



ABK  
 Department of Structural Engineering  
 Danmarks Tekniske Højskole · Technical University of Denmark

Lok-Styrkeprøvning og Capo-  
 Styrkeprøvning af Betons Trykstyrke

Herbert Krenchel

Serie I

No 71

1982

St 3  
 No 7  
 ABK

ISSN 0108-058X

HERBERT KRENCHHEL

LOK-STYRKEPRØVNING OG CAPO-STYRKEPRØVNING  
AF BETONS TRYKSTYRKE

Indboret udtrækabolt til måling af betonstyrke.  
Afslutningsrapport til Teknologirådet: TR-sag  
nr. 133/410-78.196. ABK-sag 9/79.

Afdelingen for Bærende Konstruktioner  
Danmarks tekniske Højskole  
1982

kun på specielle borekernecylindre (Ø 8 x 16 cm) udboret af de støbte prøveplader. Disse har for sprøjtebetonens vedkommende vist trykstyrker i to områder : ca 37 MPa og ca 57 MPa og for vacuumbetonens vedkommende ca 18 MPa og ca 24 MPa.

For sidstnævnte betontypes vedkommende er der dog det specielle forhold, at der ud over de udborede kerneprøver også er støbt separate prøvecylindre (Ø 15 x 30 cm), som ikke er vacuumbehandlet, men blot trykprøvet på normal vis parallelt med borekerneprøverne, og disse separat støbte, ikke vacuumbehandlede prøvecylindre har imod forventning vist betydeligt højere trykstyrke end de udborede kerner (ca 35% højere styrke). Dette forhold vil blive diskuteret nøjere i det følgende.

#### Forsøgenes udførelse

Forsøgene er for de to første betontypers vedkommende udført på den måde, at der for hver enkelt betonkvalitet er udstøbt et passende antal trykprøvecylindre (Ø 15 x 30 cm) samt af samme betonsats et antal 20 cm betonterninger. I hver betonterning indstøbtes centralt i to modstående sideflader skiver til lok-styrkeprøvning. På prøve dagen trykprøvedes da prøvecylindrene, og der blev samtidig foretaget såvel lok-styrkeprøvning som capo-styrkeprøvning på terningerne. Til sidst nævnte prøvning benyttedes de to resterende terning-sideflader, hvorpå der ikke var foretaget lok-styrkeprøvning, idet der centralt i disse sideflader på selve prøve dagen blev indboret og indsattes den specielle expansionskive mm, som er grundlaget for capo-prøvningen.

Selve opstillingen ved lok-styrkeprøvningen er vist i detail på fig. 1 og for capo-prøvningen på fig. 2 og 3. Alle cylindertrykforsøg blev udført (i henhold til DS 411) på Teknologisk Institut, og alle lok- og capo-forsøg blev udført af akademilingeniør Germann Petersen, fa. In-Situ Testing Aps.

For de to sidste betontypers vedkommende - sprøjtebeton og vacuumbeton - blev der udstøbt 16 cm tykke plader (sprøjtebetonen 100 x 300 cm, vacuumbetonen 110 x 110 cm plader). Efter hærdning blev der som nævnt udboret prøvekerne af disse (Ø 8 x 16 cm) og desuden foretaget capo-prøvning på sprøjtebetonpladerne (fra oversiden) respektive capo- og lok-prøvning på vacuumbetonpladerne (capo-prøvning både fra over- og undersiden af pladerne, lok-forsøg kun fra undersiden).

#### Forsøgenes omfang

Med betontype 1, normalbeton er der ialt - inklusive de seneste forsøg med højstyrkebeton - udført 116 trykforsøg, 214 capo-forsøg og 216 lok-forsøg, således som ovenfor beskrevet.

Herudover er der som supplerende undersøgelse foretaget enkelte capo-forsøg ved indboring i top- respektive bundflade i de undersøgte betonterninger, ialt 18 sådanne forsøg af hver type. Disse specielle forsøg giver interessante informationer om den ganske store forskel der er i betonkvalitet i top og bund af en sådan normalt udstøbt 20 cm terning (i gennemsnit er betonstyrken i top kun ca 2/3 af betonstyrken i bund), men forsøgene kan iøvrigt ikke indgå i den endelige bearbejdning til bestemmelse af samhörigheden mellem en betons trykstyrke og dens lok-styrke respektive capo-styrke.

Med betontype 2, letbetonen, er der udført ialt 20 trykforsøg, 44 capo-forsøg og 44 lok-forsøg, og med betontype 3, sprøjtebetonen 24 trykforsøg på udborede kerner (Ø 8 x 16 cm) samt 36 capo-forsøg.

