

Cathrine Ewertson
Rolf Pettersson

JÄMFÖRELSE MELLAN NORDISKA
METODER FÖR BESTÄMNING AV
TRYCKHÅLLFASTHET HOS BETONG

Nordtestprojekt nr 679-87

ARBETSRAPPORT SP-AR 1988:48
Byggnadsteknik
Borås 1988

INNEHÅLLSFÖRTECKNING		Sid
	FÖRORD	3
	SAMMANFATTNING	4
1	BAKGRUND OCH SYFTE	5
2	INLEDNING	6
3	BETONGSAMMANSÄTTNING	8
3.1	Delmaterial	8
3.2	Proportionering	9
4	UTFÖRANDE	12
4.1	Utrustning och utförande	12
4.2	Provning enligt Svensk Standard	13
4.3	Provning enligt Finsk Standard	13
4.4	Provning enligt Norsk Standard	14
4.5	Provning enligt Dansk Standard	14
4.6	Sammanfattning av provningsmetoder	14
5	PROVNINGSRESULTAT	16
6	SLUTSATSER	37
BILAGOR		
	1 Provningsresultat, tabeller	
	2 Provningsresultat, diagram	

FÖRORD

Föreliggande rapport avser ett Nordtestprojekt, där de olika nordiska ländernas sätt att bestämma tryckhållfasthet hos betong jämförs. Projektet har genomförts inom materialsektionen vid enheten för byggnadsteknik vid Statens provningsanstalt i Borås. En stor del av det praktiska arbetet har därvid utförts av Rolf Lejestrand.

Kompletterande formmaterial har välvilligt ställts till förfogande av Vattenfall, Älvkarleby och av Färdig Betong Göteborg AB, Strömstad.

Forskningsanslag har erhållits från NORDTEST.

Till dessa och övriga, som på olika sätt medverkat i projektet riktas härmed ett varmt tack.

Borås i september 1988

Cathrine Ewertson

Rolf Pettersson

SAMMANFATTNING

I denna undersökning har en jämförelse mellan nordiska metoder för bestämning av tryckhållfasthet hos betong utförts, se figurerna 5.3-5.8. Tryckhållfastheten har bestämts enligt Svensk, Finsk, Norsk och Dansk Standard. Enligt de fyra olika ländernas standarder innebär det att betongs tryckhållfasthet bestäms på olika sätt. Provkroppsform, lagringssätt och belastningshastighet vid provtryckning är de tre viktigaste skiljande faktorerna mellan ländernas standarder.

Två olika betongkvaliteter har provats, betong med ren portlandcement och betong med 10 % av cementmängden ersatt med silikastoft. Hållfastheten har bestämts vid tre olika åldrar, 3, 7 eller 28 dygn. Betong med ren portlandcement har provats för avsedd hållfasthet mellan 20 och 70 MPa. Betong med silikastoft har provats för avsedd hållfasthet mellan 40 och 80 MPa.

Provningsresultaten visar att det finns entydiga samband mellan resultat erhållna med de olika metoderna. Inget i den gjorda jämförelsen tyder på att betong med portlandcement ger andra samband än betong med silikastoft. I undersökningen har det påvisats hur lagringssätt och provkroppens fukttinnehåll inverkar på omräkningsfaktorerna, se figurerna 5.9-5.20. Inget i resultaten tyder på att betong med silikastoft skulle vara mer känslig för uttorkning än betong med ren portlandcement som bindemedel.

1 BAKGRUND OCH SYFTE

I de fyra nordiska länderna Sverige, Finland, Norge och Danmark bestäms betongs tryckhållfasthet (normaltidsprovning) på olika sätt. I Finland, Norge och Danmark förekommer det att tryckhållfastheten bestäms både för kuber och cylindrar, vilka kan ha olika dimensioner. Nedan anges de metoder vi bedömt vara de mest förekommande för respektive land vid årsskiftet 86/87. Metoderna beskrivs även kortfattat.

Sverige: SS 13 72 10. 150 mm kuber lagras 5 dygn i vatten och därefter 23 dygn i luft vid 20 ± 2 °C och 40-80 % RF fram till tryckning vid 28 dygns ålder.

Finland: SFS 4474. 150 mm kuber lagras i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C under 28 dygn fram till tryckning.

Norge: NS 427A. 100 mm kuber lagras i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C under 28 dygn fram till tryckning.

Danmark: DS 423.20, DS 423.21 och DS 423.23. Cylindrar med diametern 150 mm och höjden 300 mm lagras i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C under 28 dygn fram till tryckning.

De olika formaten på provkropparna och de olika lagrings-sätten medför att resultaten inte är direkt jämförbara.

Syftet med projektet var att finna samband mellan resultat erhållna med de olika ländernas provningsmetoder. Dessa samband skulle underlätta möjligheterna att jämföra resultat från olika nordiska länder. Ett mer långsiktigt mål är att de fyra nordiska länderna ska kunna enas om en gemensam metod för bestämning av tryckhållfasthet hos betong.

2 INLEDNING

Nordtestprojektet har genomförts på Statens provningsanstalt i Borås under åren 1987-88. Laboratoriearbetet har utförts till största delen under tiden december -87 och fram till och med mars -88.

Arbetet startade med framtagning av de metoder som Sverige, Finland, Norge och Danmark använder för att bestämma betongs tryckhållfasthet. Tillverkning, lagring och provning har i största möjliga mån utförts på det sätt som metoderna föreskriver. Under projektets gång ersattes Norges standard NS 427A med NS 3667, NS 3668 och NS 3669. I projektet har provningarna dock utförts enligt NS 427A. En viktig skillnad mellan den äldre och de nya standarderna är att belastningshastigheten har ändrats. Enligt NS 427A belastas provkroppen med $0,25 \pm 0,1$ MPa/s medan belastningshastigheten enligt NS 3668 är $0,8 \pm 0,2$ MPa/s.

Projektet inriktades på att studera eventuella samband mellan resultat erhållna med de olika ländernas provningsmetoder. Sambanden antogs kunna vara beroende av bl a hållfasthet, ålder och tillsatsmaterial (t ex silikastoft).

För att erhålla användbara samband gjordes provningsprogrammet upp efter följande parametrar:

- betongtyp
- ålder vid provningstillfället
- hållfasthet

Två olika betongtyper valdes. Till den första användes ren portlandcement och till den andra ersattes 10 % av cementmängden med silikastoft. Provkropparnas ålder vid provningstillfället valdes till 3, 7 eller 28 dygn. Sex olika hållfastheter provades för betong med ren portlandcement. För betong med silikastoft provades fem olika hållfastheter. Innebörden av hållfasthet i denna rapport är avsedd hållfasthet vid 28 dygn provad enligt Svensk Standard. Provningsprogrammet återfinns i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Provningsprogram

Betongtyp	Provnings- ålder	Avsedd hållfasthet vid 28 dygn
Betong med ren portlandcement	3 dygn	} 20, 30, 40, 50, 60 och 70 MPa
	7 dygn	
	28 dygn	
Betong med silikastoft	3 dygn	} 40, 50, 60, 70 och 80 MPa
	7 dygn	
	28 dygn	

För varje kombination enligt tabell 2.1 provades sex provkroppar enligt varje lands metod, vilket ger $6 \times 4 \times (18 + 15) = 792$ provkroppar. Vid varje gjuttillfälle göts en kombination av betongtyp och hållfasthet (72 provkroppar). Varje gjutning delades upp i två betongsatser i och med att mängden var för stor att gjuta i en omgång. Provkropparna fördelades så att varje lands metod fick tre provkroppar från varje betongsats.

3 BETONGSAMMANSÄTTNING

Nedan redovisas de material som har använts till framställning av betong samt betongsammansättningarna.

3.1 Delmaterial

Cement

Svensk standard portland cement, Slite Std P.

Silikastoft

Cementa Mikropoz. Vid beräkning av ekvivalent vattencementtal ($v_{ct_{ekv}}$) multiplicerades mängden silikastoft med faktorn 2,5.

Vatten

Vattenledningsvatten.

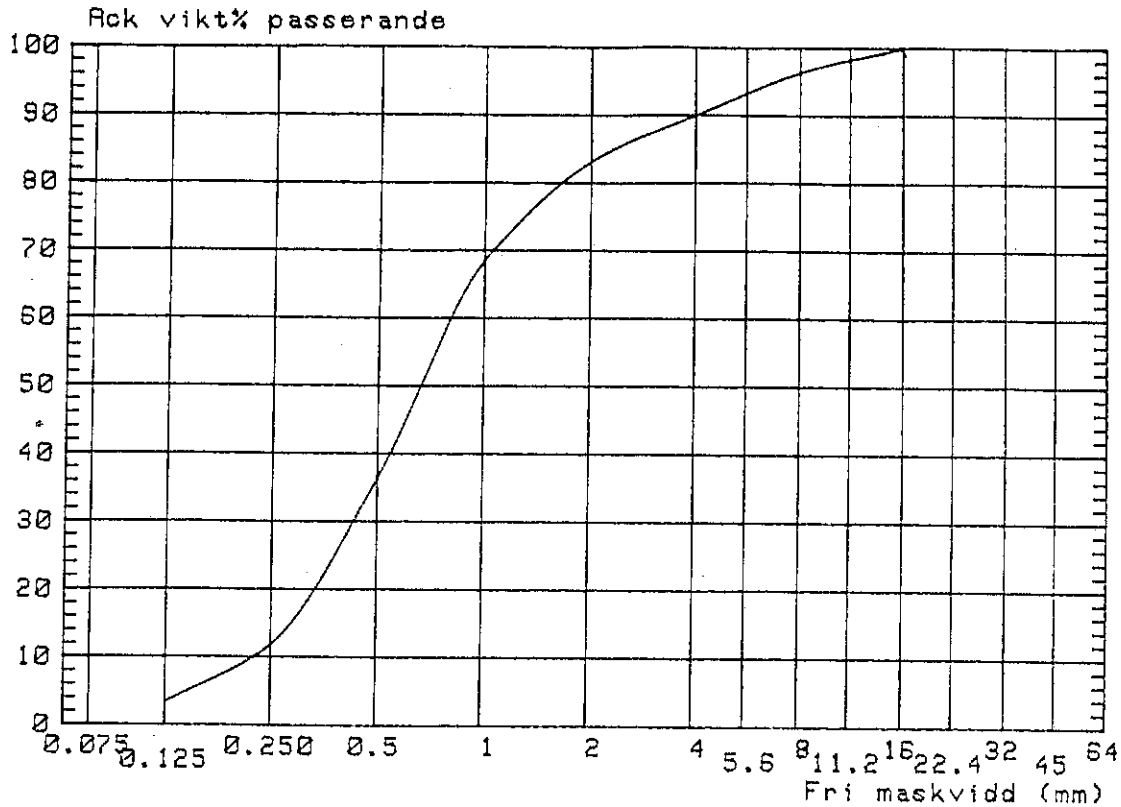
Flyttillsatsmedel

Cementa V33 användes till betong med silikastoft. Vid beräkning av $v_{ct_{ekv}}$ är mängden flyttillsatsmedel medräknad.

Ballast

Fingrus (<8 mm) av naturmaterial. Siktkurvan för fingrus visas i figur 3.1.

Stenmaterial (>8 mm) bestående av natursingel. Maximal stenstorlek 16 mm.



Figur 3.1 Siktcurva för fingrus (0-8 mm)

3.2 Proportionering

Vid proportionering av betongblandningarna eftersträvades hållfastheter (vid 28 dygn enligt Svensk Standard) om 20-70 MPa för betong med ren portlandcement och 40-80 MPa för betong med silikastoft. Vid beräkning av ekvivalent vattencementtal, vct_{ekv} , har aktivitetskoefficienten för silikastoft, SiO_2 , valts till 2,5 för att erhålla rätt hållfasthet.

Ekvivalent vattencementtal betecknas enligt följande

$$vct_{ekv} = \frac{W}{C+k \cdot R}$$

där

W = vikt vatten + vikt flyttillsatsmedel
C = vikt cement
k = tillsatsmaterialets aktivitetskoefficient
R = vikt tillsatsmaterial

Materialsammansättningen framgår av tabell 3.2 för betong med ren portlandcement och av tabell 3.3 för betong med silikastoft. I tabellerna redovisas vct och uppmätta konsistenser för de två blandningar som har tillverkats per sammansättning.

Tabell 3.2 Betong med ren portlandcement. Materialsammansättningar, uppvägda mängder i kg/m³

	Avsedd hållfasthet i MPa vid 28 dygn					
	20	30	40	50	60	70
Cement	212	290	352	431	477	554
Vatten	193,3	191,3	190	194	195	214
Filler 0-0,25	60	57	52	47	45	42
Fingrus 0-8	940	873	813	740	703	667
Sten 8-16	907	913	927	927	967	907
vct	0,91	0,66	0,54	0,45	0,41	0,39
<u>Uppmätt konsistens</u>						
Sättmått, mm*						
Sats 1	90	140	125	120	95	105
Sats 2	85	135	115	115	95	105

* Medelvärde av två bestämningar

Tabell 3.3 Betong med silikastoft. Materialsammansättningar, uppvägda mängder i kg/m³

	Avsedd hållfasthet i MPa vid 28 dygn				
	40	50	60	70	80
Cement	261	317	388	429	498
Silikastoft	29	35	43	48	55
Vatten	178	190	194	195	214
Filler 0-0,25	57	52	47	45	42
Fingrus 0-8	873	813	740	703	663
Sten 8-16	913	927	927	967	907
Flyttillsats- medel	3,9	3,2	3,9	6,5	7,5
vctekv	0,55	0,48	0,40	0,37	0,35
<u>Uppmätt konsistens</u>					
Sättningsmått, mm*					
Sats 1	105	100	110	90	100
Sats 2	110	105	110	90	105

* Medelvärde av två bestämningar

4 UTFÖRANDE

Detta kapitel innehåller följande:

- Redovisning av den utrustning som har använts vid tillverkning och provning av samtliga länders provkroppar.
- Beskrivning av hur tillverkning, lagring och provning har utförts. Först ges en allmän beskrivning över det som har utförts på ett likartat sätt och därefter vad som är specifikt för varje lands metod.

4.1 Utrustning och utförande

Utrustning

- Betongblandare, Sandby "SU350" (350 liters gummiinklädd tvångsblandare)
- Sättkon
- Vebebord
- Stålstång
- Våg med minst 10 kg kapacitet och en noggrannhet inom ± 20 g
- Skjutmått
- Mätbygel
- Tryckpress, MFL Systeme DP 300V

Utförande

Betongen till de 22 betongsatserna blandades på följande vis: Ballast och cement torrblandades i cirka 1 minut. Blandningsvattnet tillsattes och betongen blandades därefter i cirka 3 minuter. För betong med silikastoft tillsattes silikastoftet tillsammans med cementen och flyttillsatsmedlet späddes ut med lite av blandningsvattnet och tillsattes därefter med det övriga vattnet. Konsistensen mättes två gånger efter blandningens slut med hjälp av en sättkon.

Av varje betongsats tillverkades 36 st provkroppar enligt följande: Kuber (150 mm) och cylindrar fylldes i två lager och varje lager vibrerades. Vibreringen av det sista lagret pågick tills betongytan blivit jämn, blank och sammanhängande. Ytan ströks därefter av med en stålstång. Kuber (100 mm) fylldes med betong i endast ett lager, för övrigt samma förfarande som för de andra provkropparna.

Samtliga kuber täcktes med plastfolie efter avslutad gjutning och förvarades därefter i temperaturen 20 ± 2 °C. Ca 30 min efter avslutad gjutning sattes locket på cylindrarna varefter de förvarades liggande tillsammans med kuberna.

Efter 1 dygn avformades samtliga provkroppar och märktes med vattenfast penna. Lagring av provkroppar skedde därefter enligt respektive lands metod.

Provning vid 3, 7 och 28 dygn utfördes enligt följande: De provkroppar som var vattenlagrade togs upp ur vattnet och överflödigt vatten torkades bort före provning. Varje provkropp vägdes och mättes. För kuber (150 mm) bestämdes höjden med hjälp av skjutmått och den genomsnittliga tvärarean vinkelrätt mot tryckriktningen med hjälp av mätbygel. För kuber (100 mm) och cylindrar (diameter = 150 mm och höjden = 300 mm) bestämdes höjd och area med hjälp av skjutmått. Densiteten beräknades och anges här i rapporten i kg/m^3 med tiotalssiffran avrundad till 0 eller 5. Provkroppen centrerades därefter noga i tryckpressen och belastades till brott. Brottlasten, den maximala belastning som provkroppen kunde utsättas för före brott, noterades.

4.2 Provning enligt Svensk Standard

Provning av betongs hållfasthet i Sverige sker enligt Svensk Standard SS 13 72 10 "Betongprovning - Hårdnad betong - Kubhållfasthet". I denna föreskrivs formar, som är formbeständiga och vattentäta, med invändig längd, bredd och höjd = 150 ± 2 mm.

Efter avformning lagrades provkropparna i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C under de nästföljande 4 dyggen. Resterande tid före provning förvarades provkropparna i luft med temperaturen 20 ± 2 °C och 40-80 % RF. Provning vid 3 dygn innebar att provkropparna provades våta medan provning vid 7 och 28 dygn utfördes på torra provkroppar.

Belastningshastigheten var ca 1 MPa/s.

4.3 Provning enligt Finsk Standard

Betongs hållfasthet provas i Finland enligt Finsk Standard SFS 4474 "Betong. Tryckhållfasthet". Till projektet valdes formar med invändig längd, bredd och höjd = 150 mm.

Provkropparna förvarades i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C fram till provning vid 3, 7 och 28 dygn.

Belastningshastigheten var ca 1 MPa/s.

4.4 Provning enligt Norsk Standard

Provning av betongs hållfasthet i Norge utfördes tidigare enligt Norsk Standard NS 427A "Metod för bestämning av gjutna provkroppars tryckhållfasthet". I projektet har betongens hållfasthet bestämts på kuber med längd, bredd och höjd = 100 mm enligt denna standard.

Efter avformning och fram till provning lagrades provkropparna i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C.

Belastningshastigheten var ca 0,25 MPa/s.

4.5 Provning enligt Dansk Standard

I Danmark provas betongs hållfasthet enligt Dansk Standard DS 423.20 "Hårdnad betong. Provkroppars form och mått", DS 423.21 "Betongprovning. Framställning och lagring av gjutna provkroppar för hållfasthetsbestämning" och DS 423.23 "Betongprovning. Tryckhållfasthet". Från DS 423.20 valdes cylindrar med diametern = 150 mm och höjden = 300 mm.

Provkropparna lagrades i vatten med temperaturen 20 ± 2 °C fram till provning vid 3, 7 eller 28 dygn.

Belastningshastigheten var ca 1 MPa/s.

Cylindrarna upplevdes som avsevärt mer tungarbetade än övriga provkroppar, såväl vid tillverkning och avformning som vid hantering i övrigt.

4.6 Sammanfattning av provningsmetoder

Provkropsform, lagringssätt och belastningshastighet är de tre viktigaste skiljande faktorerna mellan ländernas provningsmetoder. I tabell 4.1 sammanfattas vad som har gällt för respektive metod i projektet.

