

Kristian Hertz

Vedhæftningsstyrke af Spændliner ved Brandpåvirkning



Rapport
BYG · DTU SR 05-12
August 2005
ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-108-0

Forord

Denne rapport omhandler et prøvningsprojekt, som Betonelementforeningen har bestilt som rekvireret arbejde hos BYG-Test ved BYG.DTU sommeren 2005 til bestemmelse af vedhæftningsstyrken af forspændingsliner efter påvirkning af varierende maksimale temperaturer.

Værdien, der bestemmes i kold tilstand, vil være på den sikre side, idet testen ikke tager højde for evt. effekter af snoning i det korte prøvelegeme eller sammentrækning af tværsnittets tråde ved belastning.

Det kan tænkes, at disse effekter kunne øge vedhæftningsstyrken i kold tilstand navnlig for prægede liner.

Forsøgsresultaterne kan på den sikre side anvendes ved fastsættelse af værdier til dimensionering af forankring af forspændingsliner ved brand.

Disse værdier er ikke bestemt tidligere, og forsøgsserien har derfor også generel interesse for branddimensionering af konstruktioner med forspændingsliner. Den bidrager således til BYG.DTU's forskningsprojekt om etablering af metoder og data til bestemmelse af bæreevnen af enhver konstruktion af enhver beton påvirket af enhver brand.

Formål

At bestemme vedhæftningsstyrken for to typer forspændingsliner som funktion af den maksimale temperatur ved brandpåvirkning.

Forankringsevnen for armering kan findes som et minimum af en flækningsstyrke, der er afhængig af det pågældende tværsnit og en vedhæftningsstyrke, der er afhængig af den pågældende armering og betonens trykstyrke.

Vedhæftningsstyrken kan beregnes for armering med maksimal vedhæftning såsom kamstål, og er bestemt for rundjern og for dansk Tentor.

Vedhæftningsstyrken for andre armeringstyper vil ligge mellem styrken for rundjern og for kamstål, men kan bestemmes mere præcist ved hjælp af en manchetttest, som er udviklet ved BYG.DTU og beskrevet bl.a. i Hertz [1] og [2]. Armeringens egen trækstyrke er beskrevet i Hertz [3].



Placering af prøvelegemer i ovn

Beskrivelse af arbejdsgangen

Der er støbt 4 hold prøvelegemer i en uge og 4 hold i den følgende uge.

Hvert hold består af 5 cylindre Ø10cm*20cm plus 5 manchettetestlegemer.

Disse udstøbes i støbeforme, som BYG.DTU råder over, oplagt på to omvendte U-profiler understøttet af bukke, så armeringsstængerne kan hænge ned fra formene.

I hvert andet hold er fremstillet manchettetest legemer med 3 uprægede liner og 2 prægede og til de øvrige 3 prægede og 2 uprægede, således at der, når der brændes 2 af hver, resterer en, som skiftevis er med og uden prægning til bestemmelse af værdien uden brandpåvirkning.

Samtlige prøvelegemer er konditioneret i vandbad.

5 uger efter støbningen brandpåvirkes prøvelegemerne holdvis.

For hvert hold brændes 2 manchettetestlegemer med præget armering og to med upræget samt 3 af de fem standardcylindre.

Brændingen sker i en elektrisk opvarmet 1300°C ovn med opvarmningshastighed 1°C/min til standtemperaturen, der holdes i 1 time, hvorefter der afkøles ikke hurtigere end 1°C/min.

Der brandprøves med følgende standtemperaturer i den angivne rækkefølge: 400°C, 500°C, 300°C, 600°C, 200°C, 700°C, 100°C, 800°C.

Ved at kombinere en lav temperatur med en høj dagen efter opnås, at der kan gennemføres to brændinger på to døgn, hvorved man brændingerne kan ske i samme takt som støbningerne.

Efter brændingen opbevares hvert hold prøvelegemer en uge til betonstyrken finder sit minimum.

Efter opbevaringen træktestes manchettprøvelegemerne, hvor den maksimale forankringskraft bestemmes, og trykstyrken bestemmes af cylindrene.

Beskrivelse af materialerne

I er alt medgået $8 \cdot 2 + 4 = 20$ stk. armeringsstænger af hver type til forsøgsrækken.

