

# Brandsäkring / Brandsikring ved brug af plastfibre

Johan Silfwerbrand  
KTH & CBI Betonginstituttet  
Dansk Betonforening, København,  
10 okt. 2012



CBI Betonginstituttet

ingiri SP-koncernen

## Betong – problem & lösningar

- Betong är dåligt på dragsidan – men vi kan armera
- Betong kan frysa sönder – men vi kan blanda luftporer i betongen
- Betong kan spjälka vid brand – men vi kan blanda in polypropylenfibrer (pp-fibrer)



CBI Betonginstituttet

ingiri SP-koncernen

# Nya svenska rekommendationer

Betong och brand –  
Rekommendationer  
för att förhindra  
spjälkning i  
anläggnings-  
konstruktioner



CBI Betonginstitutet



ingår i SP-koncernen

## Disposition

- Resumé över Svenska Betongföreningens kommittéarbete
- Rapporten i korthet
- Rekommendationerna i ett nötskal



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Varför fokus på spjälkning?

- Allvarliga skador under senare år på ett tiotal tunnlar.
- Rapporter från försök med SKB som visar att SKB troligen är känsligare än normalbetong.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Kommittéarbetets historik

- 2003: Kommittéarbetet påbörjas
- 2004: Preliminära riktlinjer publiceras i tidskriften Betong
- 2005-2008: Omfattande svensk brandforskning & brandprovning av betong
- 2011: Rekommendationerna publiceras som interimistisk rapport



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Rapportens innehållsförteckning

0. Definitioner
  1. Spjälkning
  2. Utvärdering nuvarande kunskapsnivå
  3. Rekommendationer
  4. Behov av FoU
- Referenser



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Kommitténs uppgift

- ✓ Utifrån dagens kunskapsnivå vad gäller spjälkning av betong vid brand utforma preliminära riktlinjer för konstruktiva aspekter, materialval & utförande.
- ✓ Följa pågående internationell forskning inom området spjälkning av betong vid brand och
- ✓ utforma rekommendationer för att reducera risken för spjälkning hos betongkonstruktioner.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Avgränsningar

I kommitténs uppgift ingår inte följande punkter:

- Rekommendationer för husbyggnadskonstruktioner.
- Detaljerad genomgång av internationell FoU, erfarenhet eller normer (hänvisa i stället till aktuella dokument).
- Detaljerad genomgång av mekanismer & materialegenskapernas temperaturberoende.
- Detaljerade rekommendationer för enskild delbransch.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Orsaker till inskränkningen

- Skadefallen har gällt anläggningskonstruktioner, främst tunnlar.
- Inga indikationer på att betongkonstruktioner i svenska hus uppvisar några allvarliga problem med brandspjälkning.
- Senaste tidens brandforskning & brandprovning har gällt betong som inte hunnit torka ut tillräckligt länge.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Kommitténs arbetsgrupp

- Gunnar Rise, ordf. 2003-2004, Strängbetong
- Johan Silfwerbrand, ordf. 2004-, CBI Betonginstitutet & KTH
- Yngve Anderberg, Fire Safety Design
- Lars Boström, SP
- Robert Jansson, sekr., SP
- Katarina Kieksi, Banverket
- Christian Munch-Petersen, Emcon, Danmark
- Bertil Persson, LTH



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Faktorer som påverkar spjälkning

Yttre påverkan	Dimensioner & armering	Betongen
Brandförlopp	Geometri	Ballast
Brandprofil	Täckande betongskikt	Cement & filler
Belastning	Armering	Luftinnehåll
		Fibrer
		Fuktinnehåll
		Permeabilitet
		Hållfasthet



ingår i SP-koncernen

## Spjälkningsmekanismer

- Portryck
- Termiska spänningar
- Tryckspänningar p.g.a. yttre last



CBI Betonginstitutet

ingiri SP-koncernen



## Polypropylenfibrer är bra – men varför?

Höjd permeabilitet på grund av

- att fibrerna smälter (165°) & förgasas (350°).
- att övergångszonen mellan fiber & cementmatris är porösare.
- att extra mikroporer uppkommer under tillverkningen av fiberbetong.
- att sprickor bildas vid ändarna av fibrerna när dessa hettas upp & smälter.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Viktiga, nyare FoU-projekt