Endelig er der med betontype 4, vacuumbetonen udført 12 trykforsøg på udborede kerner Ø 8 x 16 cm (suppleret med ialt 20 trykforsøg på almindelige støbte, ikke vacuumbehandlede cylindre Ø 15 x 30 cm som ovenfor nævnt). Dertil 16 capo-forsøg fra pladernes overside og 16 capo-forsøg fra undersiden samt 16 lok-forsøg også fra pladernes underside.

#### Oversigt over bearbejdning

Et overblik over det totale forsøgsmateriale som beskrevet ovenfor viser, at det kun vil være korrekt at lave en samlet bearbejdning af forsøgsresultaterne vedrørende normalbetonen (hvilket også, som det ses, er langt den største del af de samlede undersøgelser).

Grunden til at forsøgene med de øvrige betontyper må holdes udenfor en sådan samlet bearbejdning er følgende:

For letbetonens vedkommende ved vi fra tidligere udførte lok-forsøg på sådanne betoner, at der her er et andet forhold mellem lok-styrken og trykstyrken end det forhold, man finder for normalbetoner, (lok-styrken ligger for samme trykstyrkeniveau normalt en del lavere ved letbetonerne end ved normalbeton, helt ned til ca 2/3 af normalbeto-

Der bør dog nok advares imod, at der drages for vide konsekvenser ud fra denne sammenligning mellem de to prøvemethoder, eftersom den nyudviklede capo-test metode kan formodes at ville give noget større vanskeligheder ved gennemførelse i praksis end lok-test metoden normalt gør. Både udborning af det specielle borehul og korrekt placering af expansionsskiven (se fig. 2 og 3) vil formodentlig kræve noget større indsigt og oplæring end, hvad der er påkrævet ved gennemførelse af lok-test forsøgene.

Endelig skal det bemærkes, at de ved den foreliggende undersøgelse opnåede regressionslinier er svagt afvigende fra de afhængigheder mellem lok-styrke og trykstyrke for normalbeton, som man har fundet ved flere tidligere undersøgelser af lignende art. (Linjens hældningskoefficient, som her er fundet til ca. 0,77 ligger ofte nogle procent højere: 0,80 - 0,83).

Dette skyldes højst sandsynligt det ikke ukendte fænomen, at en betons trykstyrke - selvom prøvelegemerne udstøbes og trykprøves efter standard forskrift - ikke er nogen entydig størrelse. Den målte trykstyrke varierer således noget - selv for helt identiske betoner - fra den ene prøvningsanstalt til den anden, og der er også andre influensfaktorer, som man ikke idag har fuldt overblik over.

Den lidt lavere hældningskoefficient opnået ved den foreliggende undersøgelse kunne således tyde på, at der generelt måles et par procent højere trykstyrker ved cylinderforsøg på Teknologisk Institut end ved prøvning af samme beton f.eks. på Statsprøveanstalten, hvor trykprøvningen ved mange af de tidligere undersøgelser har været udført.

*Herbert Krenchel*  
Herbert Krenchel

Supplerende forsøg (okt. 1980)

Efter afslutning af ovennævnte undersøgelser blev der ydret ønske om en nøjere analyse af lok-styrken og capo-styrken for ekstraordinært svage betoner med trykstyrker ned til  $\sigma_c \sim 5$  MPa eller lavere. Der blev derfor gennemført en række forsøg til proportionering af

beton i styrkeområdet  $\sigma_c \sim 3 - 10$  MPa. For at opnå en passende støbbar og homogen beton i dette styrkeområde blev der anvendt et meget lavt cementindhold, suppleret med et forholdsvis højt indhold af flyveaske.

Til de endelige støbninger valgtes således betoner med følgende indhold af cement respektive flyveaske

Serie 29:	C = 138	F = 93,4	} alt i kg pr m <sup>3</sup> beton
Serie 30:	C = 90	F = 74,5	

Der blev af hver betontype støbt 6 cylindre til trykforsøg samt 6 terninger til capo- og lok-forsøg. De opnåede forsøgsresultater er tilføjlet i tabel 1, hvoraf det fremgår, at de opnåede betontrykstyrker blev henholdsvis 7,6 og 3,3 MPa. Det fremgår også af tabellen, at 4 af de ialt planlagte 12 capo-forsøg mislykkedes i serie 30. Årsagen var, at denne meget svage beton ikke tåler udborning og udslibning for indsats af expansionsskiven, idet silbeværktøjet kan slå sten løse under arbejdet. En nedre grænse for betonkvaliteter, som i praksis kan undersøges med capo-prøven, vil således nok være beton med trykstyrke  $\sigma_c \sim 5$  MPa.