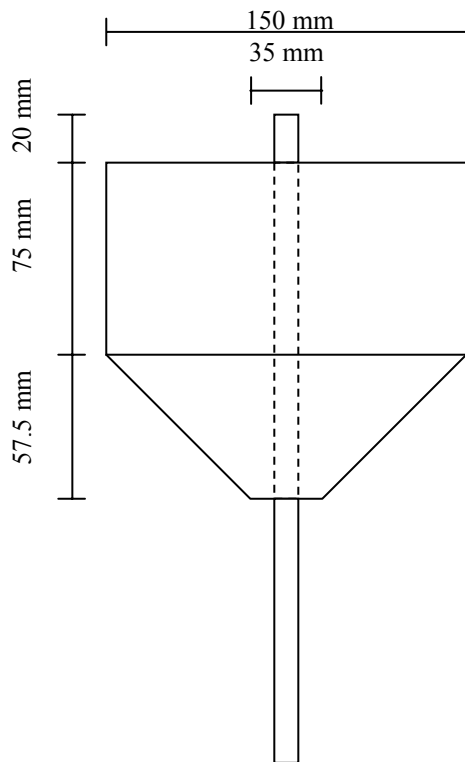
Hver spændline består af 7 tråde. De uprægede liners tråde er målt med skydelære til 5,3 mm og deres ydre diameter til 15,9 mm, og de prægede liners trådes mindste tykkelse er målt til 5,1 mm i diameter og linerens mindste ydre dimension er 15,2 mm.

Linerne svarer til (5/8"), der beregningsmæssigt har ydre diameter 15,9 mm, og denne værdi lægges til grund for beregning af den omsluttende overflade ved bestemmelse af vedhæftningsstyrken, da det vil være denne værdi man vil benytte i en dimensionering, hvor vedhæftningsstyrke omsættes til vedhæftningskraft.

Linerne svarer til de største forspændingsliner, der anvendes til produktion af huldækelementer i Danmark. De største er valgt, fordi de har det største overfladeareal og dermed den største vedhæftningsstyrke så målingen deraf kan blive så præcis som muligt.

Stålet er leveret af Austria Draht og har en 0,2% spænding på 1750 MPa. Normalt opspændes disse liner til 75% deraf (1312 MPa), hvorpå krybning og relaxation reducerer forspændingen 1,14 gange til 1150 MPa.

Betonen er baseret på danske sømaterialer og af en kvalitet med en karakteristisk trykstyrke på 45 MPa, der efter 28 døgn påregnes at svare til en middelstyrke på mindst ca. 50 MPa. Betonens tages direkte fra produktionen af betonelementer ved Spæncom i Hedehusene, hvor alle prøvelegemer er støbt.



Manchettetestprøvelegeme

Beskrivelse af prøvelegemer

Betons trykstyrke bestemmes af standardcylindre med diameter 100 mm og højde 200 mm.

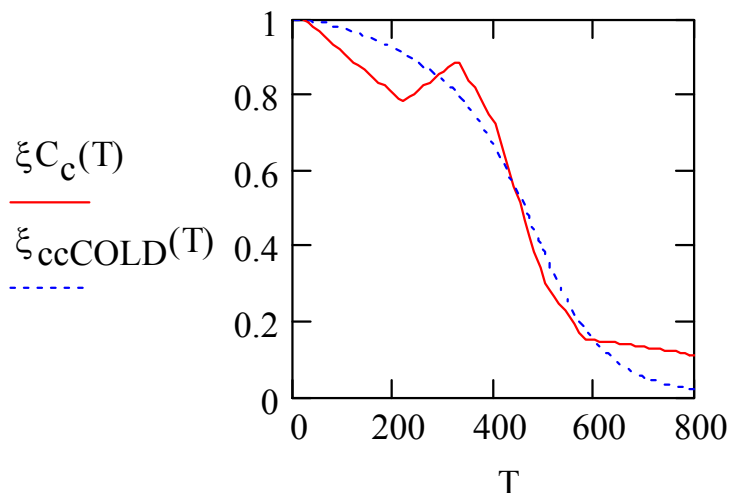
Vedhæftningsstyrken bestemmes af manchetteprøvelegemer af den viste geometri med en armeringslængde på 850 mm og en frihøjde på 20 mm for oven.

Prøvelegemerne trækkes i en stålmanchet, der kan påføre spændinger under 45° med stangaksen over en længde på 115 mm. På denne måde bestemmes vedhæftningsstyrken som den største kraft, der kan overføres mellem beton og armering af den givne geometri pr. længdeenhed.

Vedhæftningsspændingen findes da som funktion af temperaturen som denne kraft divideret med arealet af cylinderen beskrevet af stangens ydre omkreds og de 115 mm.



Opstilling med manchete i trækprøvemaskine



Betonens resttrykstyrkes udvikling med temperaturen ved testserien og designkurve for samme egenskab jfr. Hertz [4].

Testresultater

Samtlige måleresultater vises på bilag 1.

Betonens trykstyrke udvikler sig med temperaturen som det kunne forudses for tilslag af hovedgruppen, hvortil danske sømaterialer hører. Dog ligger værdien ved 200°C lavere end designkurven og lavere end værdien ved 300°C.

