan krympningsreducerare. Lite krympning i ursprungsmaterialet ger också en mindre minskning av krympningen när krympningsreducerare används.

4.4 Mätningar av krympning på långa balkar

Efter diskussion inom projektet beslöts att också försöka göra mera mätningar enligt normala förhållanden för ett betonggol. Samtidigt vid dessa gjutningar gjordes ringförsök med förhindrad krympning som var speciellt inriktad mot reparation.

I en lokal ägd av Fortverket gjordes provning av krympning för långa balkar samt ringförsök. Ringförsöken redovisas under senare kapitel. I lokalen mätes temperatur och luftfuktighet kontinuerligt.

Samtidigt som de långa balkarna göts tillverkades också vanliga krympningsbalkar som skickades till CBI för standardiserad mätning.

Tabell 4:5. Olika variabler för långa balkar.

Provnummer	Cement	vct	Krympningsred	Flytmedel	Konsistens
1	Byggcement	0,58	-----	SIKA EVO 26	SKB
2	Byggcement	0,58	Controll 40 0,75%	SIKA EVO 26	SKB
3	Byggcement	0,58	Controll 40 1,5%	SIKA EVO 26	SKB
4	Anläggning	0,53	-----	Glenium SKY	HF
5	Anläggning	0,53	Tetraguard 0,75%	Glenium SKY	HF
6	Anläggning	0,53	Tetraguard 1,5%	Glenium SKY	HF

BRÅVALLA

Byggcement

Ifrån fabrik lättflytande (halvflyt) S4

Cement	360 kg	
sand 0-8	1080 kg	
sten 8-16	704 kg	Grundrecept 8-16 mm C28/35
Vatten	210 kg	Flyt 475 S
vct	0,58	
Krympdos 0,75 resp 1,5%		
Varje sats	5,4 kg	2 m ³

BRÅVALLA

Anläggningscement

Ifrån fabrik lättflytande (halvflyt) S2

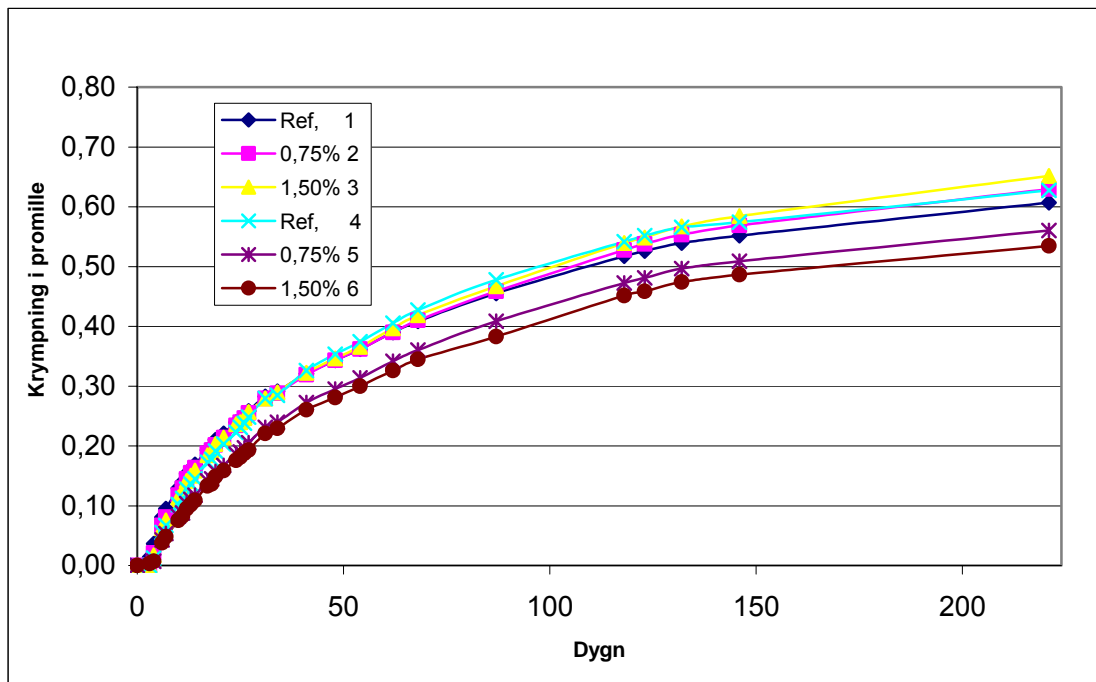
Cement	440 kg	
sand 0-8	1061 kg	
sten 8-16	682 kg	Grundrecept 8-16 mm
Vatten	195 kg	Flyt 475 S Microair 5,5% testad
vct	0,45	
Krympdos 0,75 resp 1,5%		
Varje sats	6,4 kg	2 m ³

Blandning av krympningsreducerare gjordes i en roterbil på platsen. Referensbetongerna göts först. I roterbilen tillsattes sedan 0,75% krympningsreducerare som blandades i ca 7 minuter, efter detta göts balkarna (och ringar). Sedan tillsattes ytterligare 0,75% krympningsreducerare för att nå 1,5%, och nya balkar göts. Ringproven göts vid samma tillfälle och även de standardiserade proven.

Tabell 4:6. Resultaten av provningarna.