På diagrammerne fig. 6 og 7 er forsøgsresultaterne fra disse to sidste serier tilføjlet. Det ses, at den retlinjede afhængighed for såvel Capo-forsøgene som Lok-forsøgene er tydelig ved til trykstyrker på ca 15 MPa, hvorefter kurven bøjer af imod origo. En enkelt af de tidligere undersøgte betonkvaliteter, serie 7, ligger en smule under denne grænse ( $\sigma_c = 14,3$  MPa), og resultaterne herfra bør således strengt taget ikke medtages ved bestemmelse af den retlinjede afhængighed.

Der er derfor gennemført nye regressionsliniebestemmelser for serierne 1-6 samt 8-28. Resultatet af disse undersøgelser er følgende:

Capo:	C = 5,32 + 0,751 $\sigma_c$	$r_{xy} = 0,954$	s = 3,47
Lok:	L = 4,67 + 0,768 $\sigma_c$	$r_{xy} = 0,952$	s = 3,60

Disse linier er indtegnet på diagrammerne fig. 6 og 7. Det ses, at det tidligere konkluderede: at de to prøvemethoder giver praktisk taget samme resultat, - stadig holder stik.

*Herbert Krenchel*  
Herbert Krenchel

Tabel 1

Tryk-forsøg, capo-forsøg og lok-forsøg på 18 serier normalbeton, som indgår i den endelige bearbejdning, samt 2 supplerende serier med specielt svag beton gennemført okt. 1980.

Serie	Data-blad	Tryk			Capo			Lok		
		$\sigma_c$	$V_d$	$n_d$	C	$V_c$	$n_c$	L	$V_L$	$n_L$
		MPa	kN	stk	kN	kN	stk	kN	stk	stk
1	1	28,2	3,1	4	29,1	6,4	6	28,7	5,4	8
2	"	28,8	2,4	"	30,0	7,9	8	30,6	8,3	"
3	"	30,0	3,3	"	30,9	8,2	"	30,6	6,9	"
4	"	30,5	5,5	"	31,1	10,7	"	31,3	8,3	"
5	2	29,5	3,5	3	32,3	8,6	6	33,1	9,1	6
6	"	29,4	6,6	"	32,7	7,8	"	33,5	6,7	"
7	"	14,3	5,0	6	13,0	9,4	12	16,9	7,7	12
8	3	42,6	3,4	"	40,6	6,3	6	39,1	6,4	6
9	"	44,2	2,7	"	39,7	4,6	"	39,2	6,7	"
10	4	42,6	3,4	"	39,8	3,4	"	38,8	3,2	"
11	"	44,2	2,7	"	37,9	3,4	"	38,5	4,3	"
12	5	25,4	5,0	"	21,1	6,1	12	22,7	7,3	12
13	6	37,4	2,3	2	32,8	2,6	4	33,0	6,5	4
14	"	39,1	3,6	"	35,1	5,5	"	35,3	1,6	"
15	"	40,2	1,2	"	30,9	9,3	"	32,8	5,7	"
16	"	40,2	4,0	"	31,9	6,1	"	32,0	9,2	"
17	"	38,1	4,6	3	35,8	9,5	6	35,1	13,0	6
18	"	38,6	3,8	"	35,8	5,4	"	34,2	7,1	"
19	7	32,9	3,8	5	26,9	8,5	12	26,9	8,5	12
20	"	33,0	3,1	6	29,1	10,1	"	30,0	5,6	"
21	8	28,8	4,5	4	25,8	10,8	8	22,4	14,9	8
22	"	26,3	4,1	"	24,2	7,1	"	22,7	12,0	"
23	"	24,9	3,6	"	22,9	4,9	"	22,6	9,8	"
24	10	24,7	3,6	6	21,2	12,9	12	21,8	6,0	12
25	8'	42,8	3,1	2	34,4	8,7	4	31,8	8,3	4
26	"	39,3	3,1	"	31,8	4,6	"	31,3	6,2	"
27	"	37,1	4,0	"	35,4	4,7	"	33,8	7,4	"
28	13	74,0	3,5	9	60,6	5,7	24	61,6	6,7	24
29	14	7,6	3,0	6	9,04	13,4	12	8,66	11,9	12
30	"	33,3	2,6	6	3,44	22,7	8	4,71	16,6	12