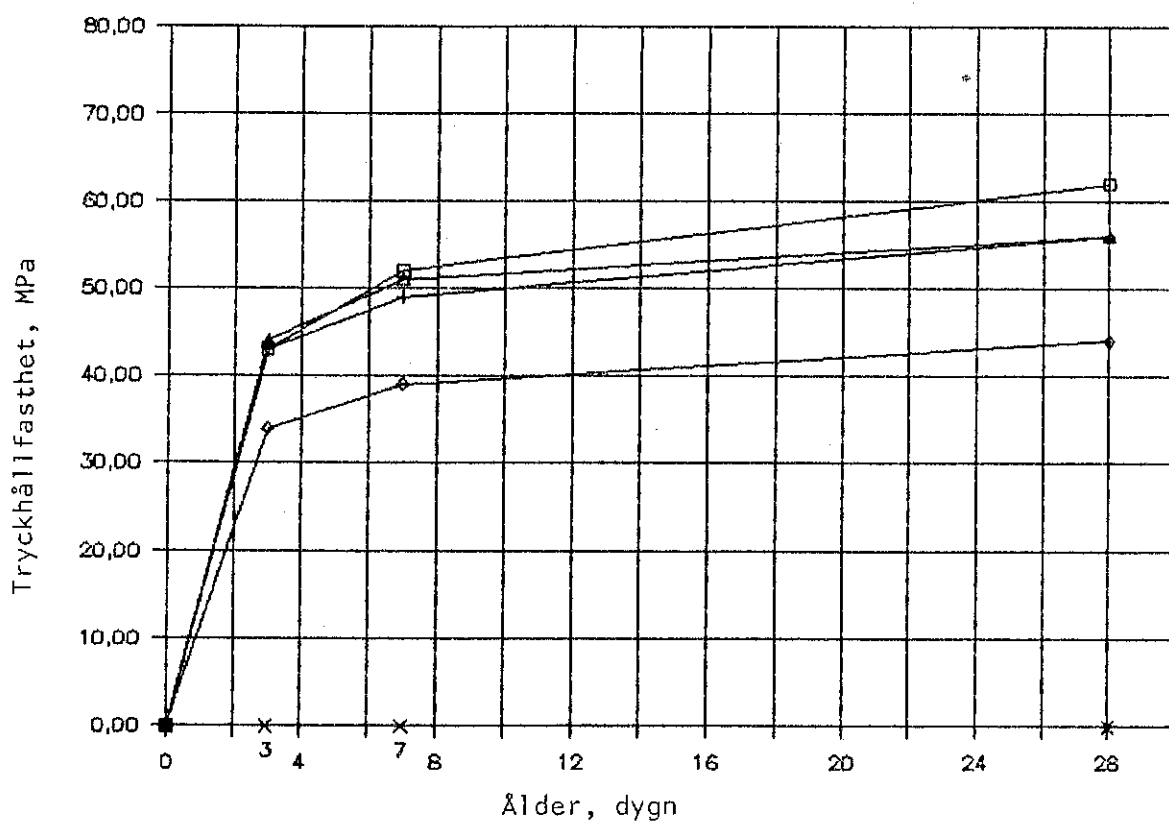
Tabell 4.1 Sammanfattning av provningsmetoder

Provnings- metod	Provkroppss- form	Lagringssätt*	Belastnings- hastighet
Svensk	150 mm kuber	1 dygn i form	1 MPa/s
		4 dygn vatten- lagring	
		23 dygn luft- lagring	
Finsk	150 mm kuber	1 dygn i form	1 MPa/s
		27 dygn vatten- lagring	
Norsk	100 mm kuber	1 dygn i form	0,25 MPa/s
		27 dygn vatten- lagring	
Dansk	Cylindrar med d = 150 mm h = 300 mm	1 dygn i form	1 MPa/s
		27 dygn vatten- lagring	

* Anger lagringssätt fram till provning vid 28 dygn. För provning vid 3 och 7 dygn utfördes lagringen enligt tabell fram till uppnådd ålder, 3 eller 7 dygn.

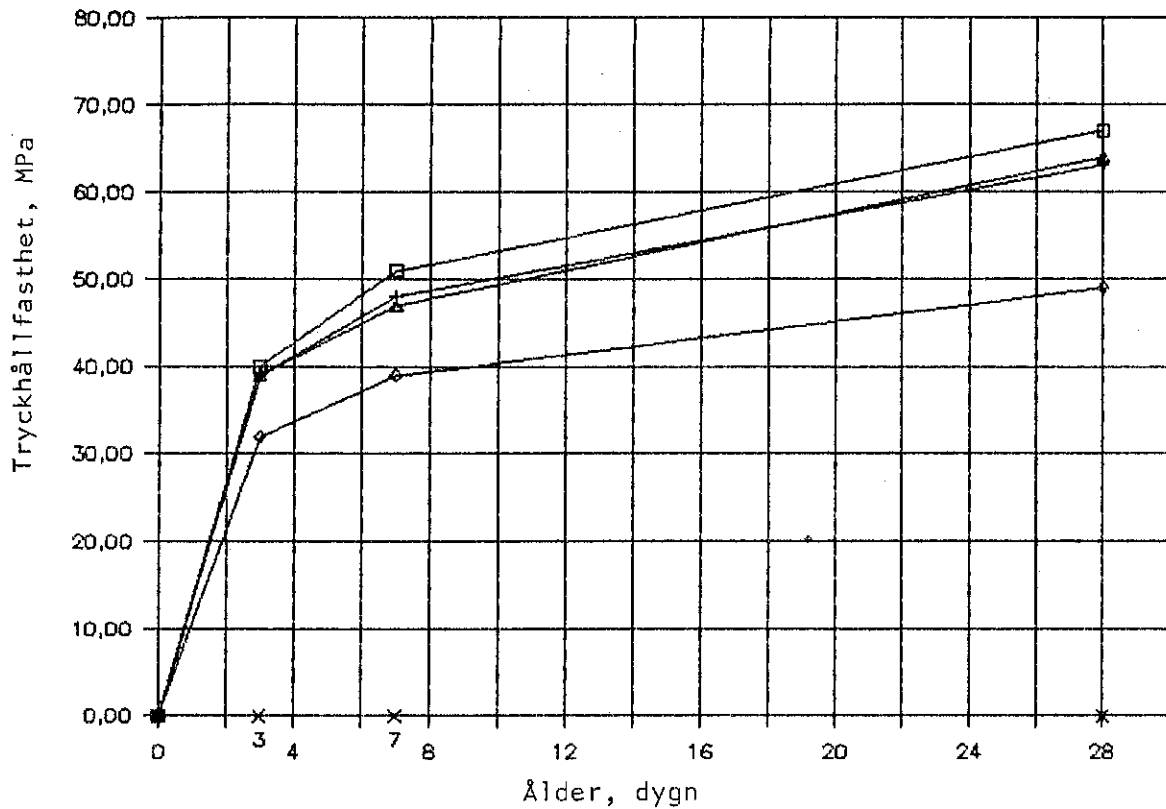
5 PROVNINGSRESULTAT

Vid provningen erhållna värden på densitet och tryckhållfasthet framgår av bilaga 1. I denna redovisas för varje serie om sex provkroppar dels medelvärde (m) och dels standardavvikelsen (s). För betong med ren portlandcement återfinns resultaten i bilaga 1, tabell 1.1 och för betong med silikastoft i bilaga 1, tabell 1.2. I figur 5.1 åskådliggörs resultaten från de fyra ländernas metoder för betong med portlandcement och avsedd hållfasthet 60 MPa. Ett exempel för betong med silikastoft och avsedd hållfasthet 60 MPa återfinns i figur 5.2. Liknande diagram för varje kombination av betongtyp och hållfasthet finns i bilaga 2.



□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
+ enligt Finsk Standard Δ enligt Norsk Standard

Figur 5.1 Tryckhållfasthet, betong med portlandcement och avsedd hållfasthet 60 MPa

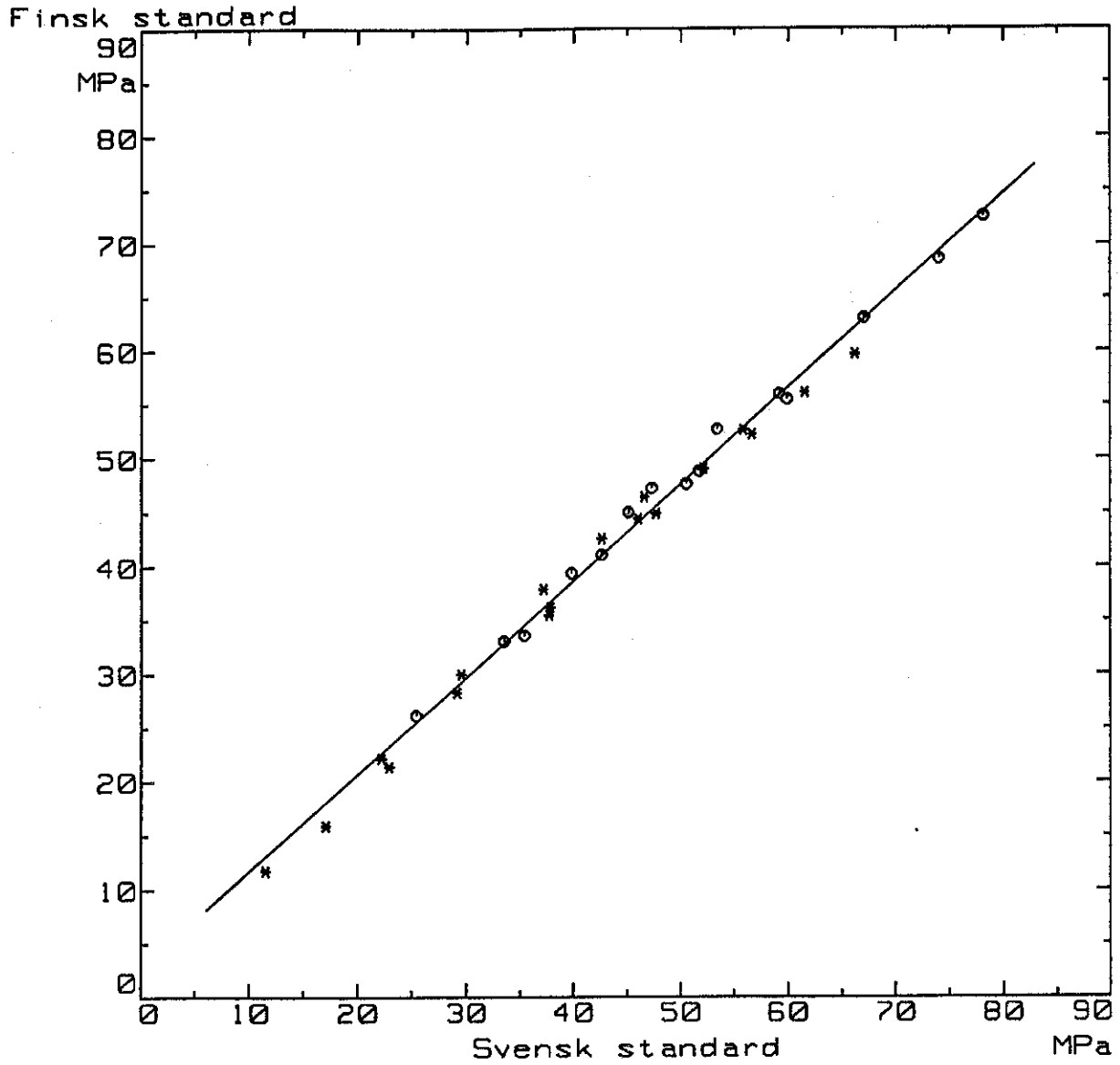


□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
+ enligt Finsk Standard Δ enligt Norsk Standard

Figur 5.2 Tryckhållfasthet, betong med silikastoft och avsedd hållfasthet 60 MPa

Sambandet mellan resultaten från två länders metoder visas var för sig i figur 5.3-5.8. I diagrammen är samtliga resultat från två betongtyper, tre åldrar och sex respektive fem hållfastheter markerade. Sammanslagningen av de två betongtyperna var möjlig i och med att skillnaderna var små mellan resultaten. I varje diagram har den rätta linje ritats in som bäst ansluter sig till resultaten.

I figurerna 5.9-5.20 visas, på samma sätt som i figurerna 5.3-5.8, sambandet mellan två länders resultat. Betong med portlandcement redovisas i figurerna 5.9-5.14 och betong med silikastoft i figurerna 5.15-5.20. I varje diagram redovisas resultaten från 3, 7 och 28 dygn med rätta linjer. Vi har valt att approximera punkterna med rätta linjer istället för med kurvanpassning.

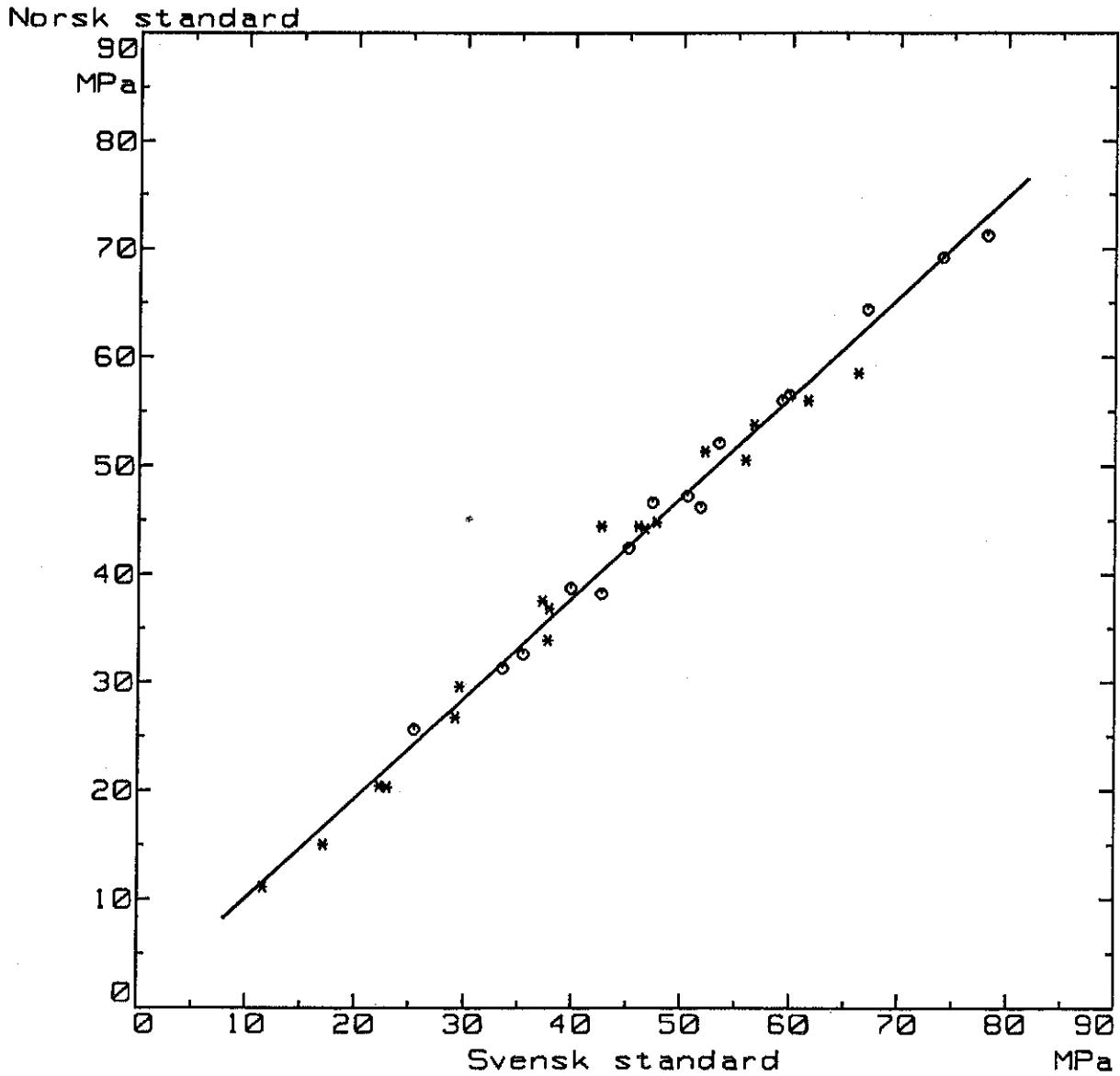


* betong med portlandcement
o betong med silikastoft

Figur 5.3 Samband mellan Svensk Standard (SS) och Finsk Standard (FS).

Den räta linjens ekvation är $FS = 2,52 + 0,90 \cdot SS$.

Korrelationskoefficienten är 0,996

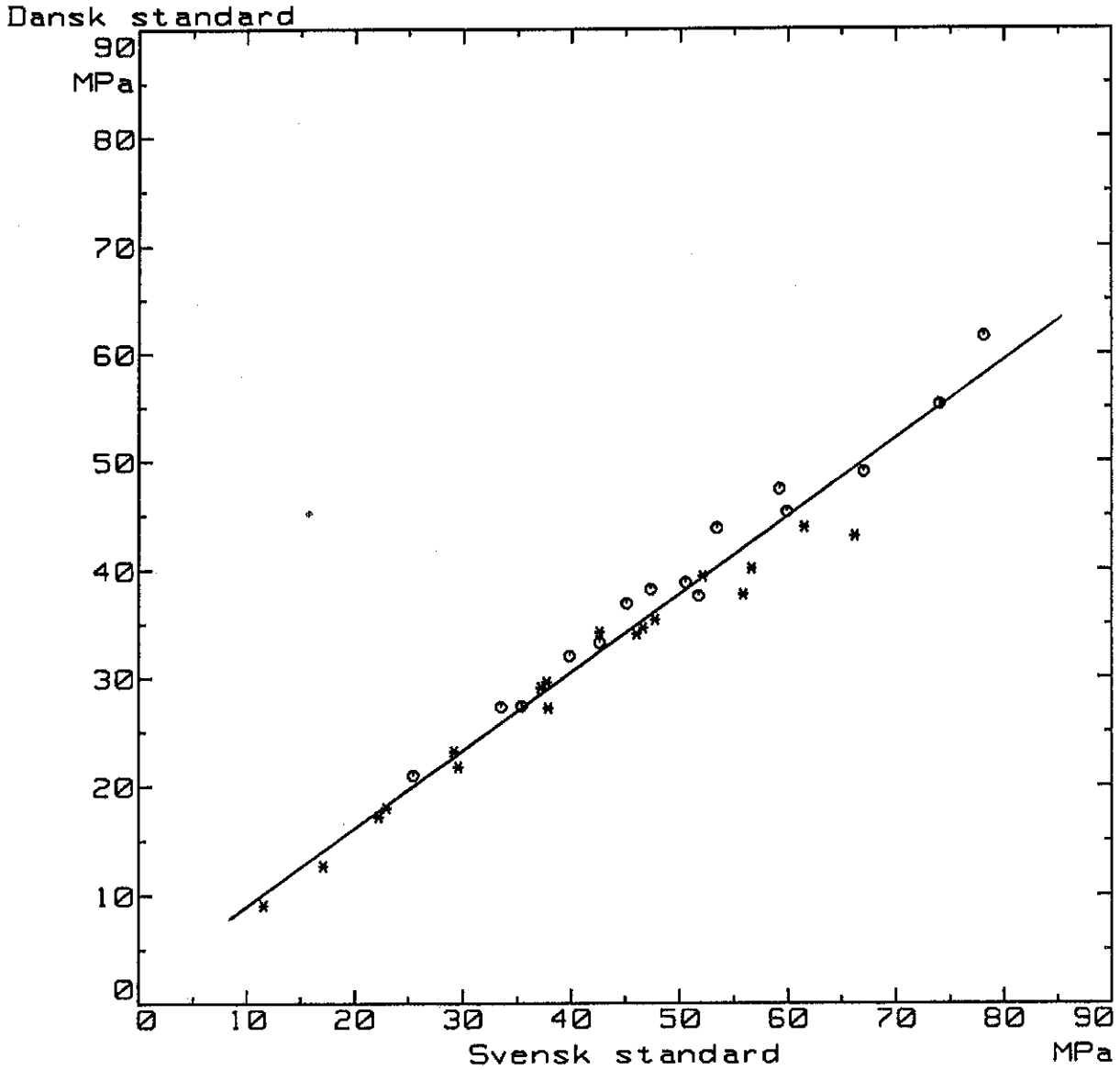


* betong med portlandcement
o betong med silikastoft

Figur 5.4 Samband mellan Svensk Standard (SS) och Norsk Standard (NS).