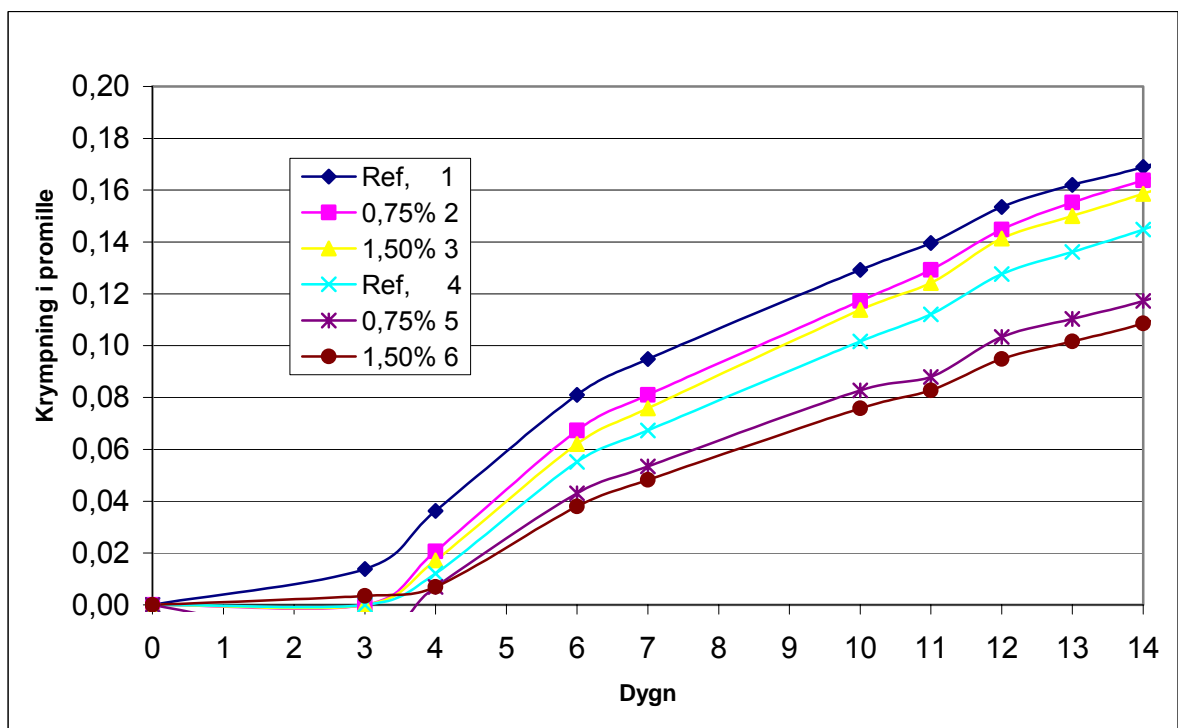
Dygn	Krympning i promille						
	Balk nr	0,75%			1,50%		
	Ref,	Ref,	Ref,	Ref,	Ref,	Ref,	
	1	2	3	4	5	6	
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	
4	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	
6	0,08	0,07	0,06	0,06	0,04	0,04	
7	0,09	0,08	0,08	0,07	0,05	0,05	
10	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,08	
11	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	
12	0,15	0,14	0,14	0,13	0,10	0,09	
13	0,16	0,16	0,15	0,14	0,11	0,10	
14	0,17	0,16	0,16	0,14	0,12	0,11	
17	0,19	0,19	0,18	0,17	0,14	0,13	
18	0,20	0,19	0,19	0,18	0,14	0,14	
19	0,21	0,20	0,20	0,19	0,16	0,15	
21	0,22	0,21	0,21	0,20	0,17	0,16	
24	0,24	0,23	0,24	0,22	0,19	0,18	
25	0,24	0,24	0,24	0,23	0,19	0,18	
26	0,25	0,25	0,25	0,24	0,20	0,19	
27	0,26	0,26	0,26	0,25	0,21	0,19	
31	0,28	0,28	0,28	0,28	0,23	0,22	
34	0,29	0,29	0,29	0,28	0,24	0,23	
41	0,32	0,32	0,32	0,33	0,27	0,26	
48	0,34	0,34	0,35	0,35	0,29	0,28	
54	0,36	0,36	0,37	0,37	0,31	0,30	
62	0,39	0,39	0,40	0,41	0,34	0,33	
68	0,41	0,41	0,42	0,43	0,36	0,34	
87	0,46	0,46	0,47	0,48	0,41	0,38	
118	0,52	0,53	0,54	0,54	0,47	0,45	
123	0,53	0,54	0,55	0,55	0,48	0,46	
132	0,54	0,55	0,57	0,57	0,50	0,47	
146	0,55	0,57	0,58	0,57	0,51	0,49	
221	0,61	0,63	0,65	0,63	0,56	0,53	
262							

Figur 4:11 visar resultatet i diagramform. Som framgår av figuren minskar inverkan av krympningsreducerare för betong med byggcement. För anläggningscement kvarstår dock en reduktion av krympningen när krympningsreducerare används. Någon större signifikant skillnad synes ej vara mellan de olika doseringarna efter lång tid.



Figur 4:11. Resultat av prov med långa balkar

Det verkar som om den största effekten fås i tidigt skede av krympningen. Figur 4:12 är en uppförstoring av figur 4:11. Som kan ses av figuren motverkar krympningsreduceraren krympningen speciellt i tidigt skede. Prov 1 till 3 var med Byggcement och 4-6 var med anläggningscement.



Figur 4:12 Figur som visar effekten av krympningsreducerare i tidigt skede

Tabell 4:7 visar reduktionen av krympning för de första dygnen upp till 14 dygn efter gjutning.

Tabell 4:7. Minskning i krympning de första dygnen.

Dygn	Balk nr			
	2	3	5	6
3	100%	100%		
4	43%	52%	43%	43%
6	17%	23%	22%	31%
7	15%	20%	21%	28%
10	9%	12%	19%	25%
11	7%	11%	22%	26%
12	6%	8%	19%	26%
13	4%	7%	19%	25%
14	3%	6%	19%	25%

Figur 4:13 och 4:14 visar bilder ifrån mätningar på långa balkar.

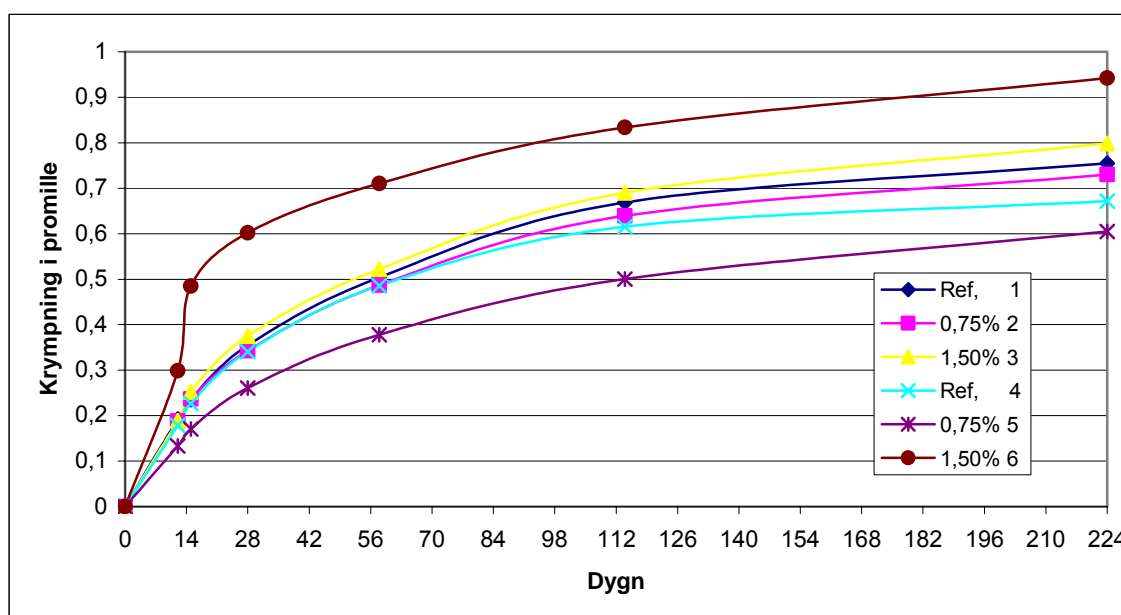


Figur 4:13. Bild som visar försök med långa balkar.



Figur 4:14. Detalj av mätning av lång balk.

Prov med standardbalkar som göts med samma betong och vid samma tidpunkt har gett varierande resultat. Figur 4:15 visar ett diagram över resultatet.



Figur 4:15. Mätning av krympning enligt standardmetod

Krympning enligt standardmetoden har gett något mer krympning än för de långa balkarna. På balk 6 har tyvärr dubben lossnat efter några dygn och ger därmed felaktiga resultat. För balkar med byggcement fås ingen större skillnad i krympning. Med anläggningscement fås en minskning av krympningen med krympningsreducerare.

4.4.1 Diskussion

Resultaten av mätningar på långa balkar har gett intressanta resultat. Minskningen i krympning speciellt i det tidiga skedet är stor och påverkar säker den slutliga

sprickbildningen för tex ett betonggol. På samma sätt är detta mycket positivt för tex en pågjutning på gammal betong vid en reparation.

Resultaten har också visat att efter lång tid så minskar effekten vid användning av byggcement medan effekten av krympningsreducerare består för betong med anläggningscement.