- Boström L & Jansson R., Self-compacting concrete exposed to fire, SP Report 2008:53, Borås, Sweden, 2008.
- Jansson R "Material properties related to fire spalling of concrete" Licentiate Thesis. Report TVBM-3143, Lund, 2008.
- Jansson R., Boström L. "Spalling of concrete exposed to fire" SP Report 2008:52.
- Nilsson H, & Saleh I. Självkompakterande betong med goda brandspjälkningsegenskaper- Slutrapport, SBUF-rapport nr 11522, 11801 och 12013 Brandforskprojekt 331-041 och 301-061, 2009.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen



## Resultat från FoU-projekt

- Vattencementtal
- Pulvermängd
- Fuktinnehåll
- Tryckbelastning
- Fibrer
- Övriga faktorer



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Vattencementtal (*vct* & *vbt*)

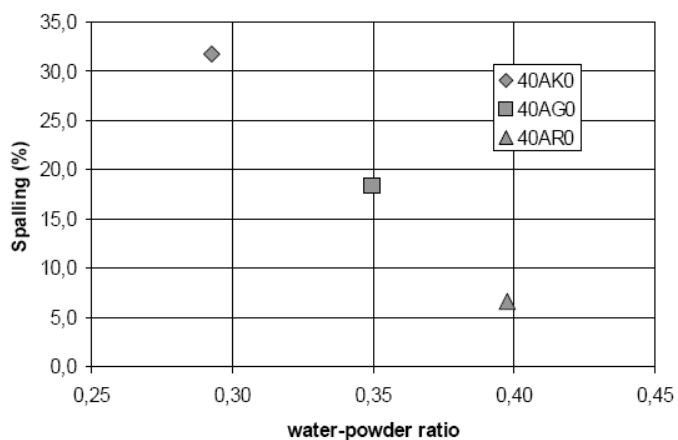
- Konventionell betong av klass C25/30 & lägre, med byggcement, spjälkar inte efter att den konditionerats inomhus under 6 månader.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Spjälkning minskar med ökande *vbt*



Lagrad  
i vatten

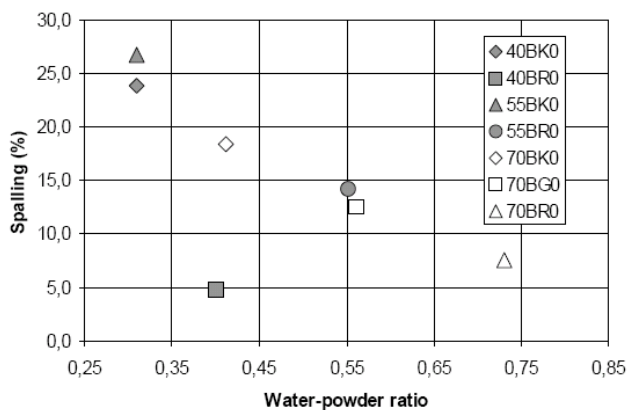


CBI Betonginstitutet

Boström (2002)

ingår i SP-koncernen

## Spjälkning minskar med ökande *vbt*



Lagrad  
i luft



CBI Betonginstitutet

Boström (2002)

ingår i SP-koncernen

## Vattencementtal (*vct* & *vbt*)

- Konventionell betong av klass C25/30 & lägre, med byggcement, spjälkar inte efter att den konditionerats inomhus under 6 månader.
- Försök med SKB & *vct* 0,30 – 0,71 spjälkade (vid upp till 1 års ålder).
- **Slutsats:** Betong med *vct* > 0,6 & måttligt pulverinnehåll spjälkar inte.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Pulverinnehåll

- Ökat pulverinnehåll ger ökad täthet.
- Kritiskt pulverinnehåll beror på flera, svårbedömda faktorer.
- Marginell ökning av mängden avspjälkat material vid pulverinnehåll > 380 kg/m<sup>3</sup>  
⇒ rimlig gräns = 350 kg/m<sup>3</sup>.
- Andra filler behöver inte vara lika problematiska som kalkfiller.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Fuktinnehåll