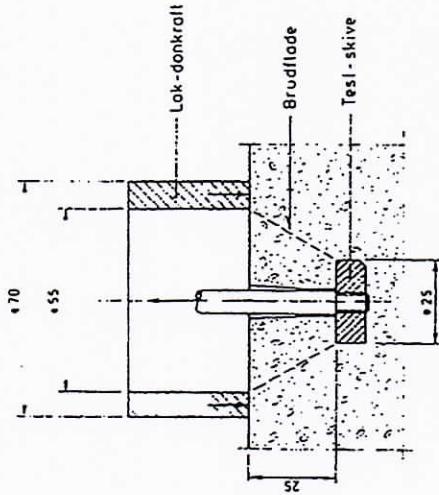


Fig. 1

Opstilling ved lok-styrkeprøvning

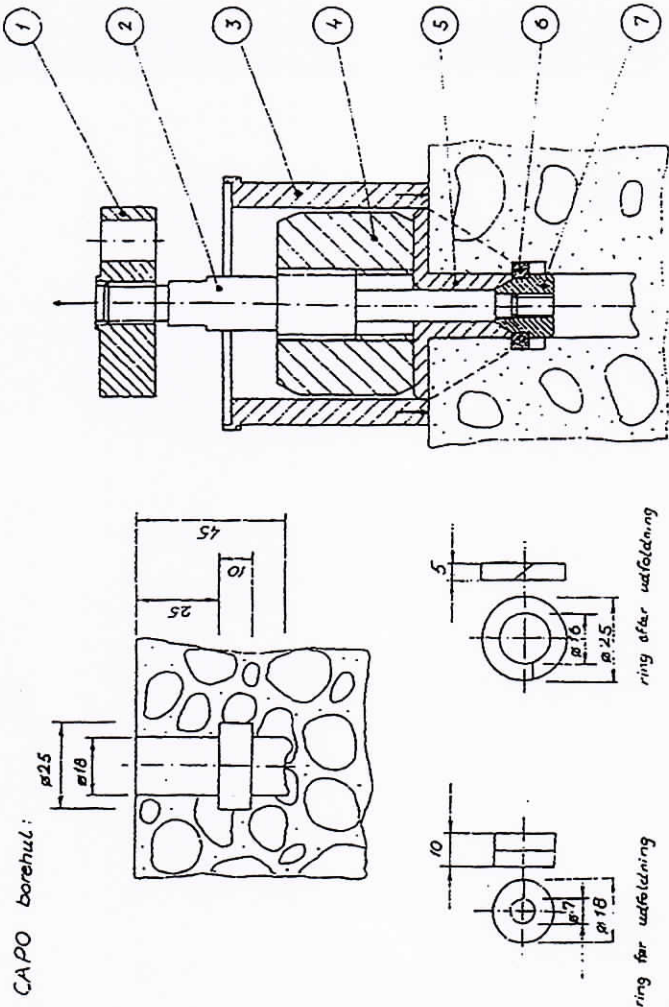


Fig. 2

CAPO borehul samt expander-ring før og efter udfældning

Fig. 3

Opstilling ved capo-styrkeprøvning

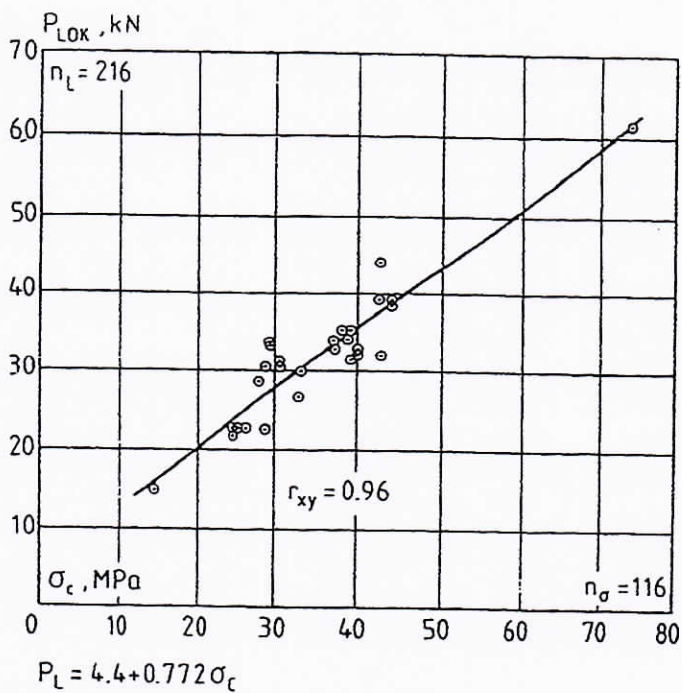


Fig. 4 Lok-forsøg/Trykforsøg. Normalbeton.