4.5 Försök med förhindrad krympning ”ringförsök”

Ett antal sk. ringar har gjutits med olika betong. Betong har varit enligt kapitel 4.4. Vid prov med pågjutning på Rejmes i Norrköping (se kapitel halvskala) göts också tre ringar för att studera sprickbildning. Recept framgår av tabell 4:8.

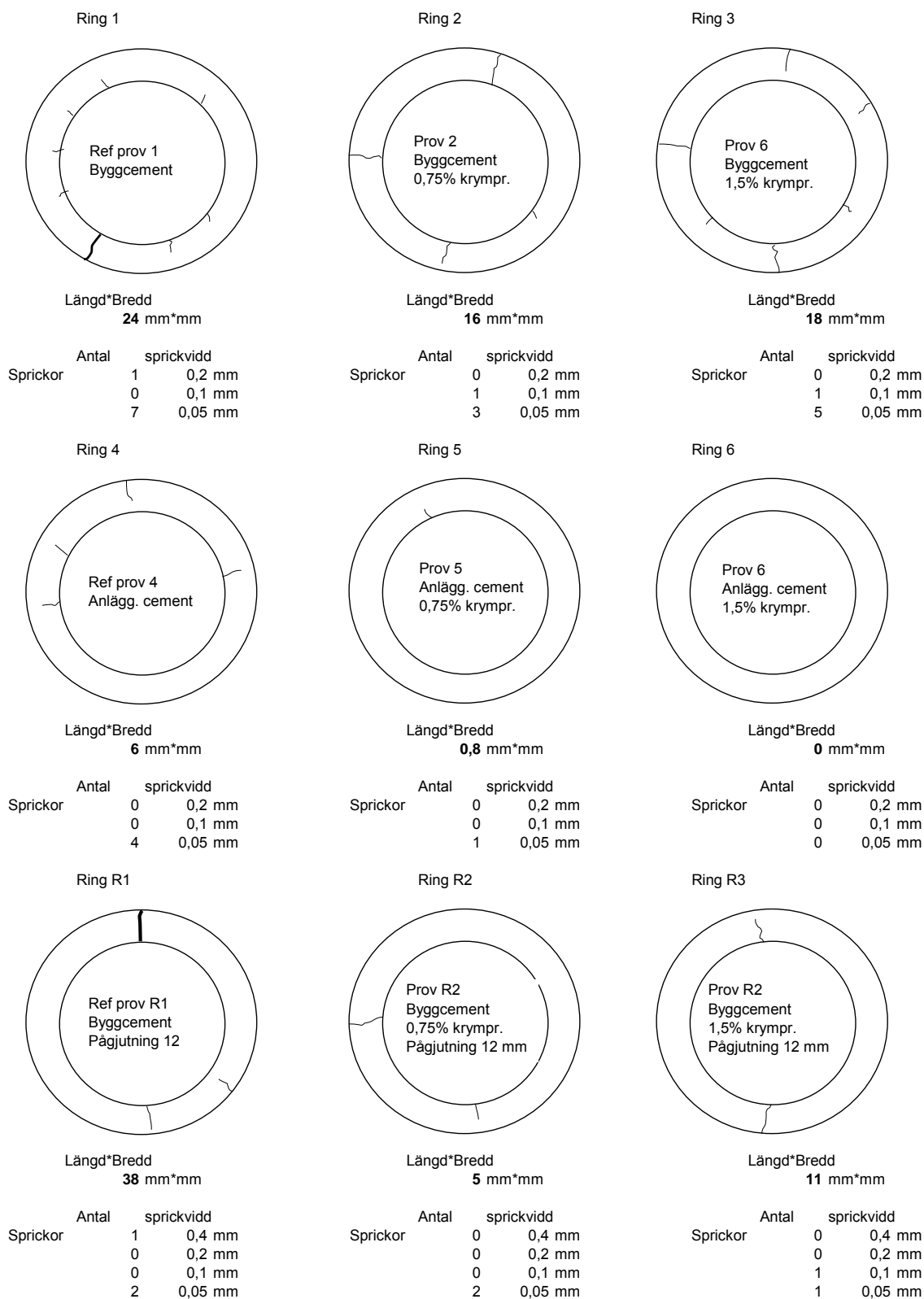
Tabell 4:8. Recept för pågjutning och som använts till ringförsök.

REJMES

Ifrån fabrik trögflytande som gjordes till SKB
med Genuim SKY på platsen.

Cement	335 kg	
sand 0-8	1000 kg	
sten 8-12	822 kg	Grundrecept 8-16 mm C25/35
Vatten	198 kg	
vct	0,59	
Krympdos	0,75 resp 1,5%	
Varje sats	5,025 kg	2 m ³

Ringarna var 308 mm i diameter och 187 mm i betongbredd. Höjden var 190-210 mm. Temperaturen har varit ungefär 20 grader under perioden. Relativa fuktigheten RH ca 45-50%. För att under vinterperioden gå ner till ca 20%. Figur 4:16 visar sprickbildning i ringar efter 221 dygn.



Figur 4:16. Resultat av prov med ringar - förhindrad krympning.

Figur 4:17 visar en bild ifrån försöken med ringar.



Figur 4:17. Bild som visar försök med ringar – förhindrad krympning.

Ringförsöken med byggcement visar på mindre antal sprickor för betong med krympningsreducerare. Beräkning har gjorts genom att mäta spricklängd och multiplicera med sprickbredd. För referens är värdet 24 mm*mm och för prov med krympningsreducerare 16-18 mm*mm. Intressant är också att notera att sprickvidden för den största sprickan halverats med krympningsreducerare.

Prov med anläggningscement visar på en betydligt mindre sprickbildning överhuvudtaget. Här går värdena ifrån 6 till 0,8 resp 0 mm*mm. Sprickvidden är dessutom väldigt liten ca 0,05 mm – svår att se.

Prov med pågjutningsbetong med litet stenmax dvs 12 mm ger en relativt stor uppsprickning, speciellt för referensprovet. Värdena går ifrån 38 ned till 5 resp 11 mm*mm för prov med krympningsreducerare. Noterbart är också en kraftig spricka för referensprov, 0,4 mm, medan prov med krympningsreducerare har en väldigt liten sprickvidd, bara 0,05 mm – svår att se.

4.5.1 Diskussion

Försöken med ringar för förhindrad krympning har givit intressanta resultat. Resultaten visar tydligt på positiva effekter vid användning av krympningsreducerare. Sprickbildningen är betydligt mindre samt maximala sprickvidden är också betydligt mindre. Det sistnämnda är speciellt viktigt för tex beständigheten. Resultaten är svåra att utläsa ur resultat av krympningsmätning på standardbalkar. De långa balkarna visar däremot i tidigt skede en stor effekt av användning av krympningsreducerare som förmodligen kan vara

en effekt som påverkar resultatet vid ringförsöken. Den minskade krympningen i tidigt skede kan möjliggöra att betongens draghållfasthet hinner växa till sig parallellt med krympningens rörelse. Möjligen kan det också vara så att flera mindre sprickor kan utbildas då krympningsreducerare används. Någon stor skillnad mellan dosering 0,75 och 1,5 % dosering har inte konstaterats. Tabell 4:9 åskådliggör resultatet av effekten av användning av krympningsreducerare.