Den räta linjens ekvation är $NS = 0,97 + 0,92 \cdot SS$.

Korrelationskoefficienten är 0,994

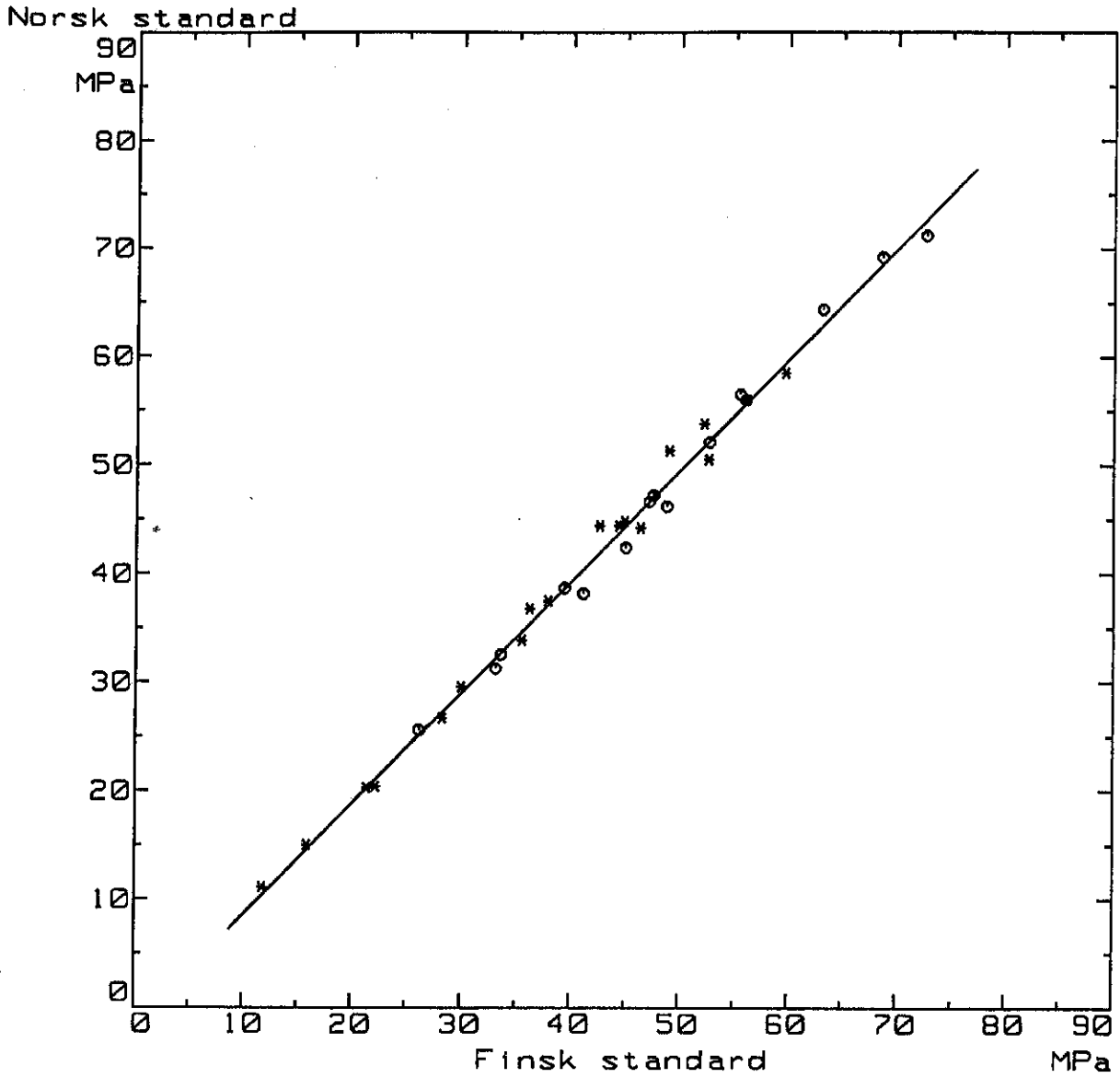


* betong med portlandcement
o betong med silikastoft

Figur 5.5 Samband mellan Svensk Standard (SS) och Dansk Standard (DS).

Den räta linjens ekvation är $DS = 1,78 + 0,72 \cdot SS$.

Korrelationskoefficienten är 0,984

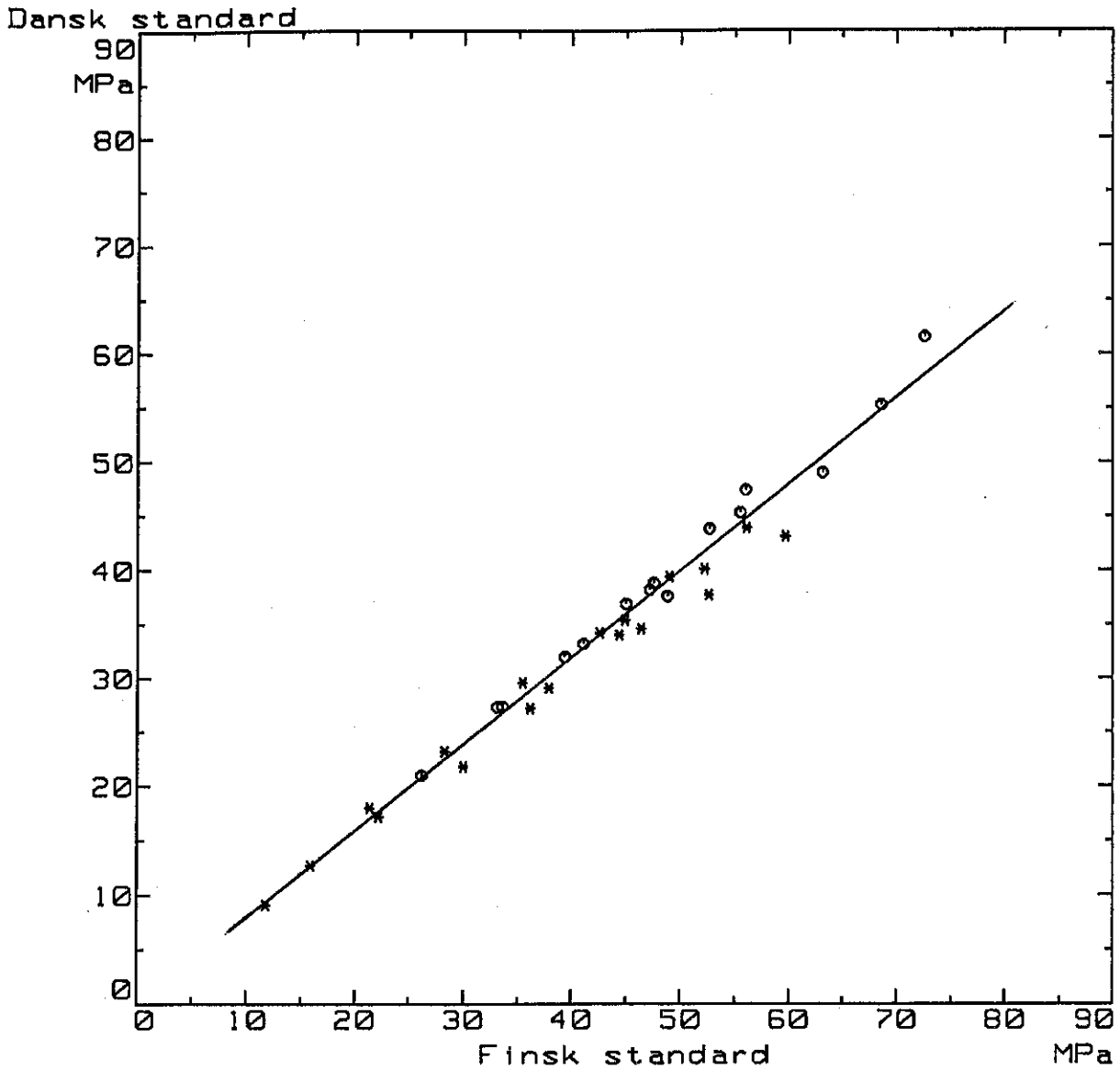


* betong med portlandcement
o betong med silikastoft

Figur 5.6 Samband mellan Finsk Standard (FS) och Norsk Standard (NS).

Den räta linjens ekvation är $NS = -1,58 + 1,02 \cdot FS$.

Korrelationskoefficienten är 0,996

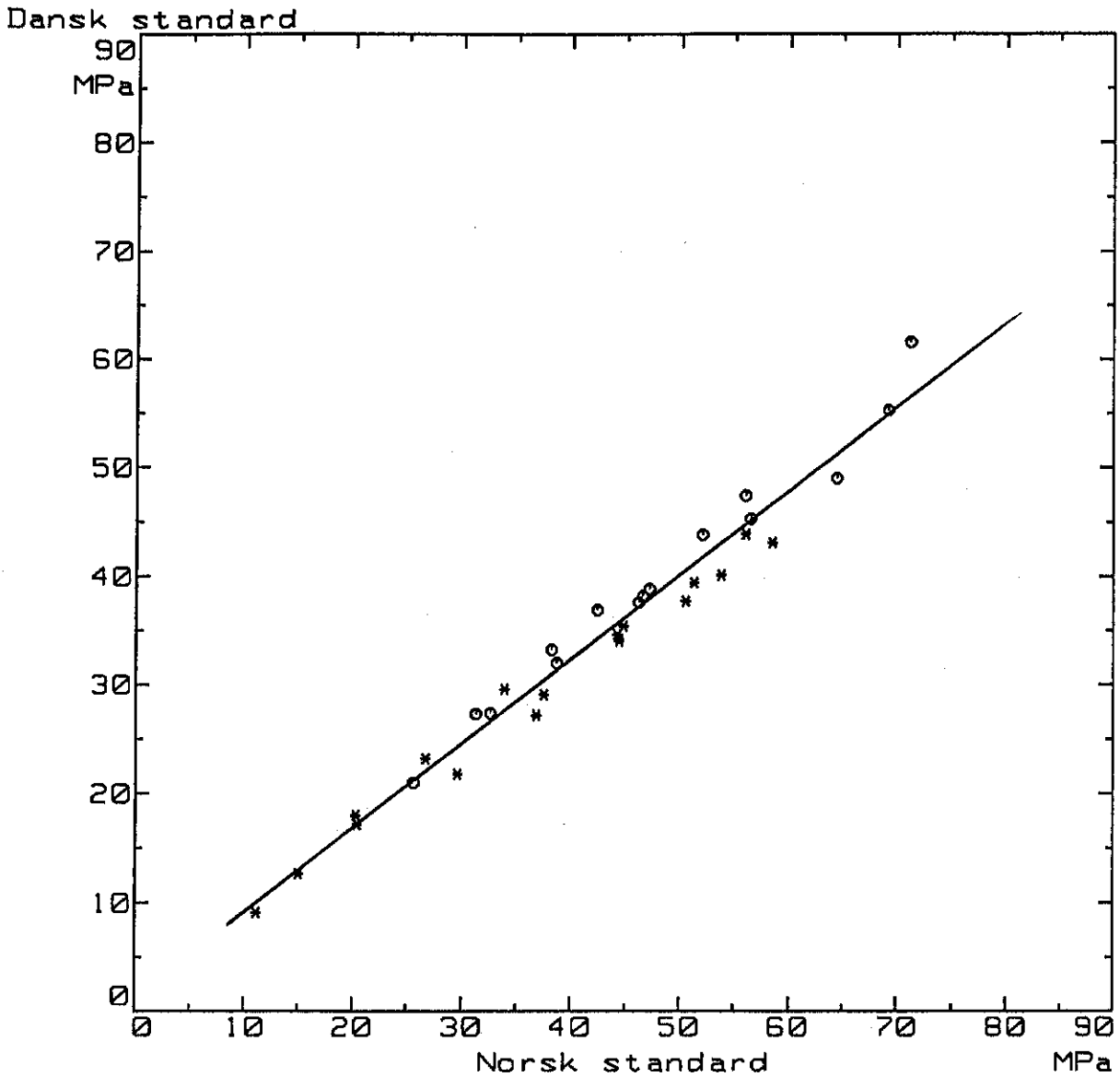


* betong med portlandcement
o betong med silikastoft

Figur 5.7 Samband mellan Finsk Standard (FS) och Dansk Standard (DS).

Den räta linjens ekvation är $DS = -0,29 + 0,80 \cdot FS$.

Korrelationskoefficienten är 0,989

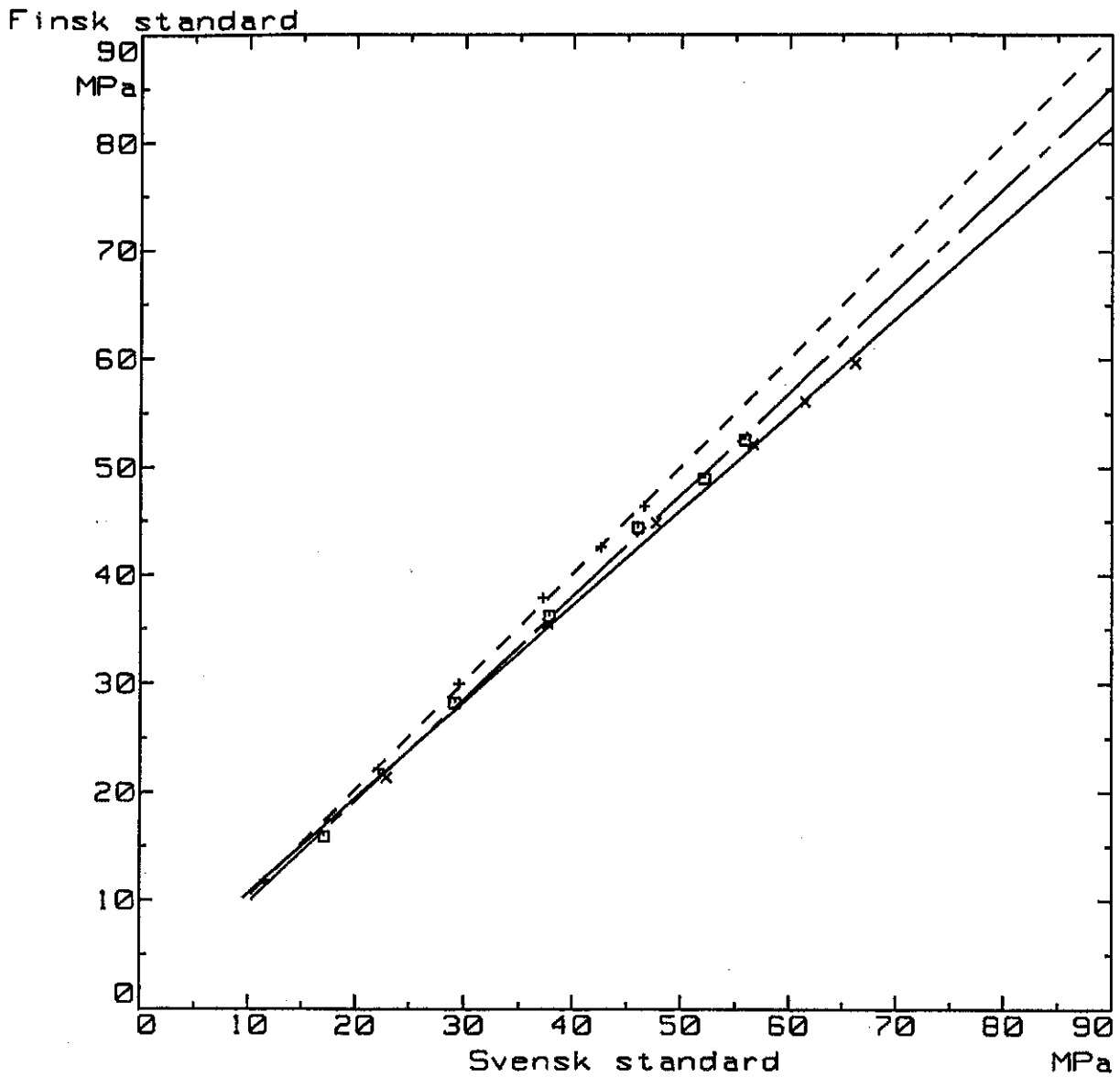


* betong med portlandcement
o betong med silikastoft

Figur 5.8 Samband mellan Norsk Standard (NS) och Dansk Standard (DS).

Den räta linjens ekvation är $DS = 1,17 + 0,78 \cdot NS$.

Korrelationskoefficienten är 0,986

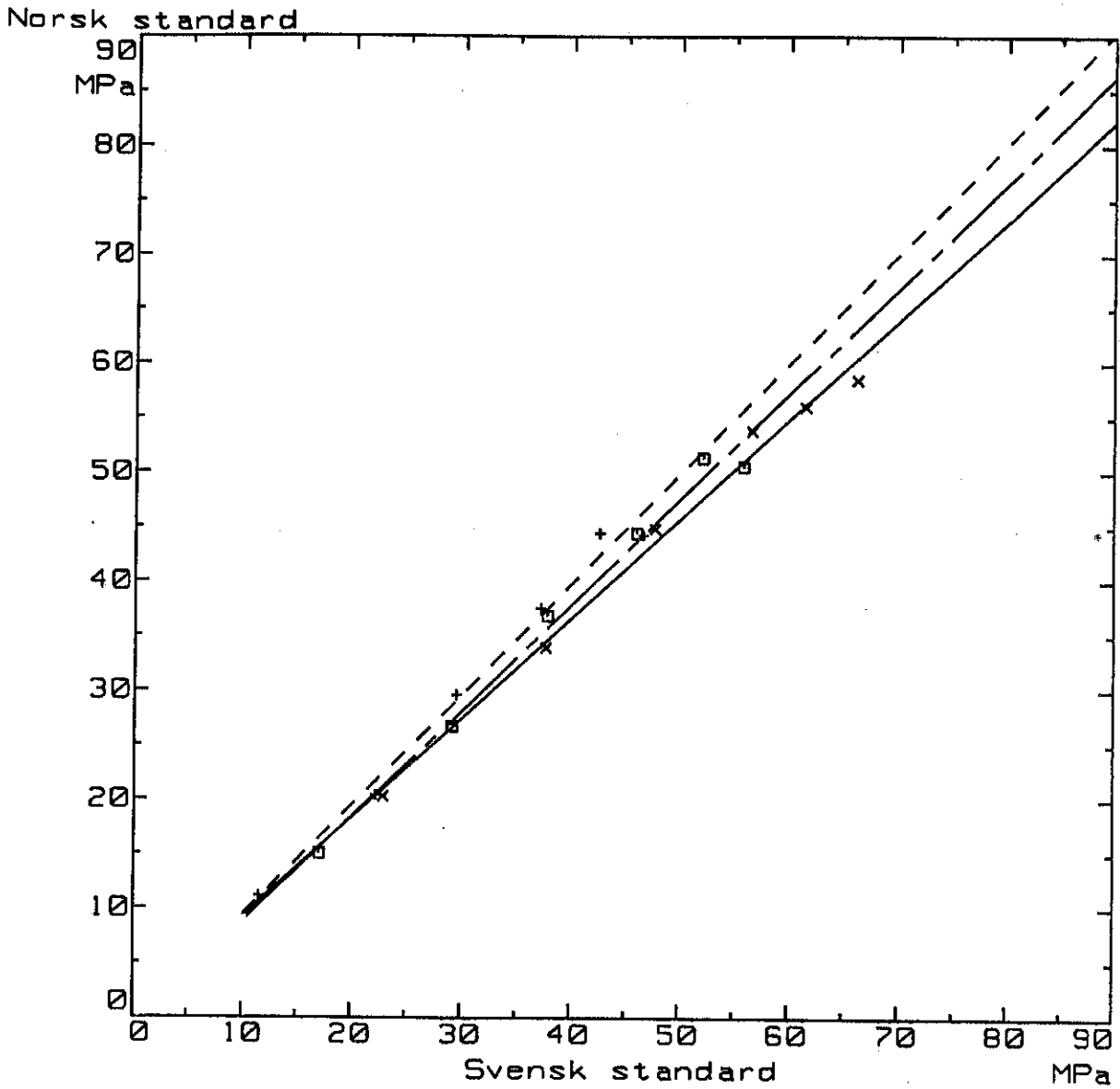


- + ----- provning vid 3 dygn
- -.-.-.- provning vid 7 dygn
- x ----- provning vid 28 dygn