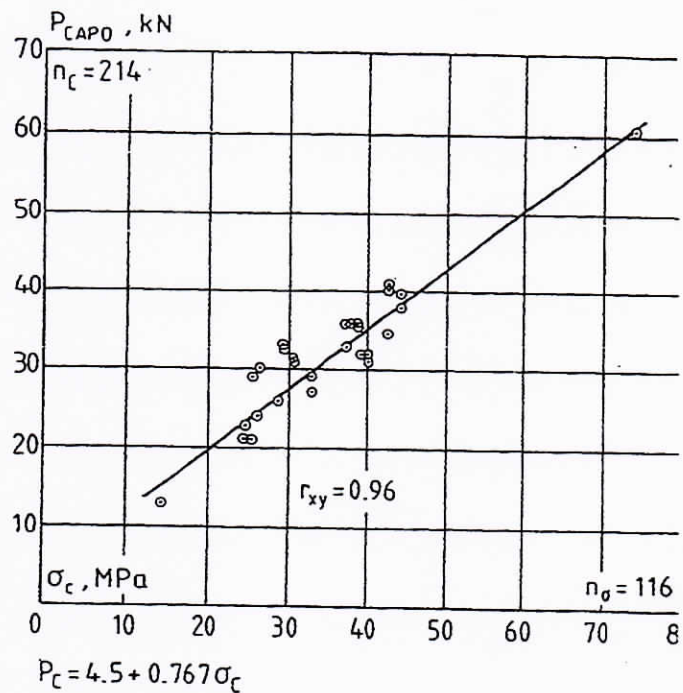


Fig. 5 Capo-forsøg/Trykforsøg. Normalbeton.

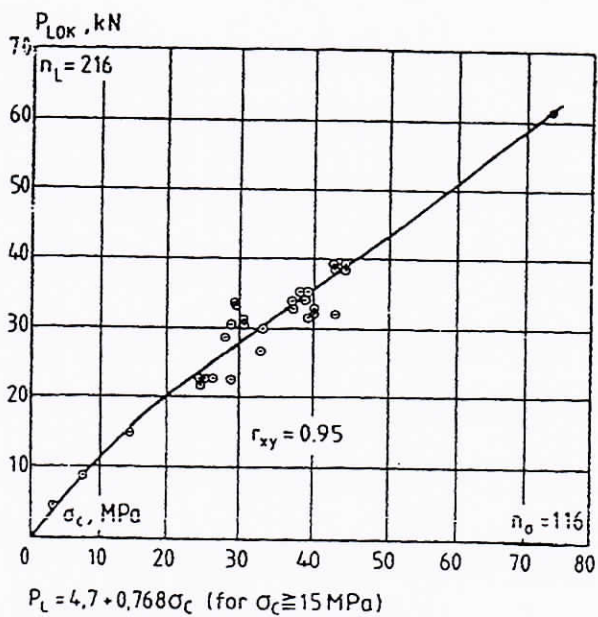


Fig. 6 Lok-forsøg/Trykforsøg. Normalbeton, inclusive supplerende serier okt. 1980.

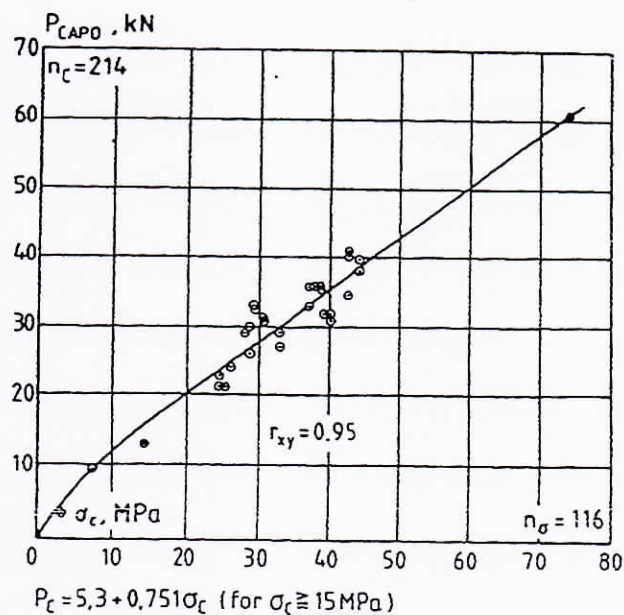


Fig. 7 Capo-forsøg/Trykforsøg. Normalbeton, inclusive supplerende serier okt. 1980.