Tabell 4:9. Sammanställning av resultat av ringförsök.

Betong med:	Sprickvidd*spricklängd mm*mm	Max sprickvidd mm
Byggcement, ej Krympred.	24	0,2
Byggcement med Krympningsred.	17	0,1
Anläggningscement ej krympred.	6	0,05
Anläggningscement med krympred.	0,4	0,05
Pågjutningsbetong ej krympred.	38	0,4
Pågjutningsbetong med krympred.	8	0,1

5 OARMERAD PLATTA

En oarmerad platta spricker i princip inte så länge krympningen tillsammans med krypning (minskning av spänningen) är mindre än betongens draghållfasthet. Storleken av spänningen beror på plattans längd och friktionen till underlaget. Längden skall inte överskrida värde enligt ekvation 5:1 se \14\.

$$L \leq \frac{2 * h * f_t}{\mu * q} \quad 5:1$$

f_t är betongens draghållfasthet (MPa)

μ är friktionskoefficienten mellan betong och underlag

q är plattans last där lasten av egenvikten består av $h * \gamma$

γ är egenvikten hos plattan i MN/m³

L är maximala fogavståndet

h är plattans tjocklek

Av ekvationen framgår att fogavståndet ökar med plattans tjocklek och betongens draghållfasthet. Om lasten bara består av egenvikt ger ökad plathöjd ingen skillnad i fogavstånd.

Olika exempel på friktionskoefficienter är givna i tabell 5:1.

Tabell 5:1. Friktionskoefficienter enligt Betonghandbok, Arbetsutförande \14\

Underlag	Friktionskoefficient μ
Singel eller makadambädd	> 2,0
Hårdgjort avplanat mellanlägg	1,5
Isolerande mellanlägg	1,0
Jämn sandbädd plastfolie eller dyl	0,75

Det finns också "tumregler" som för speciellt betongvägar ger hur långa fogavstånden kan var för en oarmerad betongbeläggning. Ett vanligt värde är 25 ggr beläggningsens tjocklek, jmf ATB VÄG 2004. Ett vanligt värde för fogavståndet för en betongväg med tex 200 mm tjocklek är 5 meter, vilket stämmer väl med denna tumregel.

I en ny skrift ifrån CBI sammanfattas svenska och internationella erfarenheter av hur man bygger industrigolv \15\. En hel del av informationen som använts här har hämtats i denna skrift.

Det vanligaste sättet att beräkna spänningen av krympningen är att använda sig av en fastlåsningskoefficient ψ som kan variera mellan 0 och 1. Ifrån referens \15\ har hämtats värden (enligt Silfwerbrand 2004), se tabell 5:2.

Tabell 5:2 . Värden för graden av fastlåsning vid olika friktion och längd och tjockleksförhållande.

Friktionsk. μ	L/h längden genom höjden för plattan						
	10	20	30	50	60	75	100
0,5	0,05	0,15	0,25	0,45	0,55	0,7	0,95
1	0,1	0,25	0,4	0,7	0,85	1	1
2	0,2	0,45	0,7	1	1	1	1

Ovanstående värden, enligt tabell 5:2, har överförts till en ekvation som ger mycket likartade värden, jmf ekv 5:2.

$$\psi = l_h * \left(\frac{\mu}{100} + 0,005 \right) - 0,05 \quad 5:2$$

ψ är grad av fastlåsning

μ är friktionskoefficient

l_h är längd genom höjd för plattan

Concrete Society i England (TR34) har ett uttryck för att beräkna spänningens storlek med hänsyn till fastlåsningen (hämtat ifrån ref \15\ CBI uppdragsrapport 2005-161). Spänningen kan beräknas enligt ekvation 5:3

$$\sigma_{sh} = \psi * E_{cm} * \varepsilon_{sh} * \left(\frac{1 - e^{-\phi}}{\phi} \right) \quad 5:3$$

σ_{sh} är spänning av krympning i MPa

E_{cm} är elasticitetsmodulen i MPa

ε_{sh} är krympningen

ϕ är kryptalet

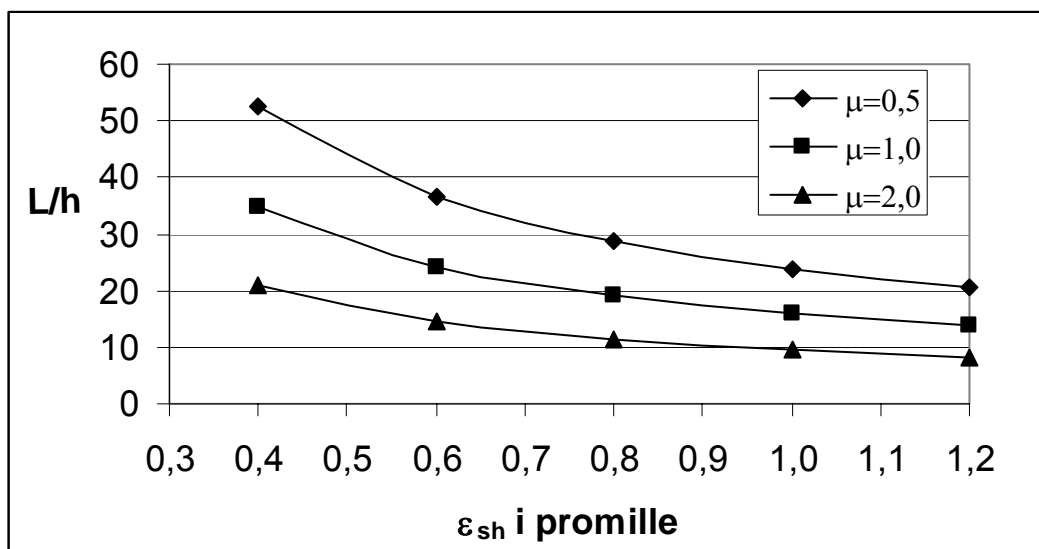
ψ är graden av tvång

Enligt referens \15\ så har Silfwerbrand 1987 uppskattat kryptalet till 5 till 6 för en belastning i tidigt skede ca 5-6 veckor. För att beräkna krympningsspänningar efter flera månader är värdena lägre (2-3) och kan hämtas i BBK 04.

Om ekvation 5:2 och 5:3 sätts sammas kan den maximala föglängden för en oarmerad platta beräknas enl ekvation 5:4.

$$L_h = \frac{((f_{ct} / 1,5) / (E_{cm} * \varepsilon_{sh} * \left(\frac{1 - e^{-\phi}}{\phi} \right) + 0,05)}{(\mu / 100 + 0,005)} \quad 5:4$$

Figur 5:1 visar ett samband för en betong C28/35. En säkerhetsfaktor 1,5 har använts för tillåten draghållfasthet dvs $f_{ct}/1,5$. Kryp-faktorn har satts till 5. Beräkning har gjorts för olika friktionskoefficienter samt olika värden för den fria krympningen.



Figur 5:1. Tillåten längd genom höjden (L/h) för en betongplatta relaterat till krympning och friktionskoefficient, betong C28/35.

Figur 5:1 visar att en stor skillnad erhålls för olika värden på den fria krympningen. En platta med 150 mm höjd på underlag med låg friktion (0,5) och 1 promilles krympning fås ett maximalt fogavstånd av 3500 mm medan om krympning är 0,5 promille kan fogavståndet ökas till 6750 mm. Motsvarande värden vid en friktionskoefficient på 2 är 1500 resp 2700 mm. I bägge fallen dubblas fogavståndet.