Figur 5.9 Betong med portlandcement. Samband mellan Svensk Standard (SS) och Finsk Standard (FS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$FS = 0,35 + 0,99 \cdot SS$
7 dygn:	$FS = 0,36 + 0,94 \cdot SS$
28 dygn:	$FS = 1,76 + 0,89 \cdot SS$

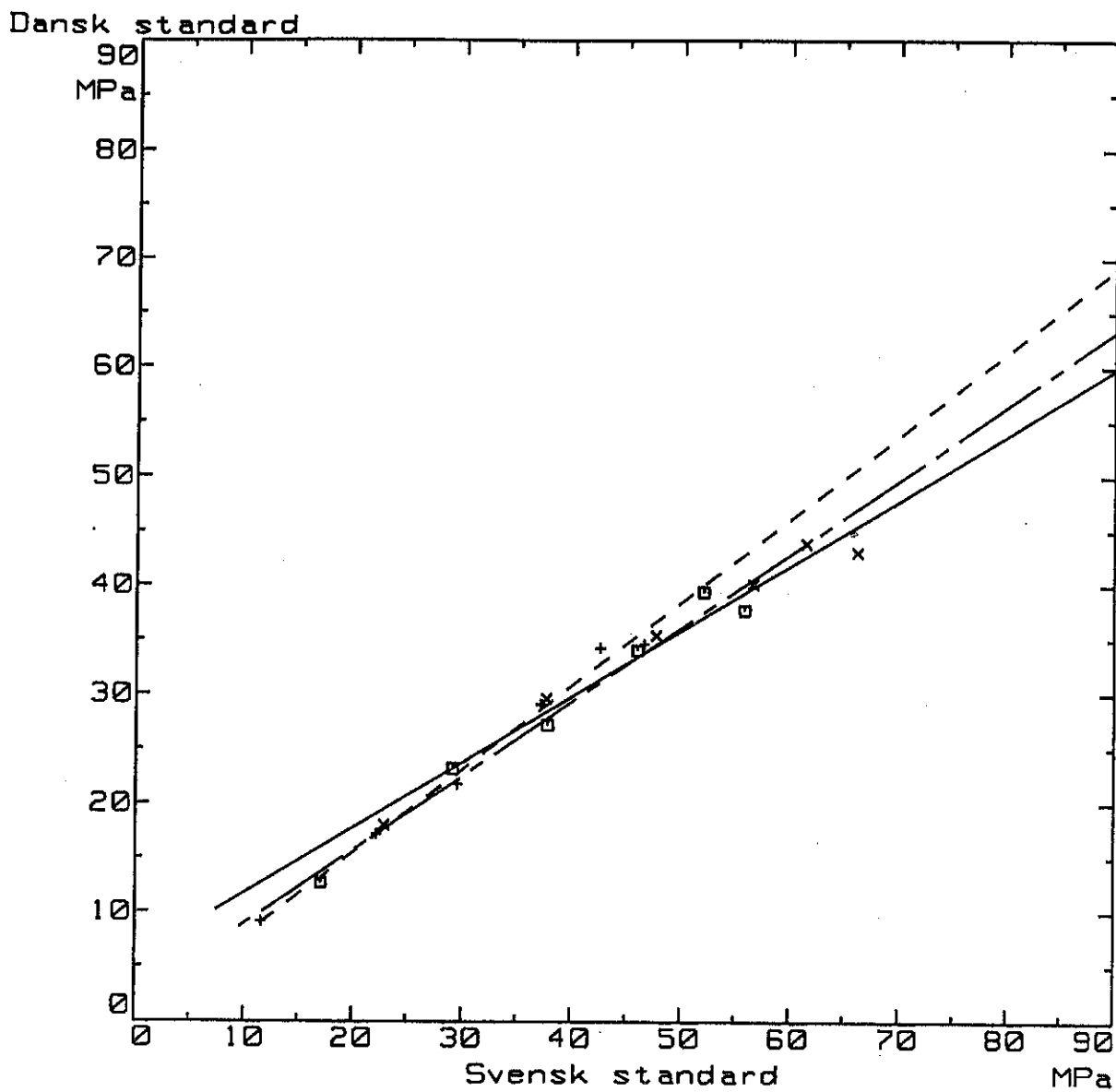


- + ----- provning vid 3 dygn
- -.-.-.- provning vid 7 dygn
- x ----- provning vid 28 dygn

Figur 5.10 Betong med portlandcement. Samband mellan Svensk Standard (SS) och Norsk Standard (NS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$NS = -0,86 + 1,01 \cdot SS$
7 dygn:	$NS = -1,05 + 0,97 \cdot SS$
28 dygn:	$NS = -0,01 + 0,91 \cdot SS$

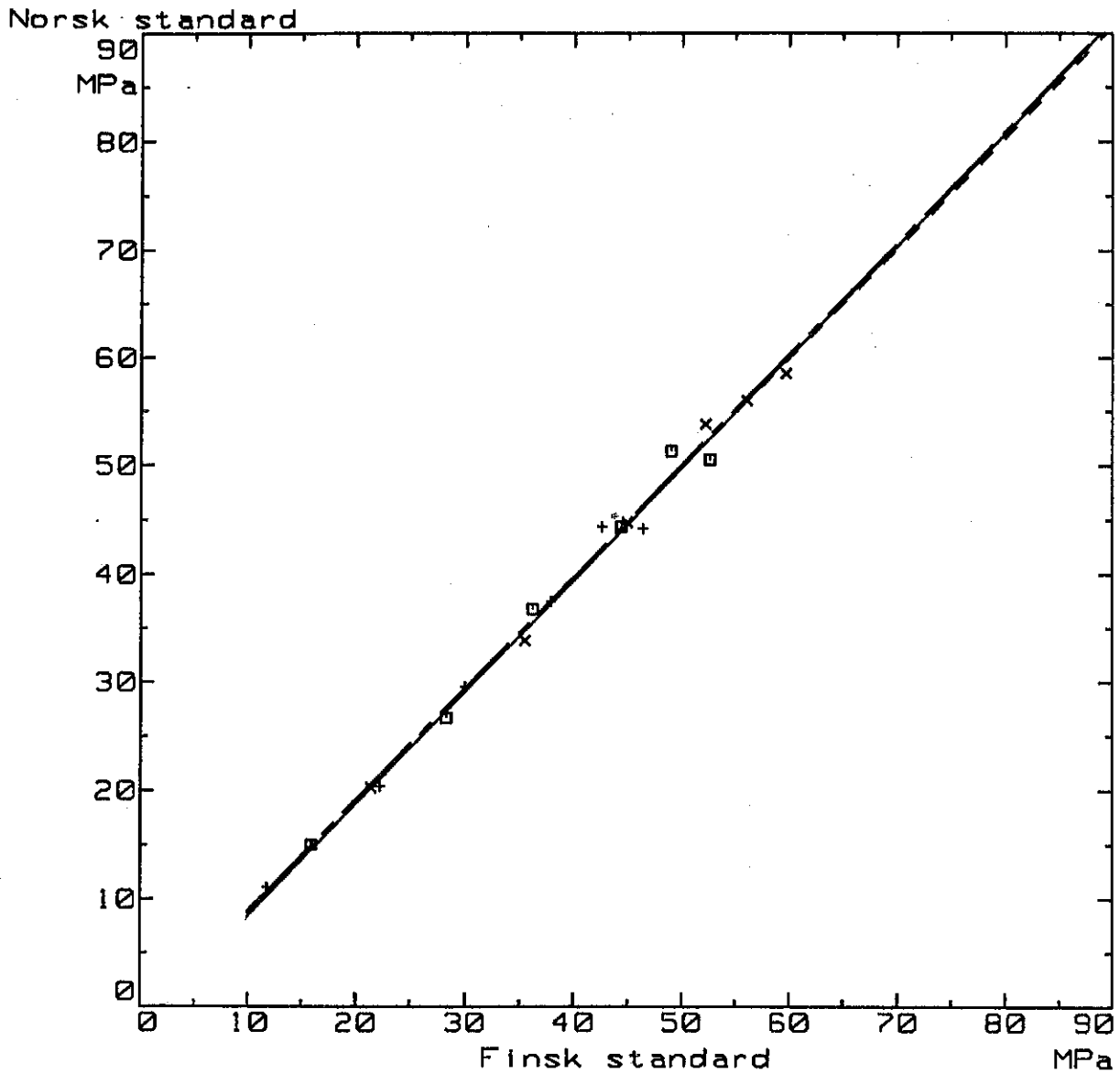


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - . - . provning vid 7 dygn
- x ——— provning vid 28 dygn

Figur 5.11 Betong med portlandcement. Samband mellan Svensk Standard (SS) och Dansk Standard (DS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$DS = 0,12 + 0,77 \cdot SS$
7 dygn:	$DS = 2,08 + 0,68 \cdot SS$
28 dygn:	$DS = 5,70 + 0,60 \cdot SS$

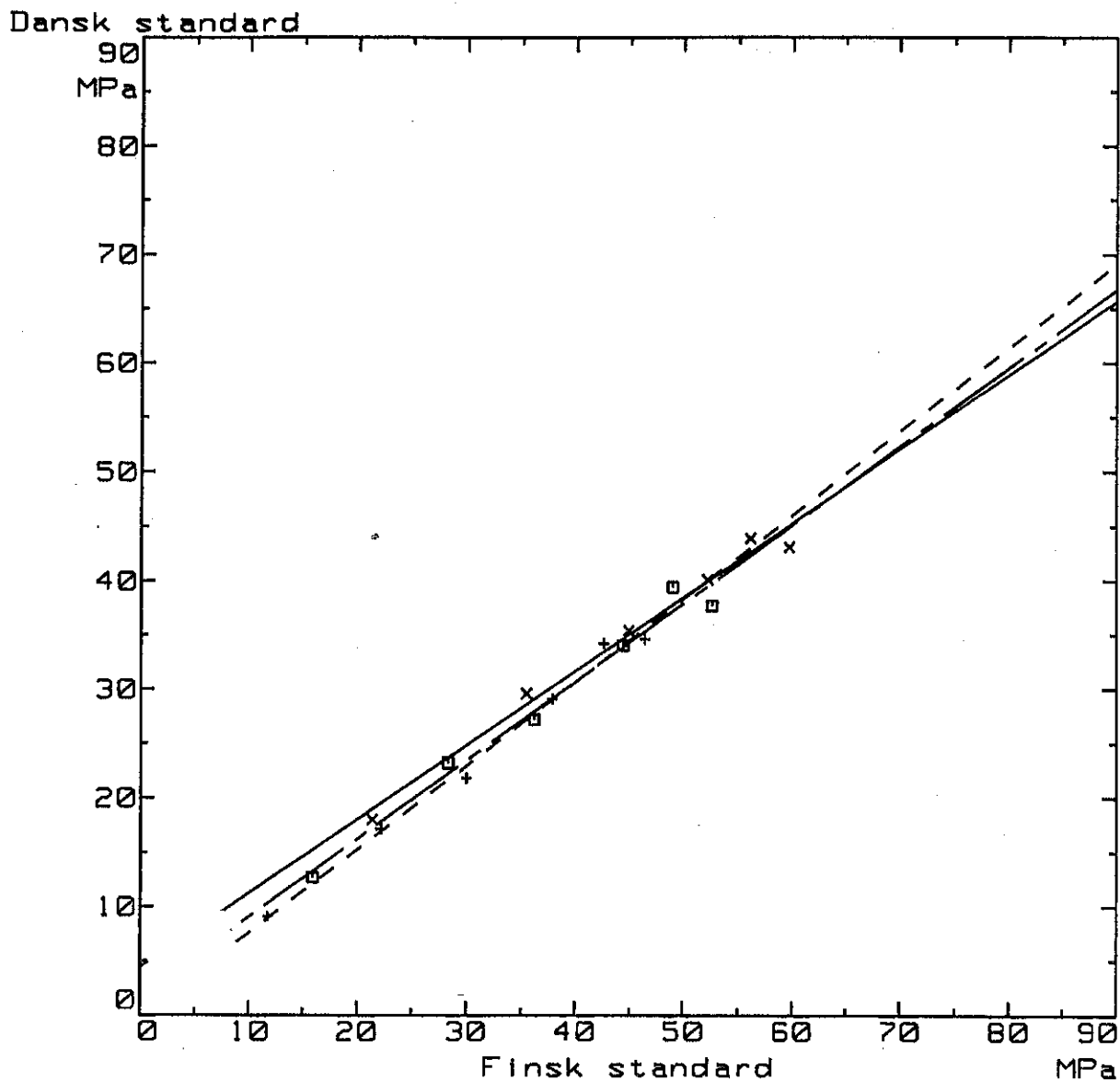


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - . - . provning vid 7 dygn
- x - - - - provning vid 28 dygn

Figur 5.12 Betong med portlandcement. Samband mellan Finsk Standard (FS) och Norsk Standard (NS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$NS = -1,24 + 1,02 \cdot FS$
7 dygn:	$NS = -1,40 + 1,03 \cdot FS$
28 dygn:	$NS = -1,88 + 1,03 \cdot FS$

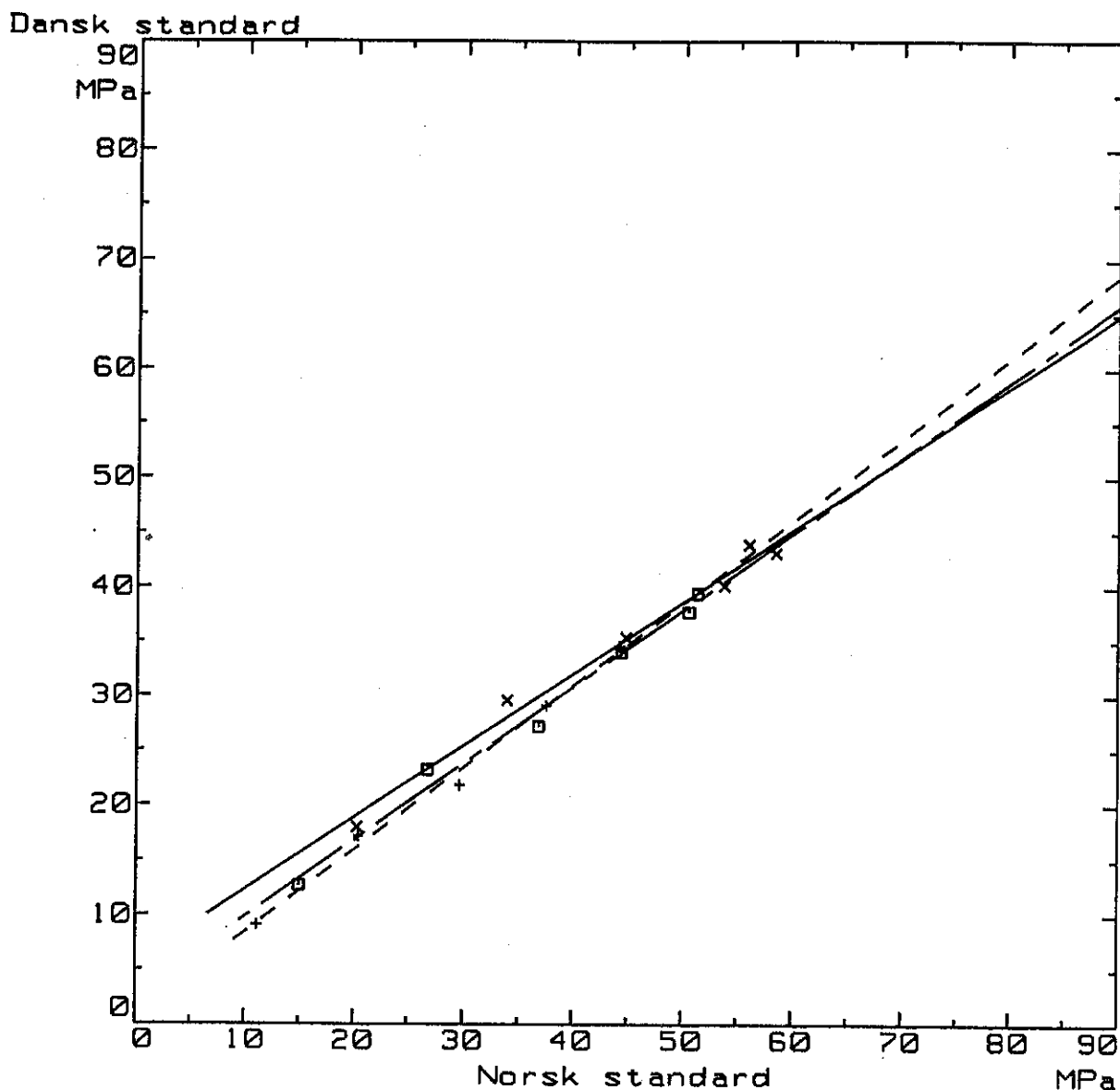


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - . - . provning vid 7 dygn
- x - - - - provning vid 28 dygn

Figur 5.13 Betong med portlandcement. Samband mellan Finsk Standard (FS) och Dansk Standard (DS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$DS = -0,14 + 0,77 \cdot FS$
7 dygn:	$DS = 1,80 + 0,72 \cdot FS$
28 dygn:	$DS = 4,40 + 0,68 \cdot FS$