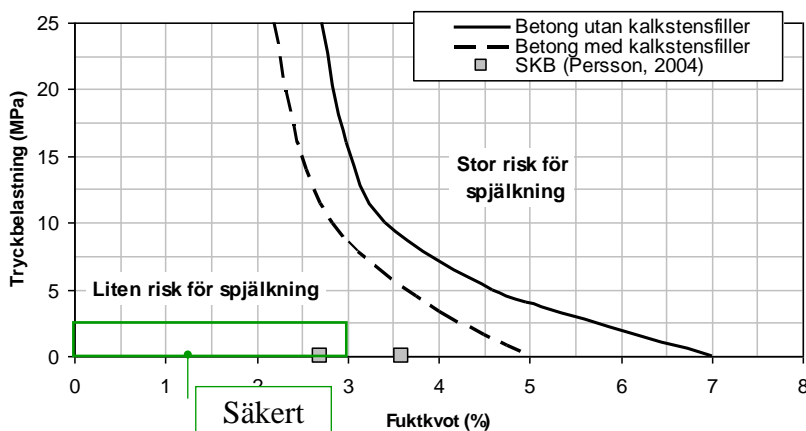
- Försök redan från 1970-talet visar fuktinnehållets betydelse för spjälkning.
- Forskningen pekar på ett gränsvärde för fuktkvoten.
- Detta värde ligger på c:a 3 %.
- Det svarar ungefär mot en jämvikt med en omgivande  $RF = 60\%$ .
- I tät betong kan det ta lång tid att komma ned till denna jämvikt.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Schematisk inverkan av fukt, tryck & kalkstensfiller



ingår i SP-koncernen



## Polypropylenfibrer

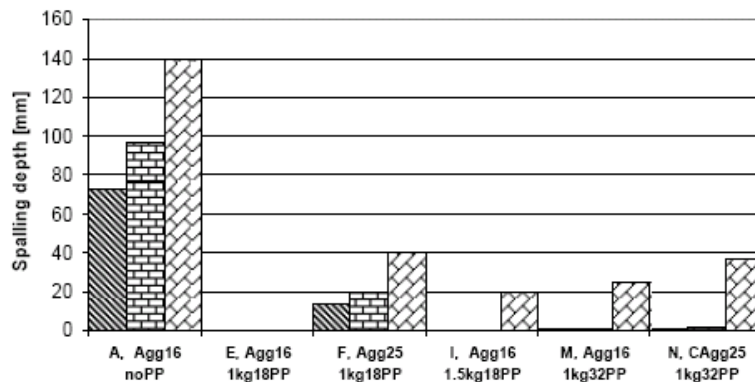
- Många studier visar att pp-fibrer ger en mycket stor förbättring av betongs motstånd mot brandspjälkning.
- Internationellt används ofta halter på 2-3 kg/m<sup>3</sup> (ibland upp till 4 kg/m<sup>3</sup>).
- I Sverige har goda resultat uppnåtts även vid halter ned mot 1-1,5 kg/m<sup>3</sup> (t.o.m. ännu lägre mot 0,5).
- Resultaten gäller fiberdiametrar på 15, 18, 32 & 40 µm.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## 1,0 till 1,5 kg ppf/m<sup>3</sup> ofta tillräckligt



CBI Betonginstitutet

Jansson & Boström (2007)

ingår i SP-koncernen

## Övriga faktorer

- En extra lufttillsats kan ge skydd mot spjälkning.
- En kraftigare brand (större  $T$  & större  $dT/dt$ ) är ofta farligare än en lindrigare brand. Spjälkningen börjar också tidigare.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Betong med pp-fibrer – är den annorlunda?

- Hållfasthet & E-modul något lägre (2 % lägre hållf vid 1 kg pp-fibrer per  $m^3$ , Persson, 2003).
- Tillsats av pp-fibrer påverkar porstruktur & mikrostruktur & ger större täthet
- Hastigheten för kloridinträngning & karbonatisering sjunker.
- SKB med pp-fibrer har bättre salstfrostbeständighet än SKB utan pp-fibrer (Trägårdh & Kalinowski, 2009).



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Kapitel 3

- 3.1 Schema för inblandning av pp-fibrer
- 3.2 Provningsmetoder
- 3.3 Acceptanskriterier
- 3.4 Dimensionering & utformning
- 3.5 Materialval
- 3.6 Erfarenheter av tillverkning, provning & utförande



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Rekommendationernas kärna

Rekommendationerna syftar till att klargöra

- dels när åtgärder behövs för att undvika spjälkning,
- dels hur mycket polypropylenfibrer som behövs då risk föreligger för spjälkning.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen