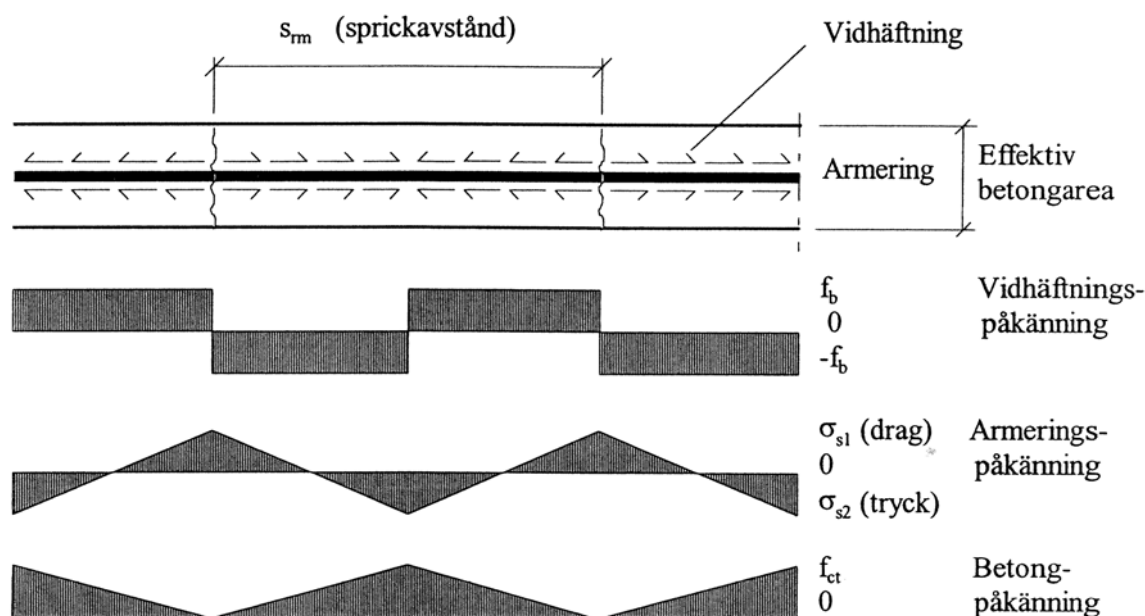
Användning av krympningsreducerare kan därmed påverka fogavståndet för en oarmerad platta avsevärt. Möjligtvis har väl stor säkerhet använt genom division med 1,5 för betongens karakteristiska draghållfasthet. Lägre värde på säkerhetsfaktorn skulle öka fogavstånden ännu mera.

6 ARMERAD PLATTA

Beräkning av sprickbredd med hänsyn till krympning kan tex göras med utgångspunkt ifrån beskrivning i Betongföreningen Rapport nr 6 \16\ . Nedan beskrivs beräkningsmodellen.

Antagande är fullständig fasthållning så att armeringens totala förlängning definitionsmässigt är lika med noll. Detta antas gälla även lokalt mellan två sprickor. Sprickbredden w_m bestäms då enbart av betongens nettoförkortning mellan två sprickor, sträckan S_m , under inverkan av krympningen ϵ_{cs} och dragtöjningen ϵ_{ct} här begränsad till draghållfastheten f_{ct} genom E-modulen E_c . Med förutsättningar enligt figur 6:1 erhålls då

$$w_m = \varepsilon_{cs} * S_{rm} - \frac{f_{ct}}{E_c} * \frac{S_{rm}}{2} = (\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{ct} / 2) * S_{rm} \quad ; \quad (\varepsilon_{ct} = f_{ct} / E_c) \quad 6:1$$



Figur 6:1 Hämtad ifrån Betongrapport 6 \16\.

Sprickavståndet S_{rm} bestäms av vidhäftningen f_b skall balansera dragpåkänningen f_{ct} . Med effektiv betongarea A_{ef} per stång gäller:

$$\pi \phi f_b * S_{rm} / 2 = f_{ct} * A_{ef} \quad 6:2$$

Vidhäftningen $f_b = \eta f_{ct}$ (BBK 94 3.9.1.2), $A_s = \pi \phi^2 / 4$, armeringsinnehåll $\rho_r = A_s / A_{ef}$
Sprickavståndet kan då tecknas:

$$S_{rm} = \frac{2 f_{ct} A_{ef}}{\pi \phi f_b} = \frac{2 A_{ef}}{\pi \phi \eta} = \frac{\phi A_{ef}}{2 \eta A_s} = \frac{\phi}{2 \eta \rho_r} \quad 6:3$$

Uttrycket för sprickbredden blir då

$$w_m = (\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{ct} / 2) * \phi / 2 \eta \rho_r \quad 6:4$$

Beräkning enligt denna modell i Betongrapport 6 \16\ visar att sprickvidden främst bestäms av krympningens storlek, armeringsdiameter och armeringsinnehåll.

Några olika beräkningar har gjorts enligt ovan beskriven modell. Tex med en draghållfasthet f_{ct} av 1,7 MPa (K30) samt armeringsstång $\phi 12$ mm, kamstål samt med armeringsinnehåll 0,010 (1,0%) fås en sprickvidd av 0,30 mm vid 0,7 promilles krympning. Värdet för krympningen är inte orealistiskt för en modern betong. Om en krympningsreducerare används som reducerar krympningen med tex 40% fås som ingångsvärde 0,42 promille krympning. För att få en sprickvidd av 0,30 mm behövs då bara ett armeringsinnehåll av 0,006 (0,60%). Armeringen kan då minskas med 40%. På motsvarande sätt kan armeringen minskas med 20% om vi kan minska krympningen med 20% genom användning av krympningsreducerare.

Om tex betonggolvet i exemplet ovan är 150 mm tjockt fås vid vid 0,7 promilles krympning $3150 \text{ mm}^2/\text{m}$, tex $\phi 12$ s ca 80 mm. Minskas då krympningen enligt ovan fås $893 \text{ mm}^2/\text{m}$ tex $\phi 12$ s ca 130 mm. Väljer vi $\phi 10$ istället blir sprickvidden 0,25 mm. Man kan alltså få dubbla

positiva effekter genom att använda krympningsreducerare – mindre mängd armering samt mindre stångdiameter som i sin tur ger mindre sprickvidd.

7 HALVSKALEPROV

7.1 Prov på prefabricerade håldäcksplattor

Skanska har i sin utveckling av industriellt byggande arbetat med metoder för pågjutningar. Dessa provningar har varit mycket lovande. Användning av krympningsreducerare har varit en viktig komponent i arbetet. Fullskaleprovningar på flera ställen har gett mycket lovande resultat, ingen bom eller kantresning. Skanska arbetar nu med patentarbeten vilket medför att vi i denna rapport inte nu kan beskriva utvecklingen mera detaljerat.

7.2 Prov tunn pågjutning på Rejmes i Norrköping

Ett äldre betonggolv på Rejmes i Norrköping skulle pågjutas ett nytt ytskikt med ca 35-45 mm betong. Innan pågjutningen gjordes provades några olika alternativ som halvskala. Pågjutningens tjocklek var ca 35-40 mm. Gjutning har utförts i långsmala ytor jmf figur 7:1. Gjutning av tre stålringar har också gjorts för att studera eventuell sprickbildning, se labförsök.