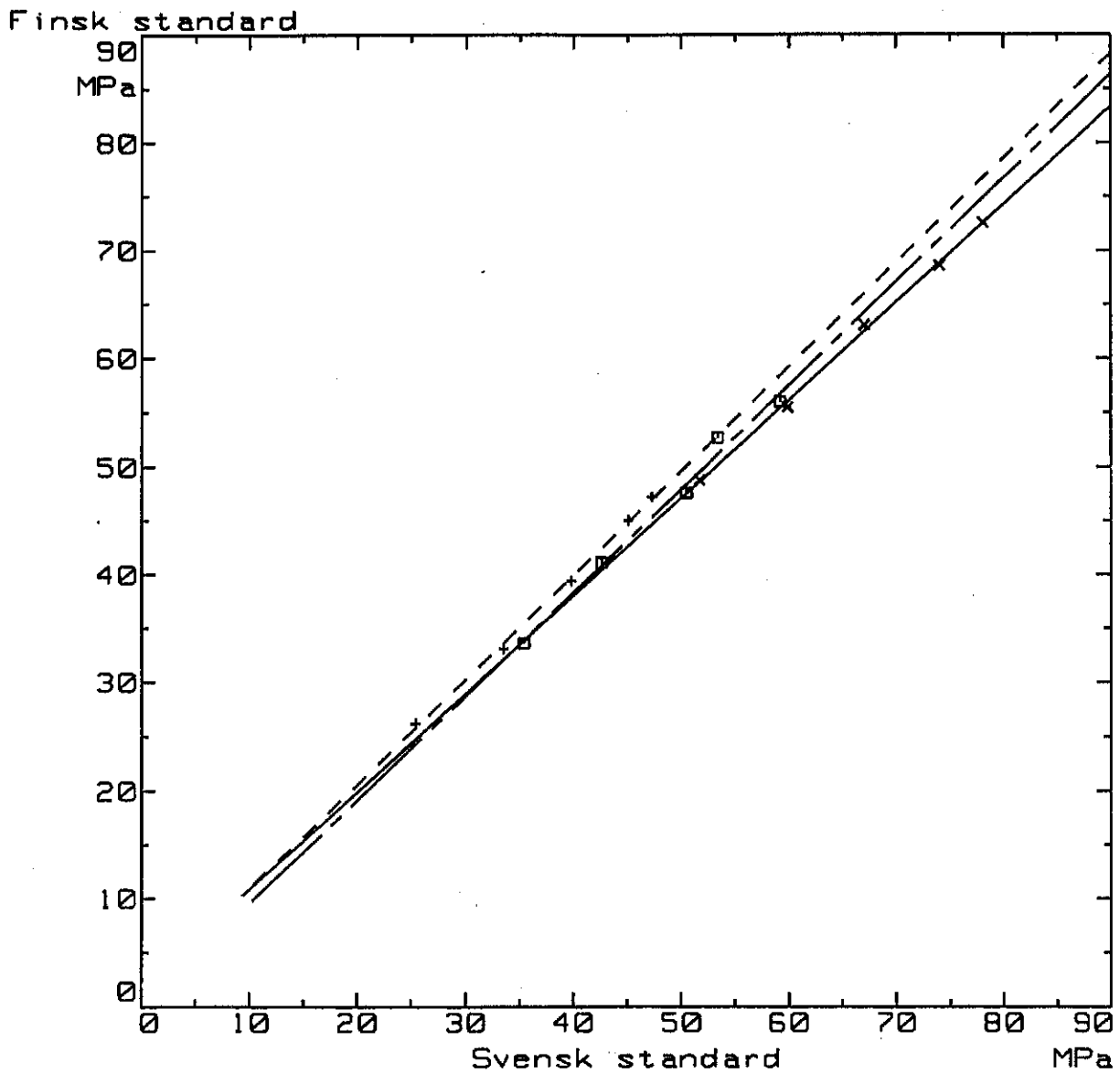


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - · - · provning vid 7 dygn
- x - - - - provning vid 28 dygn

Figur 5.14 Betong med portlandcement. Samband mellan Norsk Standard (NS) och Dansk Standard (DS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$DS = 0,88 + 0,75 \cdot NS$
7 dygn:	$DS = 2,80 + 0,70 \cdot NS$
28 dygn:	$DS = 5,71 + 0,66 \cdot NS$

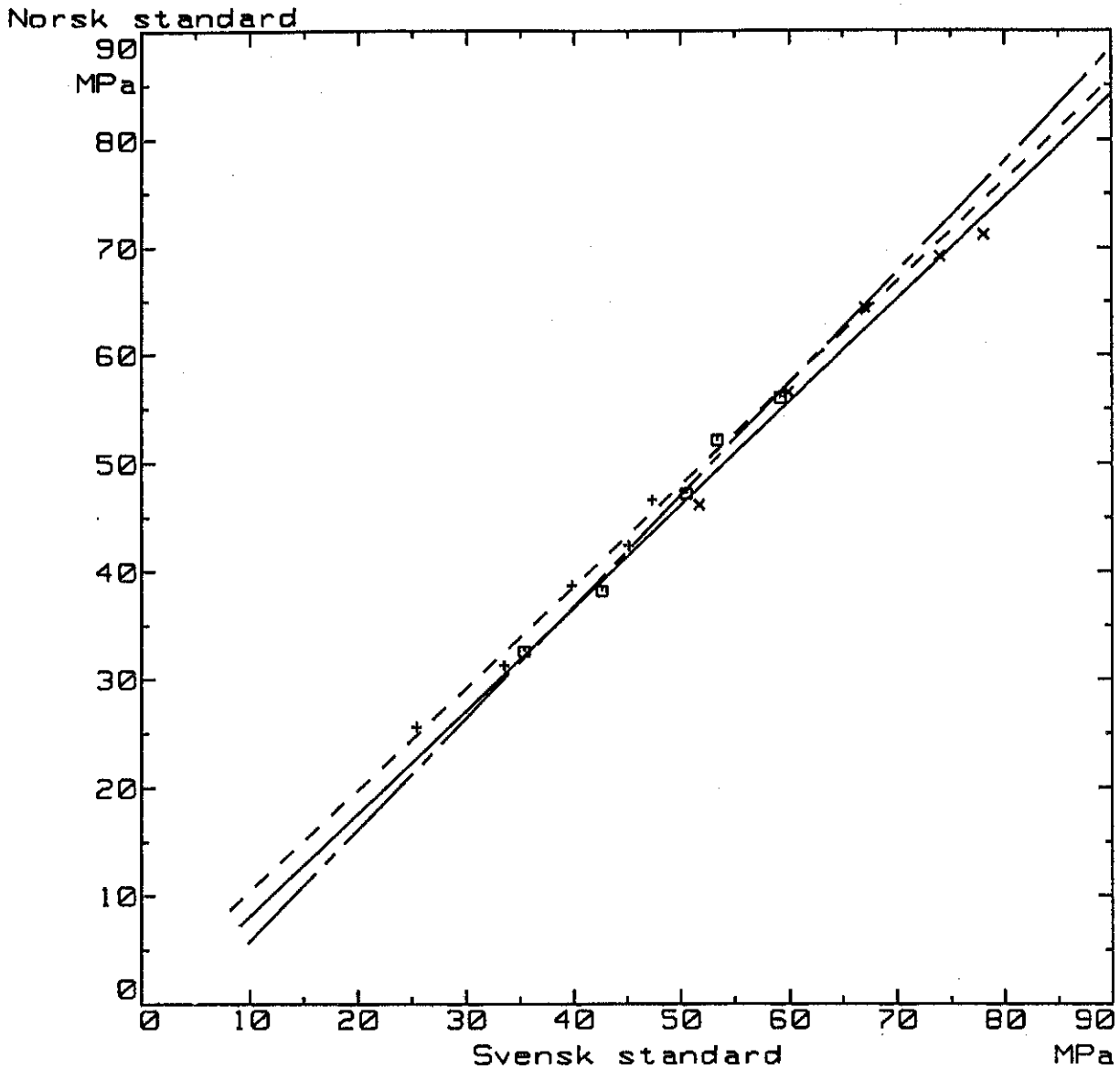


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - . - . provning vid 7 dygn
- x - - - - provning vid 28 dygn

Figur 5.15 Betong med silikastoft. Samband mellan Svensk Standard (SS) och Finsk Standard (FS).

De rätta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$FS = 1,23 + 0,97 \cdot SS$
7 dygn:	$FS = -0,10 + 0,96 \cdot SS$
28 dygn:	$FS = 1,75 + 0,91 \cdot SS$

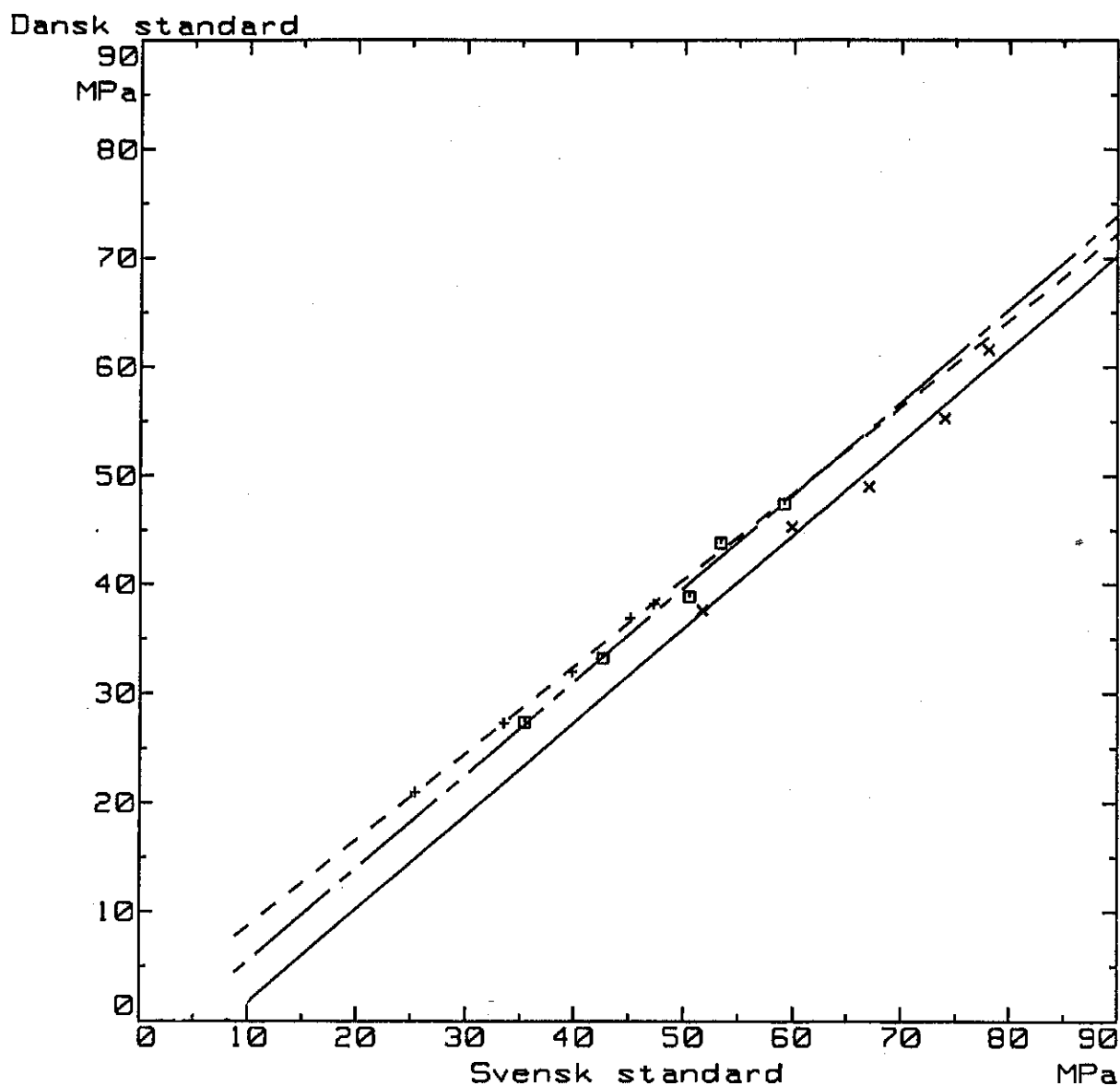


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - . - . provning vid 7 dygn
- x - - - - provning vid 28 dygn

Figur 5.16 Betong med silikastoft. Samband mellan Svensk Standard (SS) och Norsk Standard (NS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$NS = 0,96 + 0,94 \cdot SS$
7 dygn:	$NS = -4,55 + 1,03 \cdot SS$
28 dygn:	$NS = -1,45 + 0,95 \cdot SS$

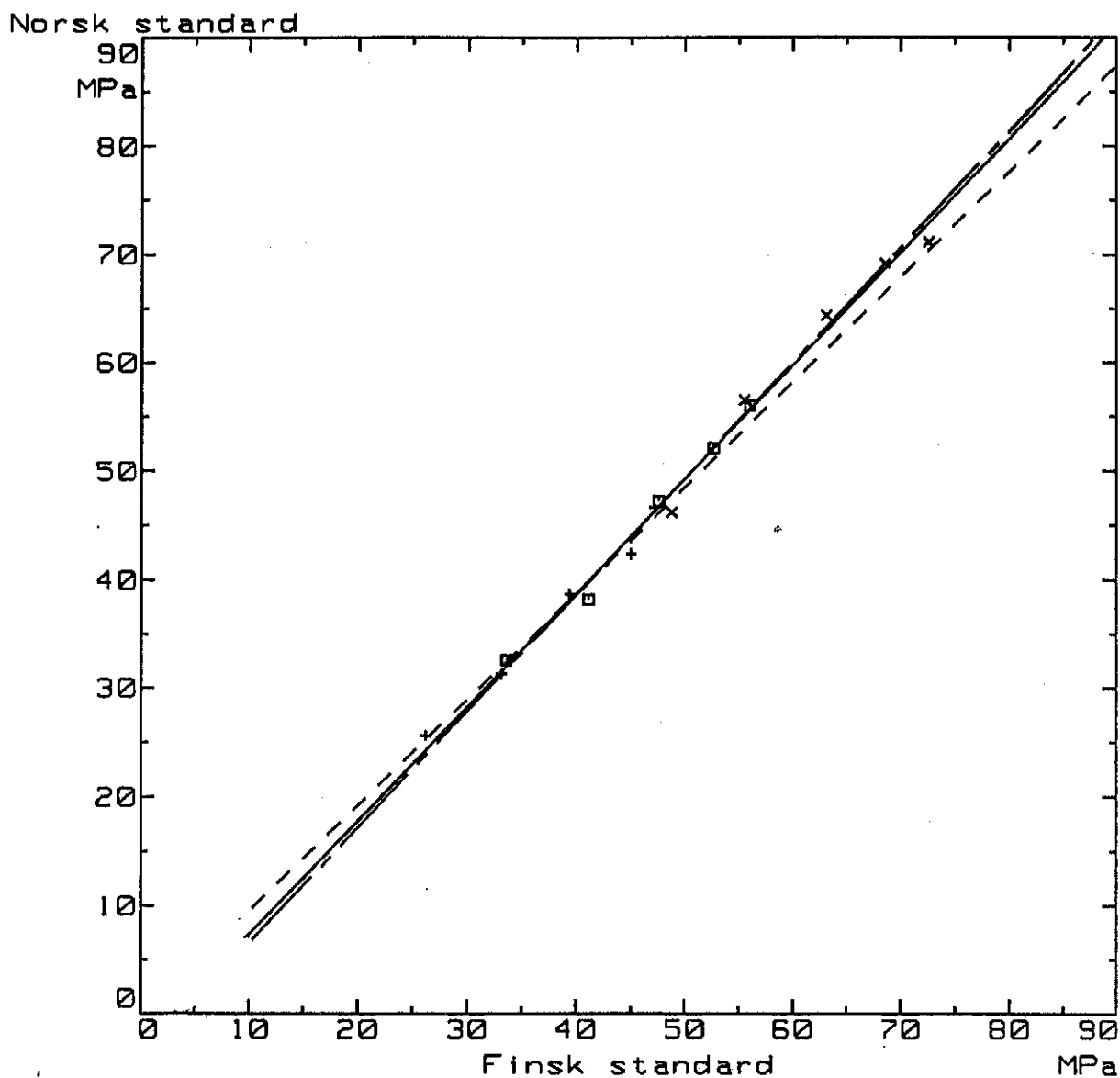


- + ----- provning vid 3 dygn
- - · - · - provning vid 7 dygn
- x ————— provning vid 28 dygn

Figur 5.17 Betong med silikastoft. Samband mellan Svensk Standard (SS) och Dansk Standard (DS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$DS = 0,73 + 0,79 \cdot SS$
7 dygn:	$DS = -3,10 + 0,85 \cdot SS$
28 dygn:	$DS = -6,88 + 0,86 \cdot SS$

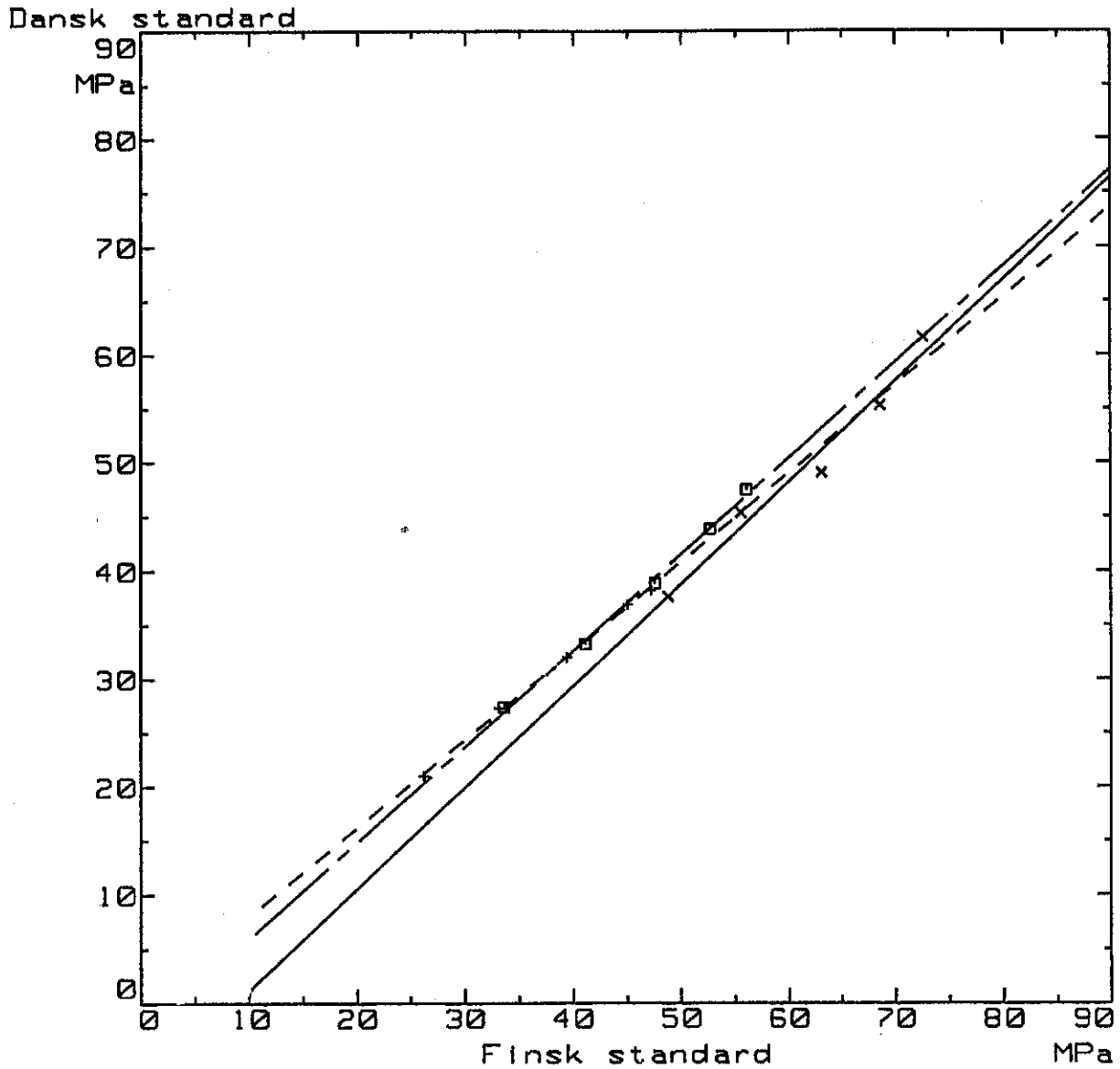


+ ----- provning vid 3 dygn
□ —.— provning vid 7 dygn
x ——— provning vid 28 dygn

Figur 5.18 Betong med silikastoft. Samband mellan Finsk Standard (FS) och Norsk Standard (NS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn: NS = -0,28+0,97.FS
7 dygn: NS = -4,24+1,07.FS
28 dygn: NS = -3,21+1,05.FS