Dette forhold er også observeret ved andre forsøgsserier med danske sømaterialer, og skyldes at egenspændingerne er maksimale i materialet ved denne temperatur og derfor bryder betonen ved et skørt brud, hvor materialet efter påvirkning af højere temperaturer gennemskares af mikrorevner, så det bliver mere plastisk.

Samtlige vedhæftningssvigt foregik ved glidning af linerne i betonen.

Enkelte prøvelegemer får en flækningsrevne på langs af stangen, men i intet tilfælde slår revnen igennem, så prøvelegemet flækker helt. Dette er det normale for kamstål og de tidligere anvendte danske tentorstål i modsætning til rundstål.

Forspændingslinernes forankringsegenskaber er således tættere på rundståls, end på kamståls. Det vil sige, at vedhæftningssvigtet hovedsageligt sker ved elastisk eftergiven af den omkringliggende beton i stedet for knusning af betonen i en zone langs overfladen.

De målte vedhæftningsstyrker er omkring 25% af betonens trykstyrke og således nærmere den størrelsesorden, som de fås for rundstål (ca. 15%), hvor kamstål og tentorstål har omkring 65% af betonens trykstyrke.

Denne værdi holder sig til gengæld op til 400°C, hvorpå den falder kraftigt fra 400°C til 500°C og er meget beskeden ved 600°C, hvilket også ses for de øvrige ståltyper. Faktisk øges den målte vedhæftningsstyrke for linerne op til ca. 300°C, hvilket skyldes at betonens matrix trækker sig sammen omkring tilslagene og armeringen, så der introduceres et tryk, som først skal aflastes, inden prøvelegemet kan give efter ved elastisk deformation og betonen kan slippe stangen.

Denne effekt bør dog ikke generelt tages i regning ved anvendelse af resultaterne af to grunde. Den ene er at en brandberegning gør en række antagelser ud fra den forudsætning, at materialeegenskaber anses for at være på den sikre side, hvis temperaturen ansættes højere ved en tilnærmet idealiseret betragtning. Den anden er, at den opnåede klemvirkning som følge af forskelle i udvidelse af de to materialer, vil være afhængig af konstruktionens udformning i øvrigt, og derfor ikke kan tages i regning generelt.

Som omtalt er der testet to forskellige typer spændliner: med og uden prægning. Denne prægning består af fine skrå fordybninger i de enkelte trådes overflade. Det fremgår af resultaterne, at denne prægning ikke ses at have nogen større effekt på vedhæftningsstyrken for ikke brændte prøvelegemer. Derimod giver prægningen en tydelig forbedring af vedhæftningsstyrken i varm tilstand. Dette må skyldes, at prægningen trods alt er større, end størrelsesordenen af betonens elastiske eftergiven ved stangoverfladen, der er af særlig betydning for de temperaturer, hvor sammenspændingen af materialet er størst. Hvis man af de ovenfor nævnte årsager ikke tager effekten af klemvirkningen som følge af forskelle i termisk udvidelse i regning, vil forskellen på de to linietyper ikke være så markant.

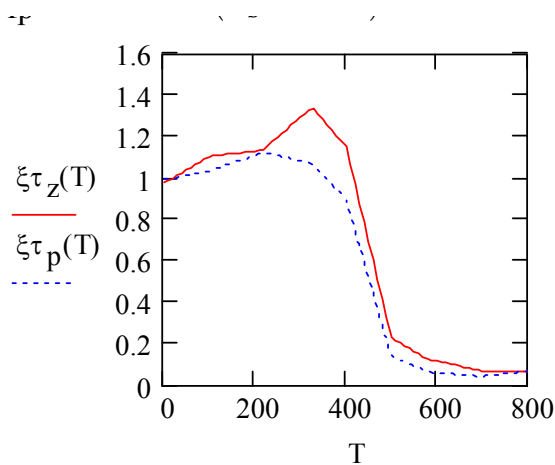
Konklusion

Ovenstående betyder, at man i praksis på den sikre side kan ansætte vedhæftningsstyrken til 25% af betontrykstyrken (som funktion af temperaturen) op til 400°C og se bort fra den derover, hvor man for kamstål og tentorstål kan sætte den til 65% op til 400°C og for rundstål til 15% i samme temperaturinterval. Denne værdi (25%) vil være på den sikre side, idet testen ikke tager højde for evt. effekter af snoning i det korte prøvelegeme eller sammentrækning af tværsnittets tråde ved belastning. Det kan tænkes, at disse effekter kunne øge vedhæftningsstyrken i kold tilstand navnlig for prægede liner.