			Längd = 8000 mm						
	Prov 1								
							Bredd ca300 mm		
	Prov 2								
	Prov 3								
	Prov 4								
							Mellanrum ca 100 mm		
	Prov 5								
	Prov 6								

Figur 7:1. Provuppställning.

De olika variabler som provats framgår av tabell 7:1.

Tabell 7:1. Olika variabler

Prov nr	Variabel	Arbetsmetod
1	Referens	Fräsning, vattenrengöring, vattning, härdning
2	0,75% Tetraguard	Pss
3	1,5% Tetraguard	Pss
4	1,5% Tetraguard	Pss men med "dålig fräsning"
5	1,5% Tetraguard	Pss som 1,2 och 3
6	1,5% Tetraguard	Pss men med kortare härdning, 1dygn

Receptet som användes framgår av tabell 7:2.

Tabell 7:2. Recept som använts på Rejmes i Norrköping.

Ifrån fabrik trögflytande som gjordes till SKB med Genuim SKY på platsen.		
Cement	335 kg	
sand 0-8	1000 kg	
sten 8-12	822 kg	(ifrån grundrecept 8-16 mm C25/35)
Vatten	198 kg	
vct	0,59	
Krympmedelsdosering	0,75 resp 1,5%	
Varje sats	5,025 kg	2 m ³

Arbetsgången har varit enligt följande:

1. Ytan fräses ned till ca 10-15 mm, inget dåligt material kvar
2. Tvättas med högtrycksvatten ca 250 bar
3. Ytan hålls fuktig i 2 dygn
4. Gjutning
5. Vattenhärddas i 3 dygn, plastfolie placerades direkt över ytan. Vattning gjordes varje dygn.

Figur 7:2 visar fräsning av ytan. Fräsning gjordes i båda riktningar.



Figur 7:2. Fräsning av ytan med mindre handhållen fräs.

Figur 7:3 visar på bilder efter fräsning av ytan.



Figur 7:3. Bilder ifrån resultatet av fräsningen.

Efter fräsning rengjordes ytan med högtryckstvättning, jmf figur 7:4.



Figur 7:4. Rengöring av ytan.

Gjutning utfördes med recept enligt tabell 7:2. Flytmedel tillsattes på platsen för att få en vibreringsfri betong. Även krympningsreducerare tillsattes på platsen. Figur 7:5 visar gjutning av ytorna.



Figur 7:5. Gjutning av de långsmala ytorna.

Härdning gjordes med vatten. En plastfolie placerades över ytorna direkt efter gjutning. Sedan vattnades ytorna i tre dygn. Plastfolien las över efter varje vattning.

Efter ca 28 dygn slipades en del av ytan enligt "HTC metoden". Figur 7:6 visar en bild av slipad yta.



Figur 7:6 . Bild av slipad yta.

Figur 7:7 visar en cylinder som borrats ut ifrån golvet för att mäta vidhäftningen mellan pågjutning och underliggande betong. Tabell 7:3 visar resultat ifrån vidhäftningsmätningar.



Figur 7:7. Provcylinder för vidhäftningsmätning.

Tabell 7:3. Resultat av vidhäftningsmätning.

Prov nr	:1 [MPa]	:2 [MPa]	:3 [MPa]	Medel [MPa]	
1	1,13	1,13	0,40	0,89	Referens (god arbetbarhet)
2	0,47	0,44	0,81	0,57	0,75% krympreducerare
3	1,13	0,79		0,96	1,5% krympreducerare
4	0,27	0,36		0,31	Variabel dålig fräsning
5	0,95	0,79		0,87	1,5% krympningsreducerare
6	0,43	0,34		0,39	Variabel dålig härdning

Vidhäftningsmätningarna visar på betydelsen av fullgod arbetbarhet. Ingen vibrering gjordes och betongen var inte en helt bra vibreringsfri betong.

Medelvärdet för prov utan och "prov av olika arbetsmetoder" (prov 1, 2, 4 och 6) blev 0,80 med standardavvikelse av 0,27 MPa. Medelvärde för prov enligt föreslagen metod (prov 3 och 5) blev 0,92 MPa och standardavvikelse av 0,14 MPa. Alla prov gick sönder i vidhäftningszonen.

En jämförelse med liknande metod som utförts på Malmen flygplats gav 1,2 MPa. Vid proven på Malmen vibrerades betongen med en oscillerande balk.

Man brukar ange att värden > 1 MPa är tillräcklig för en god vidhäftning (Betonghandbok). Här är medelvärdet 0,92 MPa utan vibrering vilket bör kunna anses som fullgott värde. Inga sprickor har ännu kunnat konstaterats i pågjutningarna.

8 FULLSKALEPROVNINGAR

8.1 Cloettafabriken i Ljungsbro

På Cloettas fabrik i Ljungsbro har pågjutningar gjorts på befintligt bjälklag som förstärkning. Genom pågjutningen kan större laster användas på fabriksgolvet. Pågjutningen har varit ca 80 mm. Den första pågjutningen gjordes år 1999 med traditionell betong utan krympningsreducerare. Pågjutningen är dymlad till befintligt bjälklag över balkar. Resultatet blev bra, ända problemet är att krympsprickor uppstod i golvet inom vissa ytor.

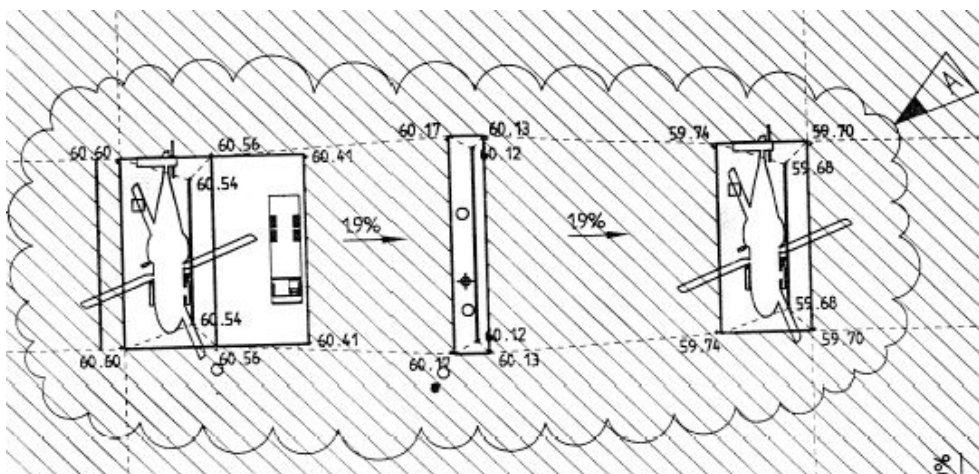
År 2005 gjordes en förnyad förstärkning på angränsande bjälklag. Principen var densamma men i betongen användes krympningsreducerare. Betongen var tillsatt med 1,5 % krympningsreducerare, räknat på cementvikt. Observationer efter 1 år visade inga sprickor. Figur 8:1 visar en bild ifrån fabriken med aktuellt fabriksgolvet.



Figur 8:1a, Nygjuten yta (ytbeläggning kommer att läggas på. b. Tidigare förstärkning med krympspricka i golv.