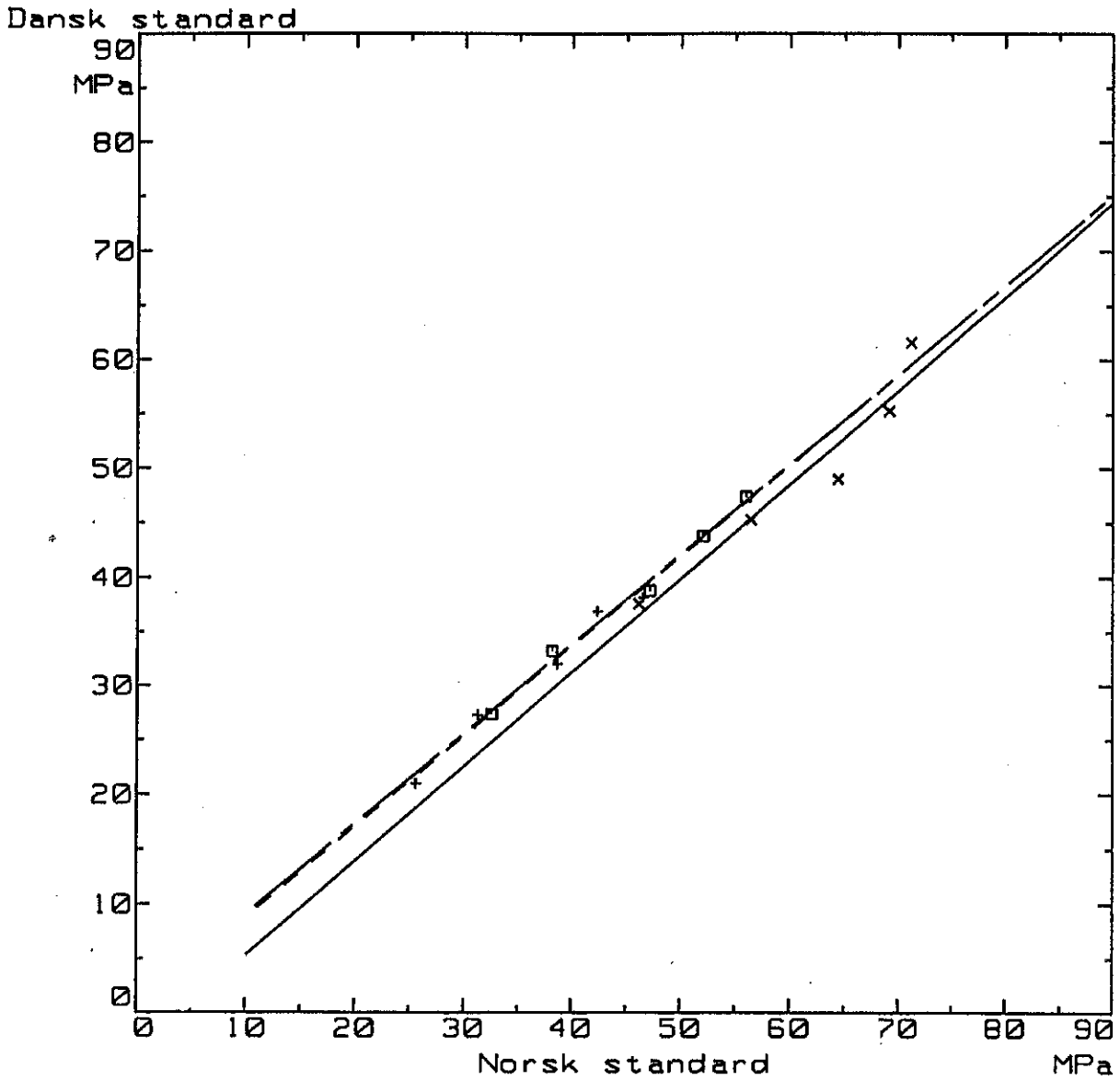


- + - - - - provning vid 3 dygn
- - . - . provning vid 7 dygn
- x - - - - provning vid 28 dygn

Figur 5.19 Betong med silikastoft. Samband mellan Finsk Standard (FS) och Dansk Standard (DS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn:	$DS = -0,24 + 0,82 \cdot FS$
7 dygn:	$DS = -2,96 + 0,89 \cdot FS$
28 dygn:	$DS = -8,24 + 0,94 \cdot FS$



+ ----- provning vid 3 dygn
□ -.-.-.- provning vid 7 dygn
x ----- provning vid 28 dygn

Figur 5.20 Betong med silikastoft. Samband mellan Norsk Standard (NS) och Dansk Standard (DS).

De räta linjernas ekvationer är för provning vid

3 dygn: $DS = 0,45 + 0,83 \cdot NS$
7 dygn: $DS = 0,80 + 0,83 \cdot NS$
28 dygn: $DS = -3,38 + 0,86 \cdot NS$

Belastningshastighetens inverkan

För en hållfasthet per betongtyp provades 150 mm kuber med norsk belastningshastighet. Provkropparna lagrades i vatten med temperatur 20 ± 2 °C fram till provning vid 7 respektive 28 dygn. Avsikten med denna undersökning var att utröna vilken inverkan belastningshastigheten har. I tabell 5.3 redovisas resultaten från provning enligt Finsk och Norsk Standard samt 150 mm kuber tryckta med norsk belastningshastighet.

En ökning av belastningshastigheten från 0,25 till 1,0 MPa/s tycks ge en ökning av hållfastheten på ca 5 %.

Tabell 5.3 Belastningshastighetens inverkan

Avsedd hållfasthet	Ålder	Finsk Standard 150 mm kuber 1 MPa/s	Norsk Standard 100 mm kuber 0,25 MPa/s	150 mm kuber 0,25 MPa/s
--------------------	-------	---	--	----------------------------

Betong med ren portlandcement

60	<u>7 dygn</u>			
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400
	Tryckhållfasthet (MPa), m , s	49,0 2,5	51,3 2,0	47,0 1,9
	<u>28 dygn</u>			
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400
	Tryckhållfasthet (MPa), m , s	56,1 3,2	56,0 5,9	53,9 2,0

Betong med silikastoft

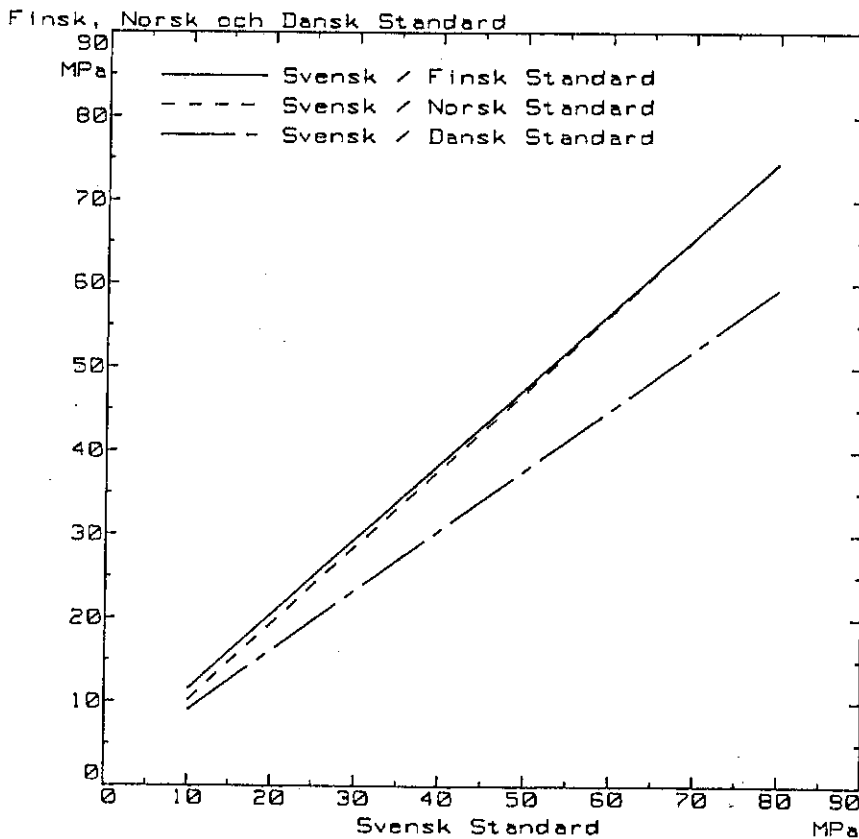
50	<u>7 dygn</u>			
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2350	2400
	Tryckhållfasthet (MPa), m , s	41,1 0,5	38,2 2,9	38,2 1,5
	<u>28 dygn</u>			
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2350
	Tryckhållfasthet (MPa), m , s	55,5 0,7	56,5 1,0	53,1 0,5

6

SLUTSATSER

I de fyra nordiska länderna Sverige, Finland, Norge och Danmark bestäms betongs tryckhållfasthet på olika sätt, vilket framgår av denna rapport. I och med att olika provkroppstyper, lagringssätt och belastningshastigheter föreskrivs i de olika ländernas standarder erhålls resultat som inte är direkt jämförbara. I kapitel 5 redovisas resultaten från de olika ländernas standarder gentemot varandra. Dessa diagram är användbara för att räkna om resultat erhållna med en standard till en annan.

I figur 6.1 visas sambanden för Svensk Standard gentemot Finsk, Norsk och Dansk Standard. Samband mellan hållfastheten hos våt cylinder och torr kub har studerats tidigare av Petersons (1964) och Hellström (1977) ¹⁾. Deras resultat kan jämföras med sambandet mellan Svensk Standard och Dansk Standard enligt denna rapport. Resultaten från de tre undersökningarna visar god överensstämmelse.



Figur 6.1 Samband mellan hållfastheten för Svensk Standard gentemot Finsk, Norsk och Dansk Standard

1) Referens: Betonghandboken, materialdelen, avsnitt 8.3.3.2.3. Hållfasthet, Provkroppens temperatur- och fukttillstånd, Svensk Byggtjänst, pp 231-232, Stockholm 1982.

I bilaga 1, tabell 1.1 och 1.2, redovisas samtliga resultat erhållna från provningar. För en del kombinationer av betongtyp och hållfasthet är standardavvikelsen för betongens tryckhållfasthet hög. Orsaken till detta kan vara att provkropparna kom från två skilda betongsatser samt att betongsammansättningar med hög bindemedelshalt medförde en svårbearbetbar betong. Detta medförde problem framförallt för kuber med sidlängd 100 mm och för cylindrar.

Betong med silikastoft har en kraftigare hållfasthetsökning mellan 7 och 28 dygn än betong med ren portlandcement.

Enligt Svensk Standard bestäms hållfastheten vid 3 dygn på våta provkroppar och vid 7 och 28 dygn på torra. Enligt Finsk, Norsk och Dansk Standard bestäms hållfastheten på våta provkroppar vid samtliga åldrar. I diagrammen 5.9-5.11 för betong med portlandcement framgår att lagringssättet och provkroppens fuktinnehåll inverkar på hållfastheten. Detta innebär att skillnaden är större mellan torr och våt provkropp vid 28 dygn än vid 3 och 7 dygn. Inget i resultaten tyder på att betong med silikastoft skulle vara mer känslig för uttorkning än betong med ren portlandcement som bindemedel.

I kapitel 5.2 redovisas resultaten från en mindre undersökning av belastningshastighetens inverkan. Denna undersökning är inte tillräckligt omfattande för att man skall kunna dra några säkra slutsatser. Resultaten tyder dock på att erhållen hållfasthet med belastningshastigheten 1 MPa/s ger ca 5 % högre hållfasthet än med belastningshastigheten 0,25 MPa/s.

Tabell 1.1 Provningsresultat för betong med portland-
cement. Densiteten är angiven med tiotalssiff-
ran avrundad till 0 eller 5.

Avsedd håll- fast- het	Ålder	Svensk Stan- dard	Finsk Stan- dard	Norsk Stan- dard	Dansk Stan- dard
20	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2350	2350
	Tryck- (MPa), m	11,6	11,8	11,1	9,1
	hållfasthet , s	0,8	0,5	0,4	0,5
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2300	2300	2350	2350
	Tryck- (MPa), m	17,1	15,9	15,0	12,7
	hållfasthet , s	1,0	0,5	0,5	0,4
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2300	2350	2350	2350
	Tryck- (MPa), m	22,9	21,4	20,3	18,0
	hållfasthet , s	1,0	1,0	0,3	0,6
30	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2350	2400
	Tryck- (MPa), m	22,2	22,2	20,4	17,2
	hållfasthet , s	0,8	0,6	1,5	0,6
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2350	2400
	Tryck- (MPa), m	29,1	28,3	26,7	23,2
	hållfasthet , s	1,1	0,9	1,1	0,9
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2350	2400
	Tryck- (MPa), m	37,7	35,5	33,9	29,6
	hållfasthet , s	1,2	0,6	1,5	1,5

Avsedd håll- fast- het	Alder	Svensk Stan- dard	Finsk Stan- dard	Norsk Stan- dard	Dansk Stan- dard
40	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2350
	Tryck- (MPa), m hållfasthet , s	29,5 0,7	30,0 0,9	29,6 0,8	21,8 1,1
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2350
	Tryck- (MPa), m hållfasthet , s	37,8 1,1	36,2 1,8	36,8 0,9	27,2 1,9
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2400
	Tryck- (MPa), m hållfasthet , s	47,7 1,5	44,9 1,6	44,8 1,2	35,4 0,7
50	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m hållfasthet , s	37,2 1,7	37,9 1,4	37,5 2,0	29,1 1,1
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m hållfasthet , s	46,0 1,2	44,4 0,6	44,4 1,5	34,0 0,8
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2350	2400
	Tryck- (MPa), m hållfasthet , s	56,6 0,9	52,2 1,5	53,8 2,6	40,1 3,4

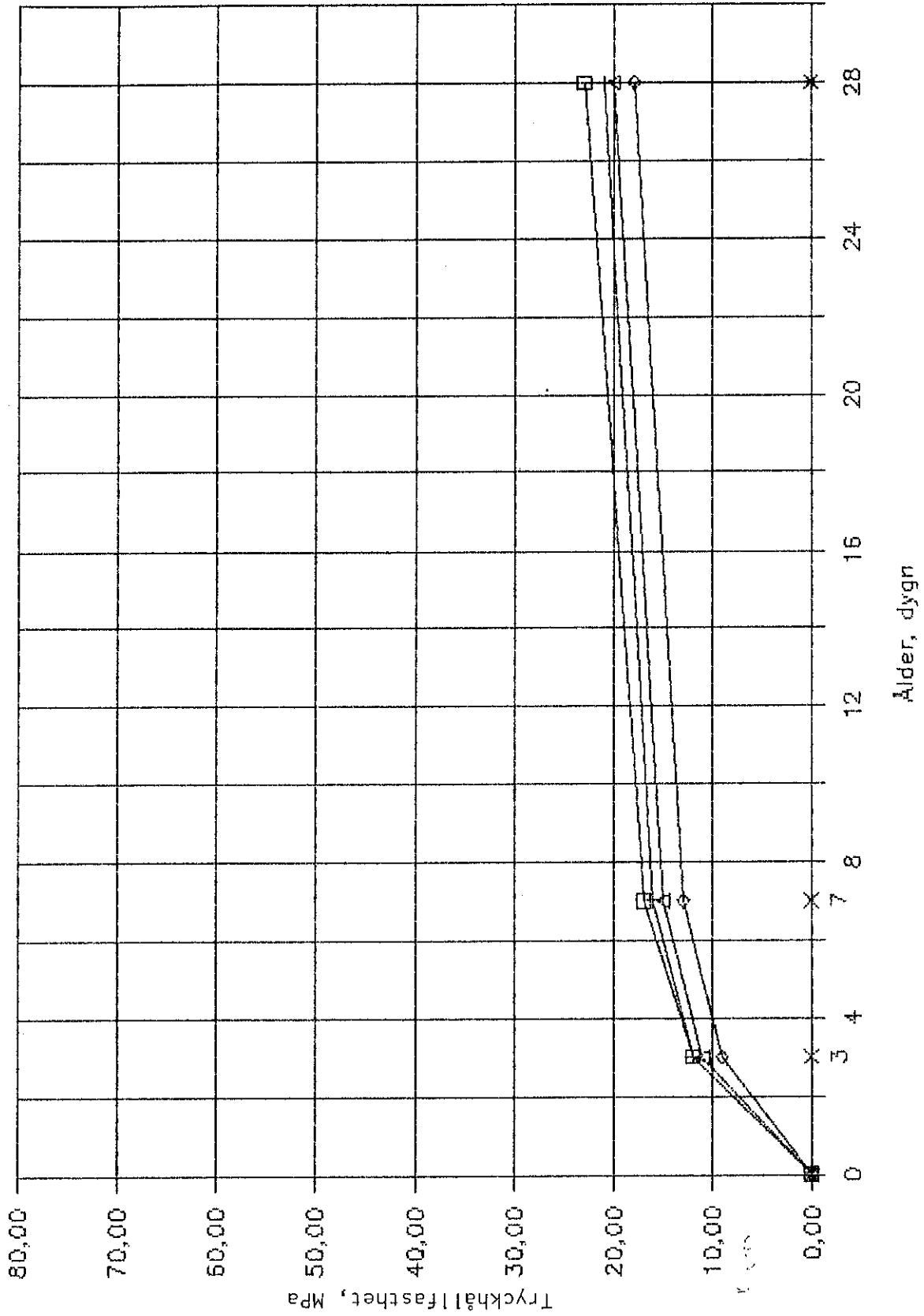
Avsedd håll- fast- het	Ålder	Svensk Stan- dard	Finsk Stan- dard	Norsk Stan- dard	Dansk Stan- dard
60	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	42,6	42,6	44,4	34,2
	hållfasthet , s	1,7	1,6	2,2	2,3
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	52,1	49,0	51,3	39,4
	hållfasthet , s	1,9	2,5	2,0	1,0
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	61,5	56,1	56,0	43,9
	hållfasthet , s	1,2	3,2	5,9	3,8
70	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	46,6	46,4	44,2	34,6
	hållfasthet , s	1,6	1,1	3,6	2,1
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	55,8	52,6	50,5	37,7
	hållfasthet , s	1,5	0,8	6,0	1,9
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	66,2	59,7	58,5	43,1
	hållfasthet , s	2,0	0,7	4,8	1,4

Tabell 1.2 Provningsresultat för betong med silikastoft.
Densiteten är angiven med tiotalssiffran av-
rundad till 0 eller 5

Avsedd håll- fast- het	Ålder	Svensk Stan- dard	Finsk Stan- dard	Norsk Stan- dard	Dansk Stan- dard
40	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2350
	Tryck- (MPa), m	25,4	26,2	25,6	21,0
	hållfasthet , s	1,0	1,0	1,2	1,5
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2350	2400
	Tryck- (MPa), m	35,4	33,6	32,6	27,4
	hållfasthet , s	1,2	1,0	2,2	1,7
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2350	2350
	Tryck- (MPa), m	51,7	48,8	46,2	37,6
	hållfasthet , s	1,2	1,5	2,2	3,7
50	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2350	2400
	Tryck- (MPa), m	33,5	33,1	31,3	27,3
	hållfasthet , s	0,4	0,5	3,6	1,8
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2350	2400
	Tryck- (MPa), m	42,6	41,1	38,2	33,2
	hållfasthet , s	0,7	0,5	2,9	1,0
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	59,9	55,5	56,5	45,3
	hållfasthet , s	0,9	0,7	1,0	2,1