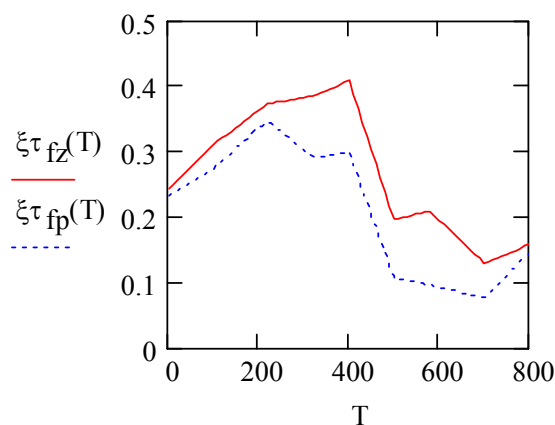
Data

Temp	Trykstyrke	Prægede liner		Uprægede liner	
°C	ξ_{cc}	$\tau(T)/\tau(20^\circ\text{C})$	$\tau(T)/f_{cc}(T)$	$\tau(T)/\tau(20^\circ\text{C})$	$\tau(T)/f_{cc}(T)$
20	1,0000	1,000	0,256	1,000	0,241
100	0,9087	1,102	0,310	1,034	0,274
200	0,7801	1,135	0,372	1,122	0,346
300	0,8891	1,343	0,387	1,067	0,289
400	0,7246	1,156	0,408	0,900	0,299
500	0,3003	0,230	0,196	0,134	0,107
600	0,1541	0,126	0,209	0,061	0,096
700	0,1325	0,067	0,129	0,042	0,076
800	0,1103	0,068	0,158	0,066	0,144

Udviklingen i trykstyrke (ξ_{cc}), vedhæftningsstyrke ($\tau(T)/\tau(20^\circ\text{C})$) og vedhæftningsstyrke divideret med trykstyrke ($\tau(T)/f_{cc}(T)$).



Udviklingen i vedhæftningsstyrke med temperaturen for prægede $\xi\tau_z(T)$ og uprægede $\xi\tau_p(T)$ liner.



Udviklingen i vedhæftningsstyrke divideret med trykstyrke for prægede og uprægede liner

Referencer

- [1] K.D.Hertz: Armeringsståls forankring ved høje temperaturer.
(Anchorage of Reinforcing Bars at High Temperatures) Part 2 of
Ph.D.-Thesis.
Rapport Nr.138. Instituttet for Husbygning DTH.
Lyngby 1980. 103p.

- [2] K.D.Hertz: The Anchorage Capacity of Reinforcing Bars
at Normal and High Temperatures.
Magazine of Concrete Research Vol.34, No.121, pp.213-220.
December 1982.

- [3] K.D.Hertz: Reinforcement Data for Fire Safety Design
Magazine of Concrete Research Vol.56, No.8, pp.453-459.
Thomas Telford Ltd. 2004.

- [4] K.D.Hertz: Concrete Strength for Fire Safety Design.
Accepted for publication by Magazine of Concrete Research.
2005-02-21. 17p.

Bilag 1

Testresultater

Alle værdier i kN

Støbedato Dato	Temp C	Styrketest Dato	Cylindre				
			Kold		Varm		
			1	2	3	4	5
14-06-05	400	25-07-05	586	541	368	370	372
15-06-05	500	26-07-05	594	576	153	143	164
16-06-05	300	27-07-05	524	488	482	422	458
17-06-05	600	28-07-05	492	537	69	83	84
21-06-05	200	01-08-05	541	539	457	388	350
22-06-05	700	02-08-05	520	369	62	68	73
23-06-05	100	03-08-05	314	500	424	406	562
24-06-05	800	04-08-05	465	584	55	65	54

Støbedato Dato	Temp C	Styrketest Dato	Kold Præg	Manchetprøvelegemer				
				Kold	Varm Præget		Varm Upræget	
				1	2	3	4	5
14-06-05	400	25-07-05	0	87,0	108,3	112,6	84,4	77,5
15-06-05	500	26-07-05	1	93,4	21,6	22,4	14,0	10,1
16-06-05	300	27-07-05	0	98,3	127,0	129,7	96,8	95,2
17-06-05	600	28-07-05	1	79,2	10,8	13,2	5,5	6,3
21-06-05	200	01-08-05	0	66,7	106,2	110,7	100,9	76,8
22-06-05	700	02-08-05	1	97,7	4,6	8,2	2,5	5,0
23-06-05	100	03-08-05	0	66,0	100,9	109,7	93,0	78,7
24-06-05	800	04-08-05	0	84,5	6,6	6,5	6,4	5,5

De med *kursiv* anførte værdier er for prøvelegemer hovedsageligt med uprægede liner, hvor trådene i linerne er gledet i forhold til hinanden ved testen. Disse resultater anvendes derfor ikke.

Værdien 6.4 under Varm Upræget 800°C er en Præget line.