8.2 Malmens flygfält Linköping

På Malmens flygplats i Linköping har byggts ett antal klargöringsplatser för helikoptrar. Mellan helikopterplatserna finns försörjningsplattor jmf figur 8:2.



Figur 8:2 Nya plattor för helikoptrar Malmens flygplats Linköping

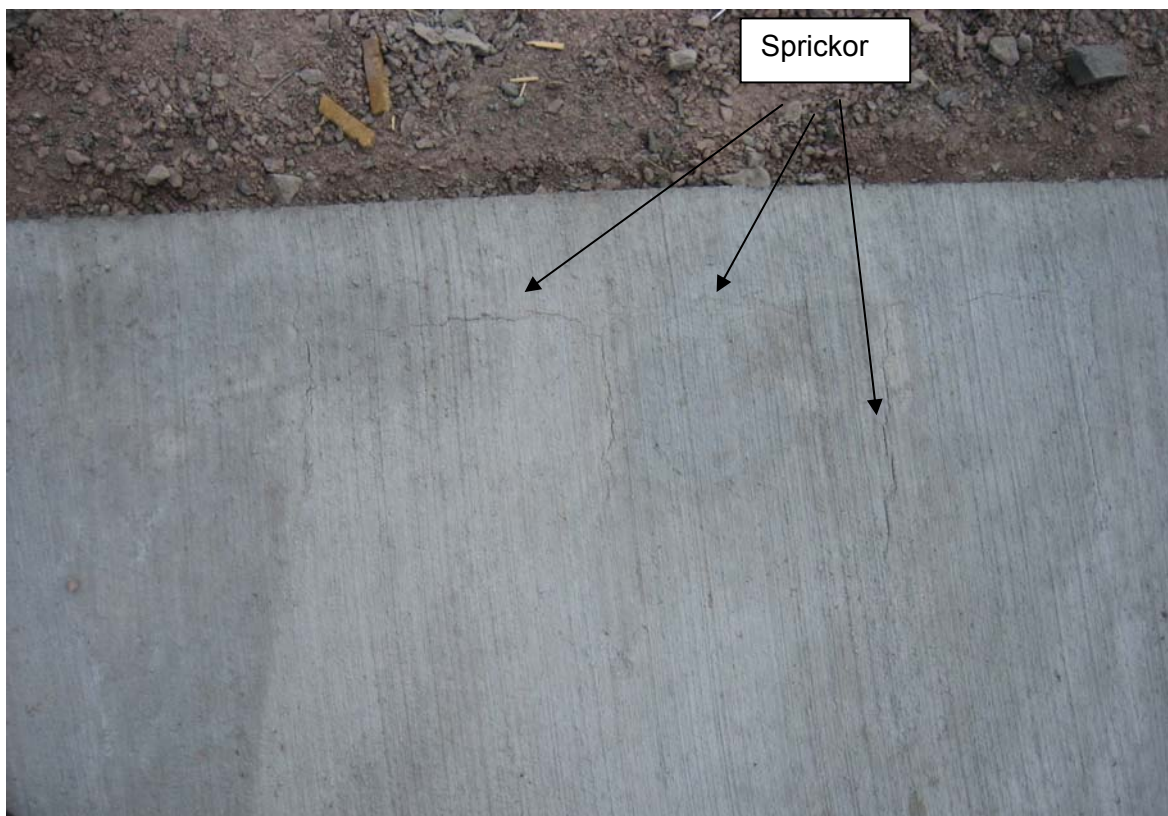
För några av dessa långsmala plattor provades att använda krympningsreducerare i betongen. Till receptet tillsattes 1,5 % krympningsreducerare räknat på cementvikten. Två plattor gjöts samma dag. I en var tillsatt krympningsreducerare och den andra var utan. Gjutningen gjordes en varm och blåsig dag, temperaturen va 19 °C och RF 49% samt blåsigt. Gjutningen gjordes den 12 maj 2006.

Plattorna är 400 mm tjocka och armerade med ca 0,7% armering räknat på tvärsnittet. Längden är 13 meter och en fog var placerad på ca 8 meter. Bredden är 3 meter. Längd breddförhållande blev som mest 2,7. Figur 8:3 visar en bild innan gjutning.



Figur 8:3. Platta innan gjutning

Den platta som inte hade någon krympningsreducerare fick plastiska och/eller sättnings-sprickor längs sidan ena långsidan (vindsidan). Figur 8:4 visar dessa sprickor



Figur 8:4. Tidiga sprickor i betongplatta.

Det finns rapporterat \17\ att krympningsreducerare är effektiva även mot tidiga plastiska krympsprickor. Här har användning av krympningsreducerare varit bra för undvikande av tidiga plastiska sprickor.

8.3 Pågjutning på industrigolv Rejmes Norrköping

En större yta pågöts en ny betong (ca 300 m²). Metodiken baserades på redovisad metod under kapitlet halvskala. Tjockleken blev något större än avsett ifrån början beroende på dålig överbetong (slitskikt) på den gamla betongen. Pågjutningens tjocklek blev ca 70-80 mm. Efter ytan var fräst och rengjord gjordes vidhäftningprov på golvet. Stålringar med diameter 80 mm limmades fast med epoxi på golvet och drogs sedan loss på plats med en dragapparat. Tabell 8:1 visar resultatet av tre prov.

Tabell 8:1. Resultat ifrån dragprov på golv innan pågjutning.

Prov nr:	Dragkraft [kN]	Vidhäftning [MPa]	Anm.
1	11	2,2	"Halvjämn yta"
2	8	1,6	"Ojämn yta"
3	9,5	1,9	"Slätt yta"

Efter gjutning har prov tagits för att mäta vidhäftning mellan gammal och ny betong. Sammanlagt 4 prov har gjorts. Tyvärr var det problem att få upp cylindrar genom att knäcka den borrade cylindern. Brottet skede strax efter eller igenom vidhäftningszonen då pågjutning var så pass tjock. Vi hoppas på att senare få cylindrar som är borrade genom hela golvet – om det går då det är en pålad konstruktion.

Tabell 8:2. Resultat vid knäckning av cylinder.

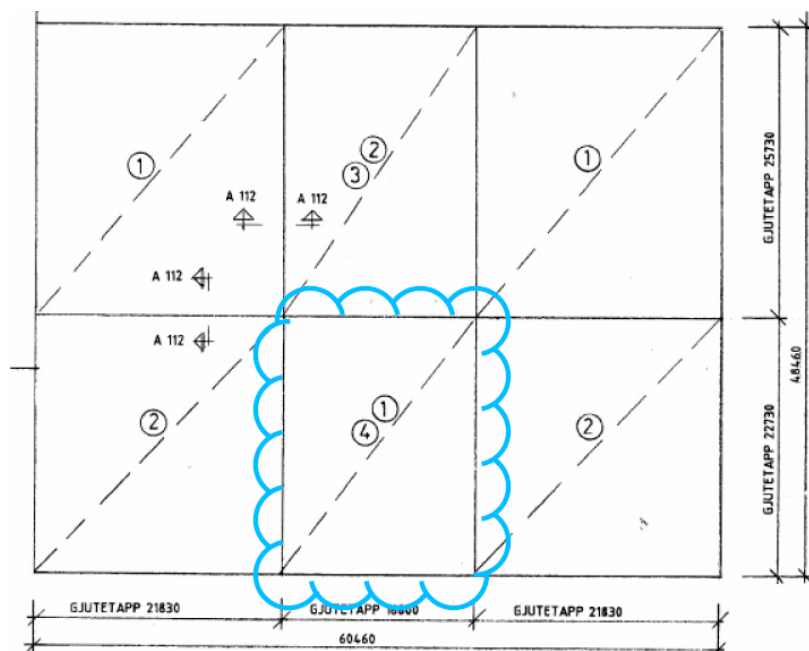
Prov nr:	Andel av brottet i vidhäftningszonen
1	100%
2	15%
3	20%
4	0%

Resultaten tyder på god vidhäftning mellan gammal och ny betong.