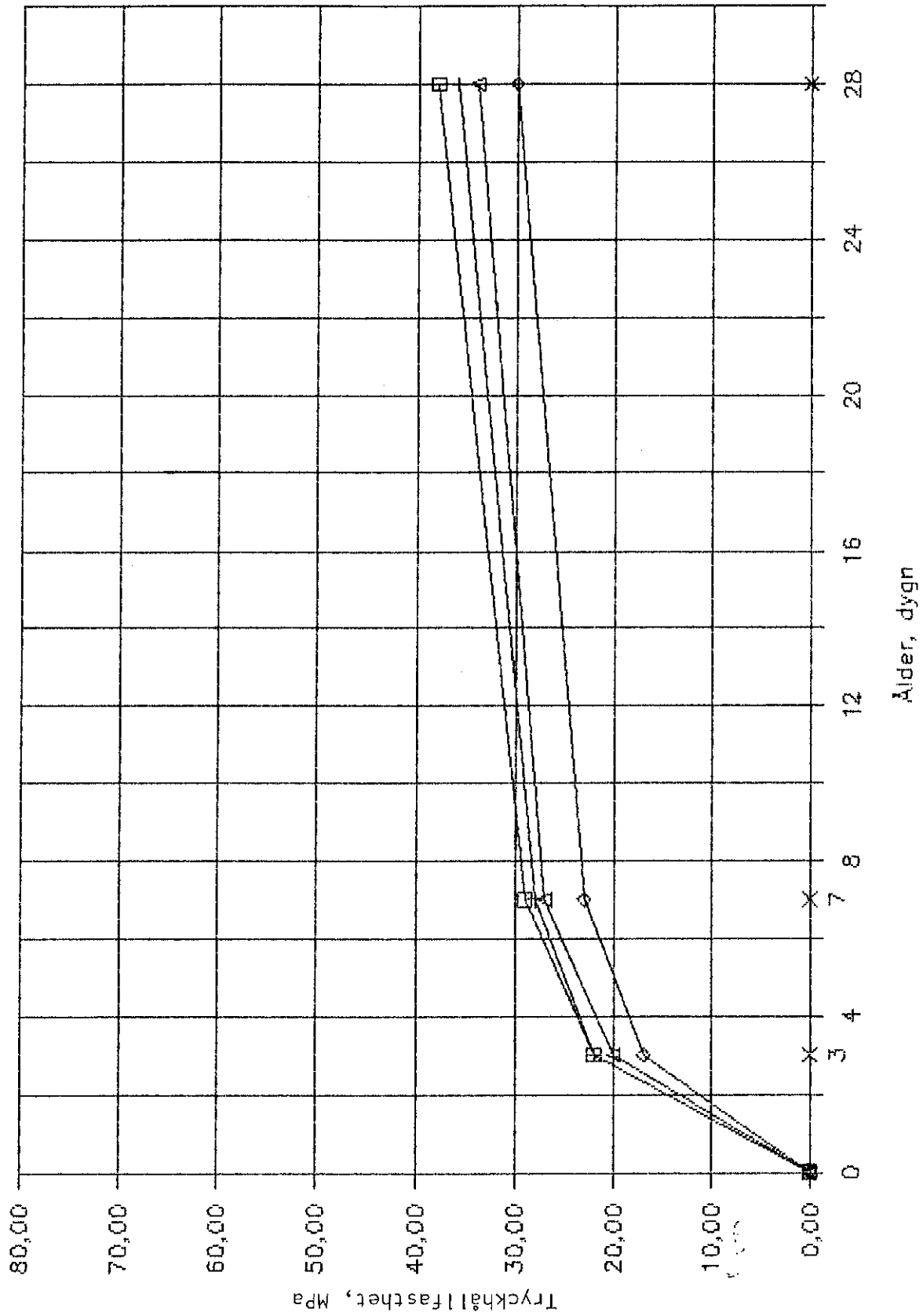
Avsedd håll- fast- het	Alder	Svensk Stan- dard	Finsk Stan- dard	Norsk Stan- dard	Dansk Stan- dard
60	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	39,8	39,4	38,7	32,0
	hållfasthet , s	0,2	1,2	2,3	2,2
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	50,5	47,6	47,2	38,8
	hållfasthet , s	0,7	0,7	1,6	1,2
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	67,0	63,1	64,4	49,0
	hållfasthet , s	1,4	1,2	0,5	3,7
70	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	45,1	45,0	42,4	36,9
	hållfasthet , s	0,8	0,5	1,5	1,7
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	53,4	52,7	52,1	43,8
	hållfasthet , s	0,7	1,1	1,6	2,0
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2400	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	74,0	68,6	69,2	55,3
	hållfasthet , s	2,0	1,0	2,2	6,3

Avsedd håll- fast- het	Alder	Svensk Stan- dard	Finsk Stan- dard	Norsk Stan- dard	Dansk Stan- dard
80	<u>3 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2350	2400	2350
	Tryck- (MPa), m	47,3	47,2	46,6	38,2
	hållfasthet , s	0,8	1,0	1,7	3,9
	<u>7 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	59,2	56,0	56,0	47,4
	hållfasthet , s	1,2	0,7	1,0	2,9
	<u>28 dygn</u>				
	Densitet (kg/m ³), m	2350	2400	2400	2400
	Tryck- (MPa), m	78,1	72,6	71,2	61,6
	hållfasthet , s	1,0	2,0	2,1	1,6



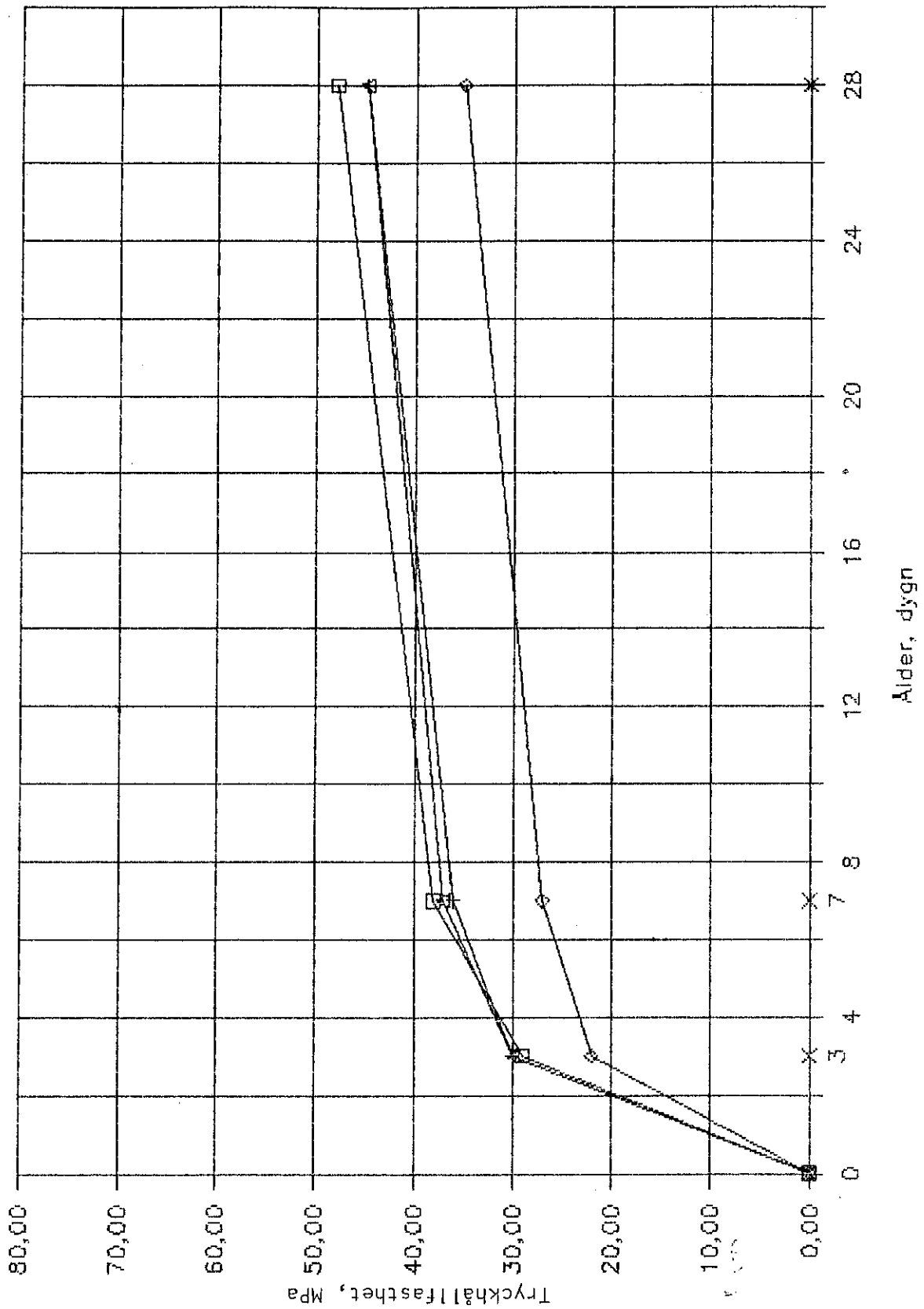
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.1 Provningsresultat för betong med portlandcement och hållfasthet 20 MPa



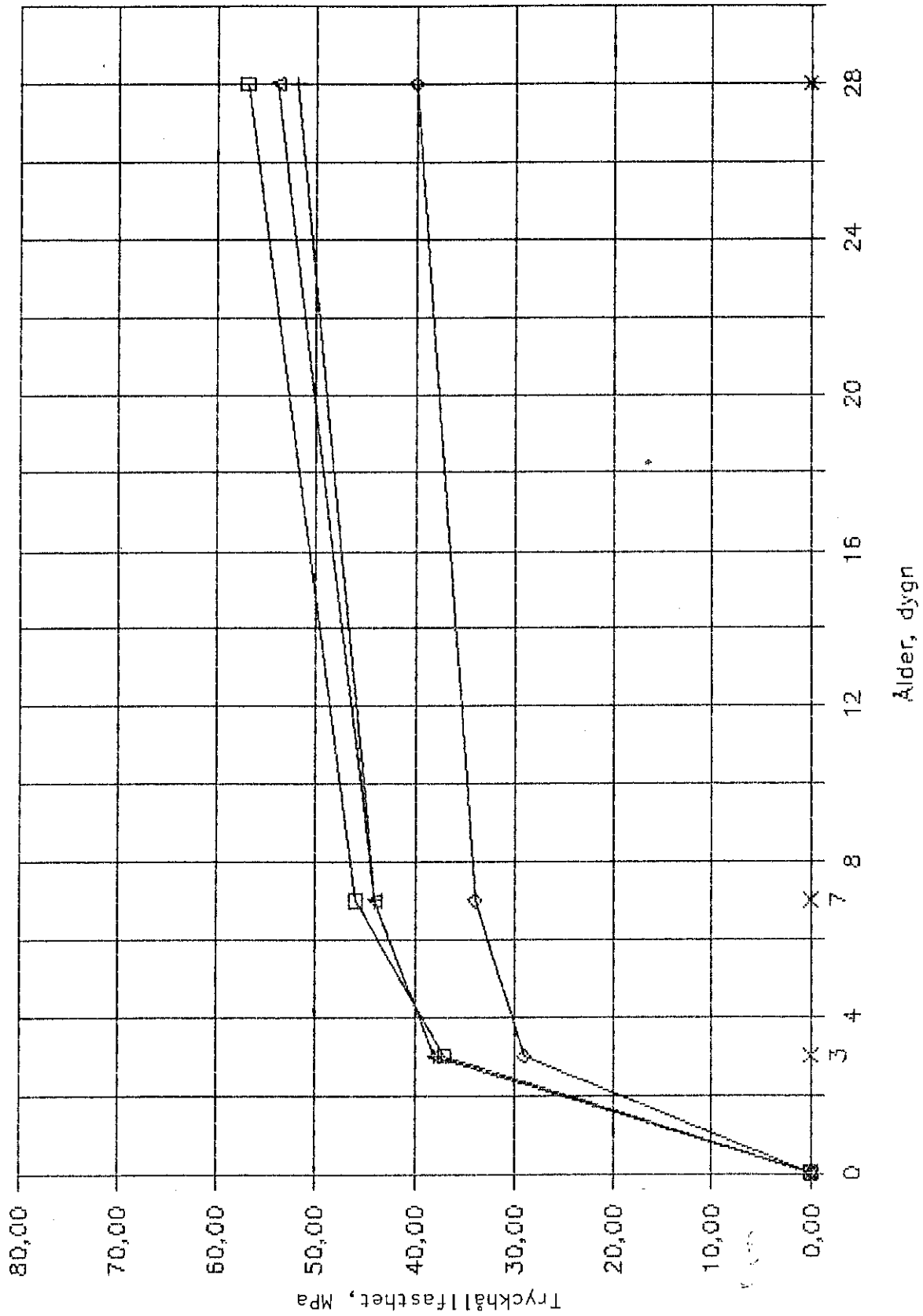
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.2 Provningsresultat för betong med portlandcement och hållfasthet 30 MPa



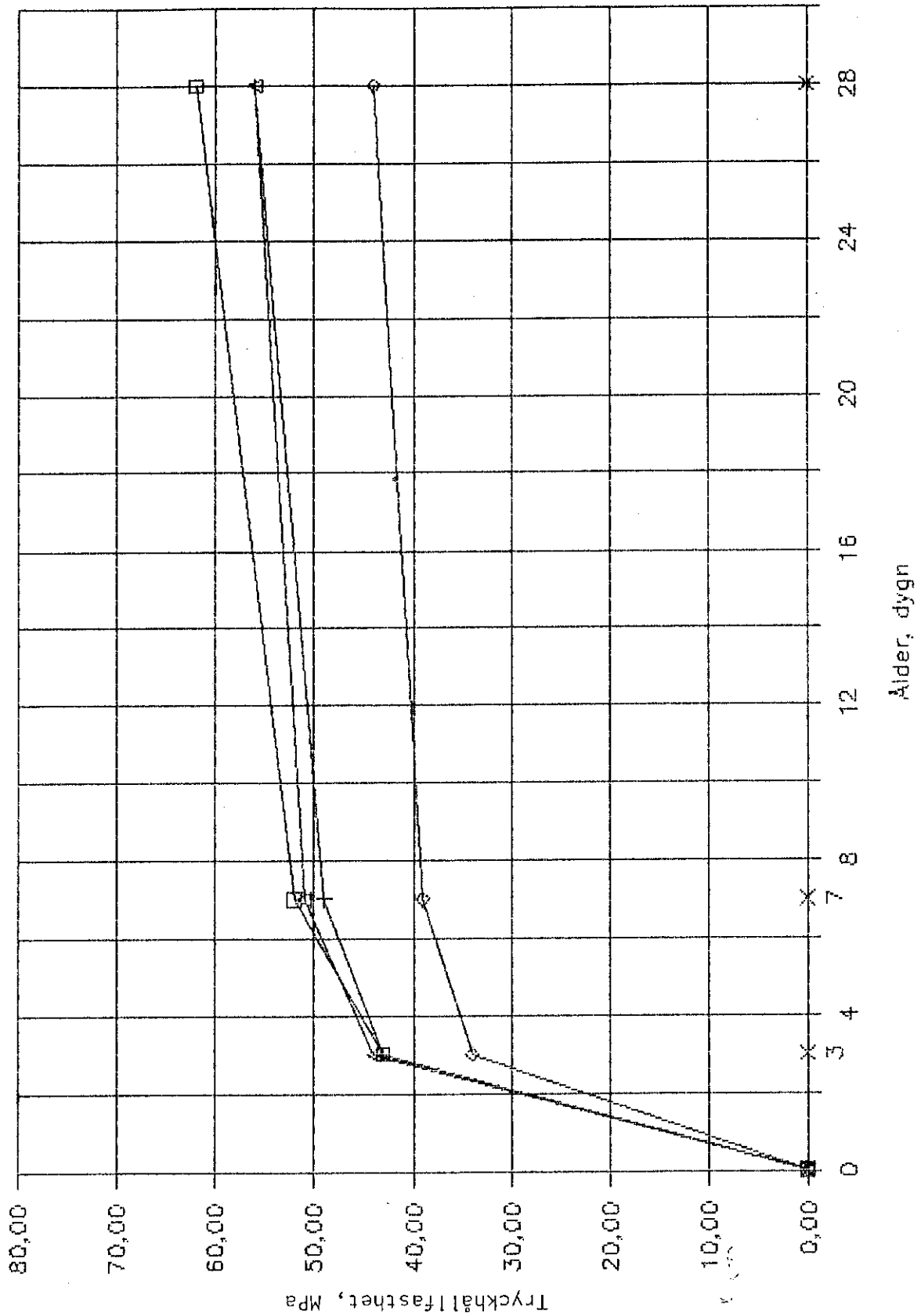
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.3 Provningsresultat för betong med portlandcement och hållfasthet 40 MPa



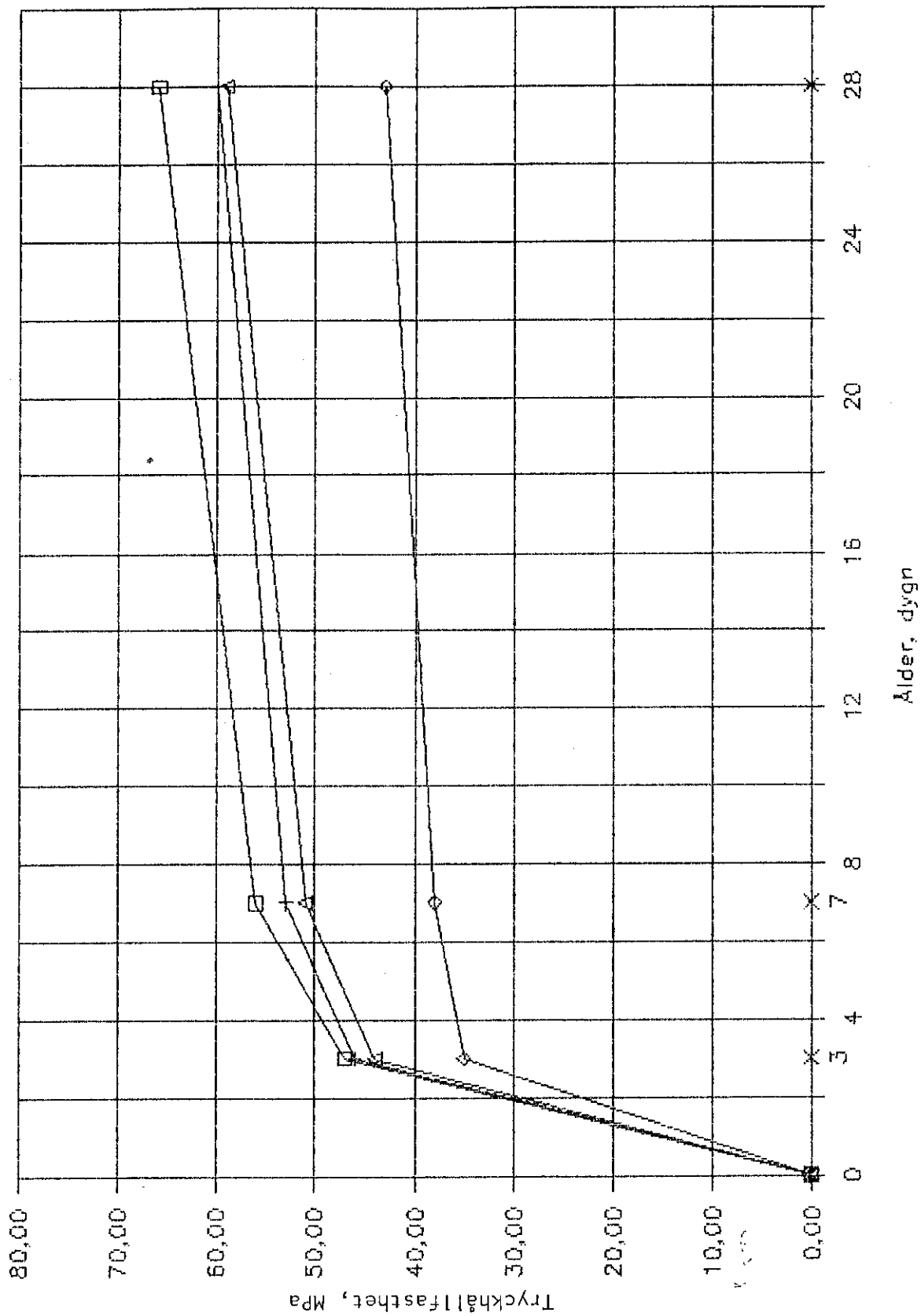
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard Δ enligt Norsk Standard