## Nyckelfaktorer

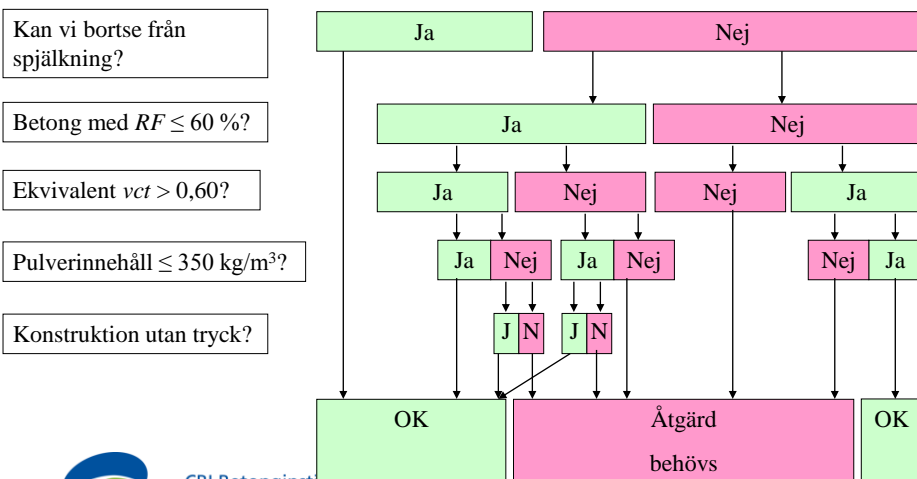
- **Betongens täthet** (uttryckt som ekvivalent vattencementtal  $vct_{ekv}$ )
- **Pulverinnehållet**
- **Betongens vatteninnehåll** (fritt vatten)
- **Aktuell belastning** (tryckbelastning är mer problematisk)



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Klarar vi oss utan åtgärd?



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## När kan vi bortse från spjälkning?

Fall nr	Beskrivning	Exempel
I	Risk för brand utesluten.	Damm i kontakt med vatten.
II	Konstruktion kommer att torka ut mot $u = 3 \%$ .	Tunna konstruktioner i torrt klimat.
III	Konsekvenser av ev. spjälkning är försumbara.	Spjälkning av tätskikt OK.
IV	Risk för personskador vid nedfallande spjälkad betong är minimal.	Betongvägar.



ingår i SP-koncernen

## När gäller rekommendationerna?

### Exempel:

- Tunnlar
- Undermarkskonstruktioner
- Parkeringshus
- Vissa broar



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Vilka åtgärder finns att tillgå?

- Inblandning av **polypropylenfibrer**
- Termiskt skydd (**isolering**)
- Utveckling av recept & **brandprovning**
- **Specialutredning** med dokumentation av spjälkningsbeständigt referensobjekt



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Om vi väljer pp-fibrer, hur mycket behövs?

Hör aktuellt fall till något av fallen I-IV i tabell 3.1?	Säkerhetsklass	Ekonomiska, miljömässiga eller andra samhälliga konsekvenser	$v_{cf_{ekv}}$			
			0,50 – 0,60		< 0,50	
			Pulverinnehåll		Pulverinnehåll	
			$\leq 350 \text{ kg/m}^3$	$> 350 \text{ kg/m}^3$	$\leq 350 \text{ kg/m}^3$	$> 350 \text{ kg/m}^3$
Ja	1 – 3	Små – mkt stora	0	0	0	0
Nej	1	Små	0	1,0	1,0	1,0
Nej	2	Betydande	1,0	1,0*	1,0*	1,4*
Nej	2	Mycket stora	1,0	1,0*	1,0*	1,4*
Nej	3	Betydande	1,0*	1,4*	1,4*	Andra åtgärder**
Nej	3	Mycket stora	1,4*	Andra åtgärder**	Andra åtgärder**	Andra åtgärder**



ingår i SP-koncernen

## Värsta fallen: $vct_{ekv} < 0,5$

Säkerhetsklass	Konsekvens	$\rho < 350 \text{ kg/m}^3$	$\rho > 350 \text{ kg/m}^3$
1	Små	1,0	1,0
2	Betydande	1,0*	1,4*
2	Mycket stora	1,0*	1,4*
3	Betydande	1,4*	Andra åtgärder**
3	Mycket stora	Andra åtgärder**	Andra åtgärder**



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Fotnoter till tabellen

\* Mängden fibrer måste säkerställas genom användning av en adekvat doseringsutrusning & ett adekvat kvalitetssäkringsprogram. Om inte, skall mängden utökas med  $0,3 \text{ kg/m}^3$  till  $1,3$  resp.  $1,7 \text{ kg/m}^3$ .