8.4 Industrigolv på Colitech i Söderköping

Ett större industrigolv göts på Colitech i Söderköping. Plattorna är pålade och armerade. Figur 8:5 visar en bild av armering, se speciellt mycket armering över pälhuvuden. Figur 8:6 visar de olika gjutetapperna. Den gjutetapp som är markerad innehåller 1% krympningsreducerare (räknat på cementvikten). Gjutning av plattan med krympningsreducerare gjordes den 2007-06-13. Gjutetappen var ca 381 m². Plattan är 250 mm djup och gjutetappen var alltså på ca 100 m³ betong. Betongen levererades ifrån Skanskas

betongfabrik på Häradsudden i Norrköping. Krympningsreduceraren var SIKA:s Control 40. Recepte med vct av 0,55 och 25 mm stenmax, hållfasthet C32/40, konsistens S3.



Figur 8:5. Gjutetapper på Colitech Söderköping. Markering visar den gjutning som innehåller 1% krympningsreducerare. Denna del göts sist.



Figur 8:6. Armerad platta med tilläggsarmering över pålhuvuden.

Figur 8:7 visar en bild 5 dagar efter gjutning. Uppföljning av plattan för att se eventuella sprickor i plattdelar med och utan krympningsreducerare kommer att göras.



Figur 8:7 Den färdiggjutna plattan 5 dagar efter gjutning.



Figur 8:8. Spricka i del av betonggolv som inte innehåller krympningsreducerare.

Någon generell slutsats var inte möjlig att dra efter så kort tid. Delar av plattan göts under mycket varma omständigheter. Ytcrackelering kunde ses på vissa delar av plattan. Den gjutetapp som innehöll krympningsreducerare låg under vatten vid tidpunkten för besöket.

9 EKONOMI OCH MILJÖ

Två viktiga aspekter för användning av ett tillsatsmedel är ekonomin och eventuell miljöpåverkan. Vi har gjort några generella kostnadsberäkningar för betonggolv.

Ett betonggolv kostar för en betong C25/30 ca 318 kr/m² för 120 mm inkl armering och glättning \18\. Krympningsreducerare kostar i storleksordningen 150-200 kr/m³ betong (1-1,5 % dosering). Ökningen per m² blir då ca 18-24 kr/m² (Har Mats fått sin del då?). För en relativt liten merkostnad fås en betydligt större säkerhet mot sprickbildning och även mot kantresning vid fogar. Eftersom skadefrekvens är hög när det gäller betonggolv kan denna ökning i kostnad ses som en garant mot att vi får en mindre skadefrekvens för betonggolv.

Kostnaden för fogar i industrigolv är ca 188 kr/m \18\. Om vi har 5*5 meters fogavstånd och ökar detta till 8*8 meters fogavstånd genom att använda krympningsreducerare så minskar kostnaden per m² ifrån 75 kr till 43 kr, en skillnad av 32 kr. Krympningsreduceraren kostar ca 30 till 40 kr/m² för en 200 mm tjock betongbeläggning. Med tanke på att underhållskostanden blir mindre med mindre antal fogar kan det ändå vara lönsamt att använda krympningsreducerare för att öka fogavståndet.

Under projektens arbetstid har miljön med användning av krympningsreducerare diskuterats flitigt. Skanska kräver att medlen skall vara godkända enligt deras miljö-databas, vilket krympningsreducerare är. Vi någon tidpunkt diskuterade användningen av en betongtillverkare pga resultat uppmätta av Statens provningsanstalt (SP). Muntlig kommunikation med tillverkare visade att resultaten av emissionerna var strax över tillåtna för ett flytspackel som är ej över 200 TVOC mikrogram per dygn och m² vid 28 dygn, krympningsreducerare gav efter 4 veckor 260 samt efter 26 veckor bara 80 TVOC mikrogram per dygn och m² (TVOC= Totalhalt flyktiga organiska ämnen - Total Volatile Organic Compounds). Emissionerna avklingar snabbt. Resultatet visar på något farligare än för ett flytspackel men OBS ej samma ämne som kommer ut. De ämnen som ingår i medlen är ej riskmärkta! Enligt gruppens kännedom finns ingen betongtillverkare som idag inte godkänner medlen för användning i betong med hänsyn till miljön.

10 REFERENSER

1. Karin Pettersson, Kvalitetsproblem vid produktion av betonggolv, SBUF projekt 11508 2004
2. Tarun R. Naik mfl, PERFORMANCE OF CONCRETE WITH SHRINKAGE-REDUCING ADMIXTURES, Wisconsin Highway Research Program Project No. 0092-04-13, Presented at the 6th Mid-Continent Transportation Research Forum 2006: "Research Pays Off" August 17-18, 2006, Madison, Wisconsin.
3. Bruno D'Souza, Degussa Construction Chemicals, SHRINKAGE-REDUCING ADMIXTURES,
4. Matthew D'Ambrosia, David Lange, Early age tensile creep and shrinkage of concrete with shrinkage reducing admixtures, Illinois University Poster ACBM 2003.
5. H R Hamilton, Crack control in toppings for precast flat slab bridge deck construction, Report BD545-09, 2006. University of Florida.
6. Mario Collepari, EFFECTS OF SHRINKAGE REDUCING ADMIXTURE IN SHRINKAGE COMPENSATING CONCRETE , Polytechnic of Milan, 2004.
7. Shydowski, degussa Construction Chemicals – Master Builders Admixtures, 2004.
8. Akhter Hossain mfl, The influence of concrete strength on cracking potential, Transportation Research Board, 2002.
9. E N G I N E E R I N G B U L L E T I N 1, Eclipse, Grace Company, EC-2, 2000.
10. Betonghandbok Material utgåva 2, 1994, kapitel 15.2 krympning sid 530

11. Shrinkage, Cracking and Deflection-the Serviceability of concrete Structures, R I Gilbert, Electronic Journal of Structures Engineering Vol 1 2001.
12. Jan-Erik Jonasson Betonghandbok Material utgåva 2 Krympning kapitel 15
13. Ali Farhang, Minimization of Cracks in Industrial Floor, CBI Uppdragsrapport nr 2005-161
14. Betonghandbok arbetsutförande, sid 497, 1994.
15. Minimization of Cracks in Industrial floor, Ali Farhang, CBI uppdragsrapport 2005-161.
16. Betong för sunda golv, Betongrapport nr 6, Betongföreningen 1997.
17. Oskar Esping, Ingemar Löfgren, Cracking due to plastic and autogenous Shrinkage - Investigation of early age deformation of self-compacting concrete. Chalmers University of technology 2005, Rapport 2005:11
18. Byggmästarens Kostnadskalkylator BK 2007.