Figur 1.4 Provningsresultat för betong med portlandcement och hållfasthet 50 MPa



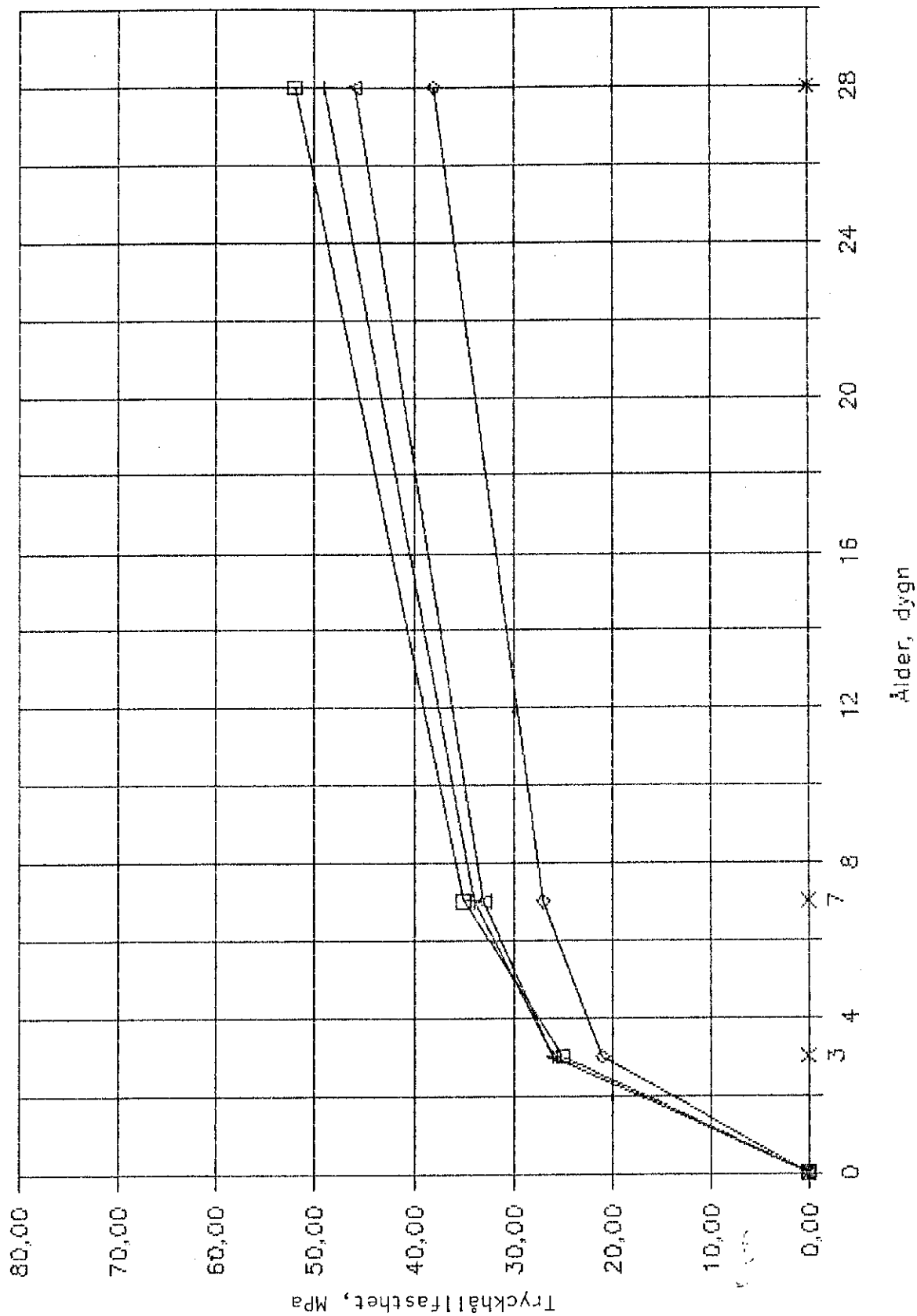
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.5 Provningsresultat för betong med portlandcement och hållfasthet 60 MPa



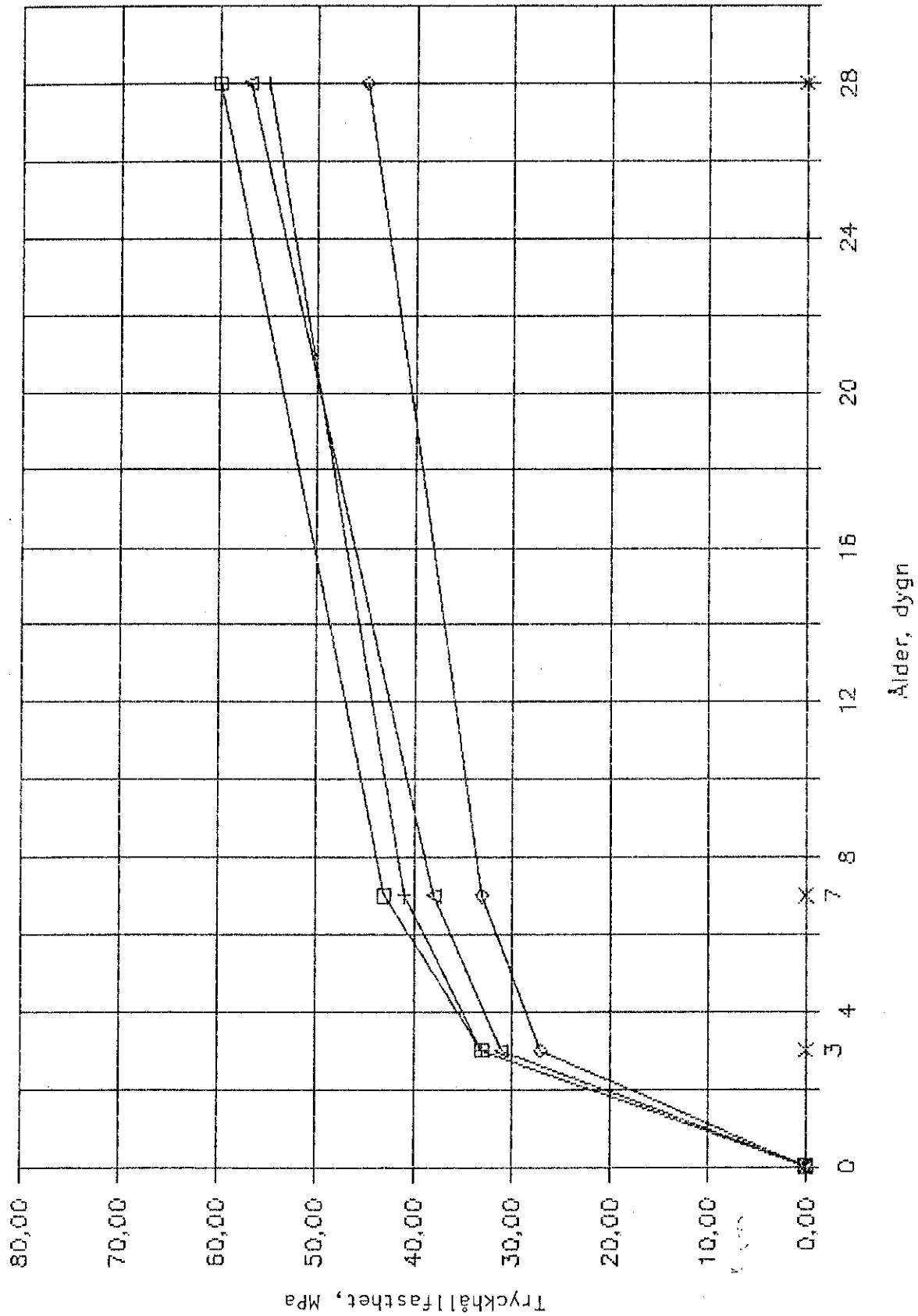
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.6 Provningsresultat för betong med portlandcement och hållfasthet 70 MPa



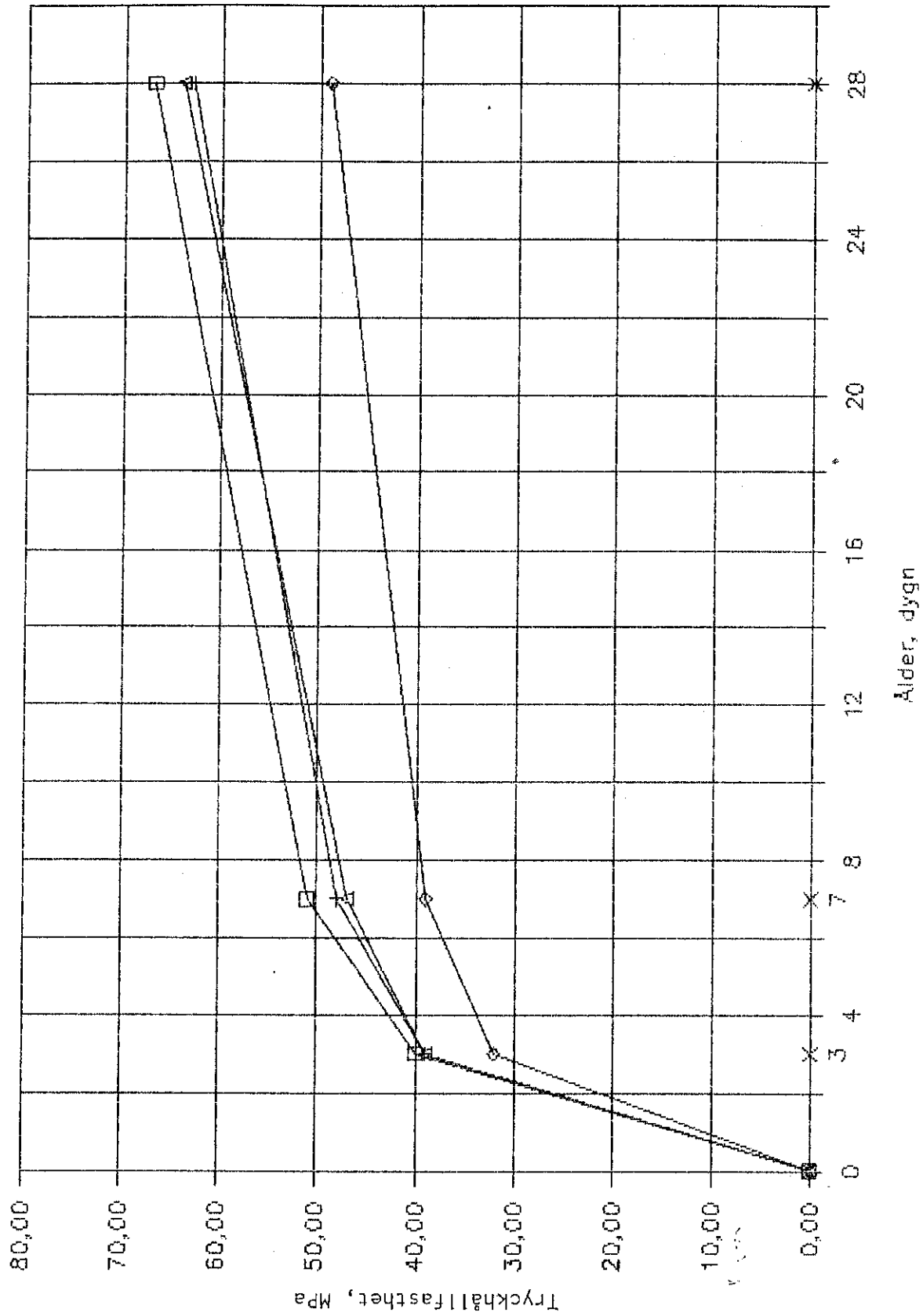
- enligt Svensk Standard
- + enligt Finsk Standard
- ◇ enligt Dansk Standard
- Δ enligt Norsk Standard

Figur 1.7 Provningsresultat för betong med silikastoft och hållfasthet 40 MPa



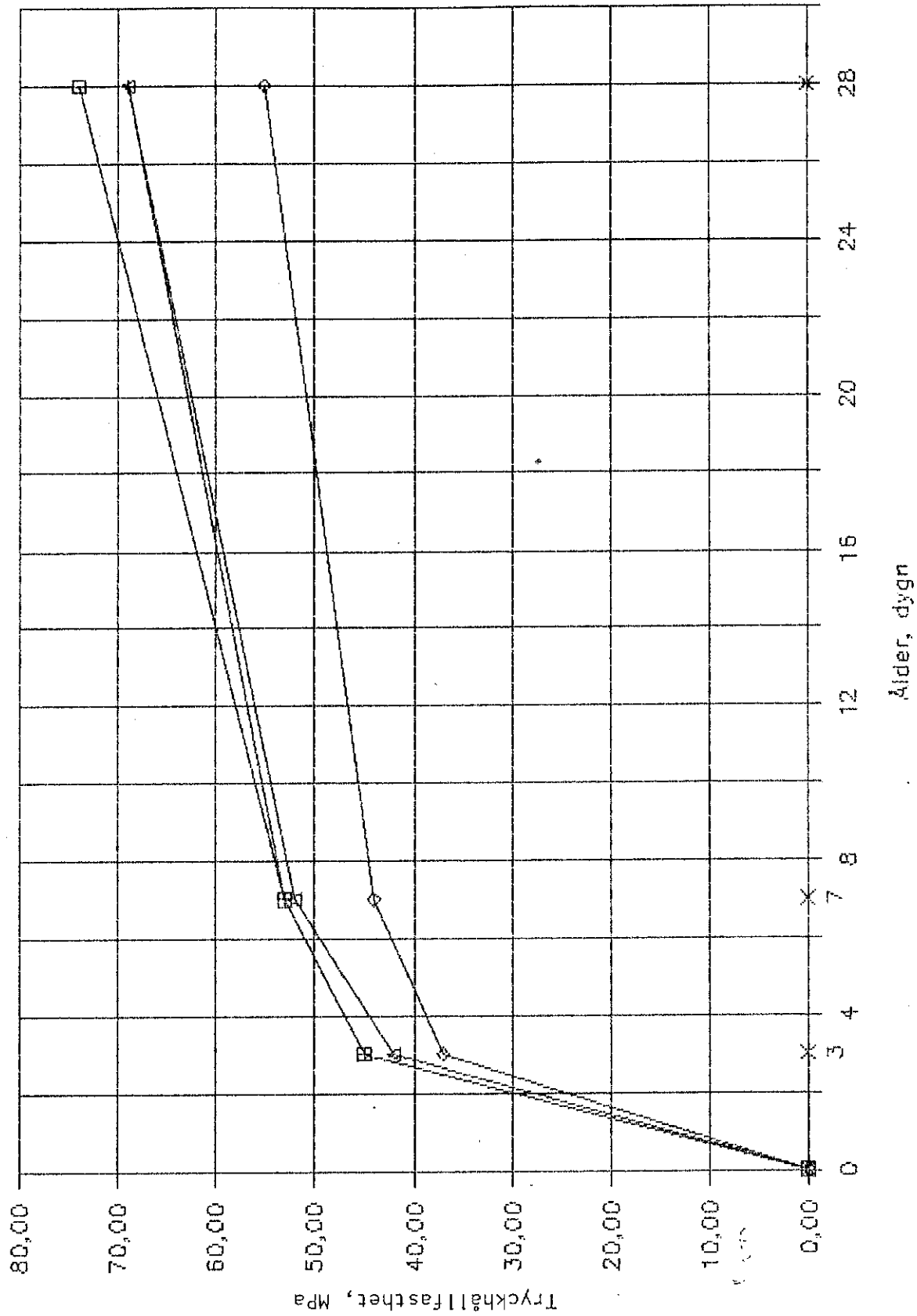
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.8 Provningsresultat för betong med silikastoft och hållfasthet 50 MPa



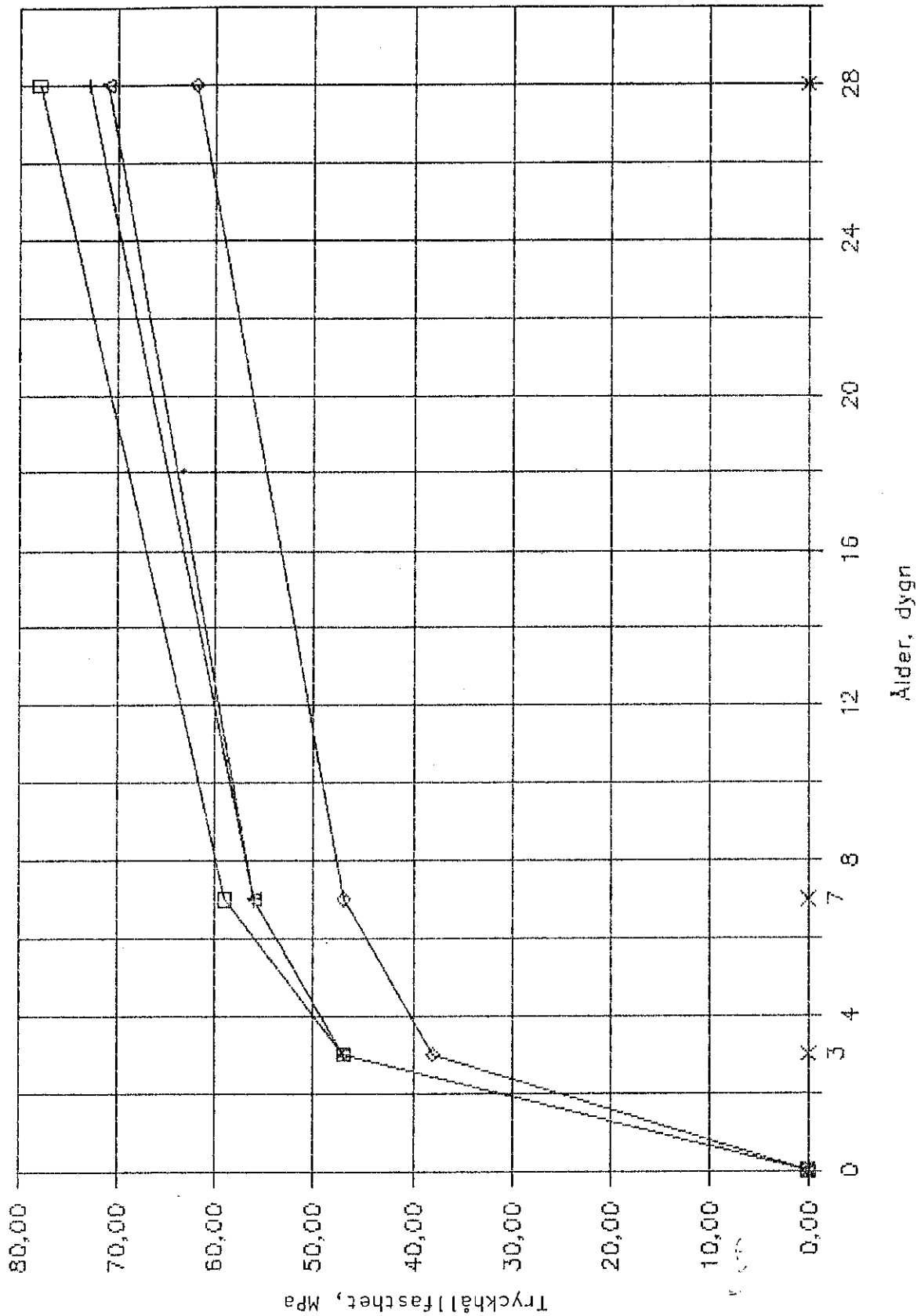
□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.9 Provningsresultat för betong med silikastoft och hållfasthet 60 MPa



□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.10 Provningsresultat för betong med silikastoft och hållfasthet 70 MPa



□ enligt Svensk Standard ◇ enligt Dansk Standard
 + enligt Finsk Standard △ enligt Norsk Standard

Figur 1.11 Provningsresultat för betong med silikastoft och hållfasthet 80 MPa