\*\* Andra åtgärder = Brandprovning, isolering eller specialutredning.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen

## Fortsatt forskning

- Rapporten räknar upp 14 förslag till fortsatt FoU
- Utveckling av standardiserad provningsmetod för brandspjälkning
- Forskningsprojekt om inverkan av fuktkvot, lufthalt & olika fyller på betongs motstånd mot brandspjälkning



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

## Slutsatser

- De nya rekommendationerna för framåt.
- För första gången kan vi **inte bara** svara på **när** utan också **hur mycket** pp-fibrer vi behöver.
- Vi erbjuder tillverkarna ett nytt alternativ till brandprovning: **specialutredning**.
- SP Brandteknik har tagit fram en rapport som beskriver hur man verifierar betongs brandmotstånd.



CBI Betonginstitutet

ingår i SP-koncernen 

# Mer om rapporten i Betong nr 1/2011, s 37-39



CBI Betonginstitutet

## TEKNIK



### Kommittéarbete byggt på konsensus

I **värld** larm har vi en lång och fin ämbetsmannatradition att söka konsensus i olika församlingar och kommittéer. Konsensus kommer av latinska consensus vilket betyder att "vara enig". En ytterlighet är konsensus beaktar kulturen på riksdagen och lyfter då på förhållanden i den polska riksdagen (sejmen) åren 1652-1791 då varje medlem blev medlem i både venstresitt. Enligt min källa (Pelle Helms klassiska "Svevande ord", Bonnier, 1942 upplagan, 1979) hölls det till ämnet. Svenska Betongföreningen är en klok förening och i dess riksdag för kommittéarbeten talar om att kommitté skall "sträva efter konsensus". Man kanske

kan tolka det som att arbetsgruppen måste arbeta hårt och innovativt för att nå kompromisser men att de som har olika åsikter – och olika åsikter förkommer nog i alla kommittéer som i dem som enbart arbetar med state-of-the-art-rapporter – måste vara beredda att gå motparten till mötes. På detta sommars tekniskador presentera Betongföreningens kommittérapport om betong och brand i grunden handlar den om hur vi kan undvika brandspjälkning i utsläppsbetong, främst i tunnlar. Här har kommittén arbetat under sin år för att komma i mål. Rapporten är en kompromissprodukt och 90 procent av re-

feregruppernas medlemmar har sagt ja till den. Föreningens styrelse har beslutat att ge ut den som en teknisk rapport. Därför av utvärdera bryter mot optimism och menar att man sannolikt både kan göra rekommendationerna mer generella (så att de omfattar husbyggnader) och mer ekonomiska (antallet fall där skyddslagades polypropylenfibrer behövs begränsas mer). Detta är en viktig fråga för betongbranschen och jag hoppas att man kan få loss forskningsmedel till den brandprovning som behövs. För att diskutera detta kommer Betongföreningen att bjuda in till ett seminarium under våren.

## Stort steg för brandsäkerheten

ett viktigt steg för säkerheten vid eventuella tunnelbränder har precis tagits i och med att Betongföreningen ger ut en ny brandrapport. Den innehåller en rekommendation över hur mycket polypropylenfibrer som behöver gjutas in för att förhindra brandspjälkning i betong vilket aldrig funnits tidigare.

seroer som mycket goda brandgenetiska. Till skillnad från en konventionell betong kan dessa betongkonstruktioner inte brinna. Betongkonstruktionerna kan ofta återställas på ett relativt enkelt sätt efter en brand. Konstruktionerna i såll behövs för det mesta ett termiskt skydd för att bibehålla betongens styrka under brand. Detta skydd kan vara skivmaterial, isolerande svällande färg eller betong eftersom betong har en god isolerande förmåga. Det är denna isolerande förmåga som gör att materialet betong fungerar bra vid brand eftersom värmen överförs begränsas kraftigt. Men det finns fall då betongen också kan behöva brandskydd. De senaste decenniernas utveckling av

tår betong – högpresterande, höghållfast men också självkompakterad med kalkeller – har lett till att man uppmärksammat spjälkning vid brand i tätning klimat. Tunneländarna under Stora Rån, Engedåka kanalen och Mont Blanc är de mest kända exemplen. Vid en tunnelbrand kan temperaturen bli mycket hög (ibland kring 1300°C) samtidigt som temperaturökningen är snabb (1200°C kan nå redan efter 2 minuter). Tår och fuktig betong kan då spjälkas av från den brandexponerade ytan. Då armeringen förläggas sänker dess hållförmåga mycket snabbt och konstruktionerna kan bli förodlade. Som vanligt har dock betongindustrin utvecklat en lösning på problemet genom

## Men kom ihåg: Betong kan inte brinna



Asphalt and concrete specimens after ISO fire test (750°C)



CBI Betonginstitutet

Noumowe (2004)

ingår i SP-koncernen