



LUND UNIVERSITY

Inverkan av frostsador på vidhäftningen mellan armering och betong : resultatredovisning

Janz, Mårten; Johannesson, Björn

1994

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Janz, M., & Johannesson, B. (1994). *Inverkan av frostsador på vidhäftningen mellan armering och betong : resultatredovisning*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7061). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

**Lunds Tekniska Högskola
Avdelningen för Byggnadsmaterial**



**INVERKAN AV FROSTSKADOR PÅ VIDHÄFTNINGEN
MELLAN ARMERING OCH BETONG-
resultatredovisning**

**Mårten Janz
Björn Johannesson**

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		sida
1	SAMMANFATTNING	3
2	FÖRORD	4
3	SYFTE	5
4	VARIABLER	5
4.1	Betong	5
4.2	Ingjuten armering	6
4.3	Skadegrad	7
5	FRAMSTÄLLNING AV PROVKROPPARNA	8
6	FÖRBEHANDLING AV PROVKROPPARNA	9
6.1	Vakuummätning av proven	10
6.2	Frysning	12
7	PROVNING	13
7.1	Dynamisk E-modul	13
7.2	Vidhäftningsprovning	14
7.3	Kub- och spräckprovning	19
8	RESULTAT	20
8.1	Allmänt	20
8.2	Vidhäftningsförlust som funktion av förlust i dynamisk E-modul (BILAGA 2)	20
8.3	Vidhäftningsförlust som funktion av förlust i spräck- och kubhållfasthet	23
8.4	Brottets utseende samt inverkan av olika parametrar på maximal vidhäftningskraft	25

BILAGOR:

Bilaga 1	Tabeller över samtliga försöksresultat	31
Bilaga 2	Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul	43
Bilaga 3	Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet	51
Bilaga 4	Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet	59
Bilaga 5	Samband mellan skadegrad och kubhållfasthet respektive spräckhållfasthet	67
Bilaga 6	Fotografier på olika brottyper	79

1 SAMMANFATTNING

Försöken har visat att vidhäftningen mellan betong och armering minskar mycket kraftigt redan vid små frostsador. Skillnaden i kvarvarande vidhäftning mellan skadade betonger med olika skadegrader är däremot liten. En slutsats man kan dra av detta är att en frostsadad armerad betongkonstruktion har en låg resterande vidhäftning, oavsett skadegrad. En klassificering av armerade betongkonstruktioner med avseende på vidhäftning mellan betong och armering borde därför endast omfatta två klasser, oskadad eller skadad.

När det gäller armeringens utformning så ger en ökad ingjutningslängd en ökad vidhäftningskraft. Även täcksiktet har betydelse för vidhäftningens storlek, då den brottenergi som behövs för att dra ut ett armeringsjärn är beroende av den sträcka en spricka måste utvecklas innan den når betongytan. En minskning av vct ger en ökande vidhäftning. Dessutom ger betonger med lågt vct mindre fryssador. Bygelarmering ger en högre vidhäftningskraft och ett mindre sprött brott.

2 FÖRORD

Det i denna rapport redovisade arbetet har tagits fram inom det europeiska BRITE/EURAM-projektet BREU-CT92-0591 "The residual service life of Concrete Structures".

Följande sex deltagare deltar i projektet:

- 1: British Cement Association, Crowthorne, UK (koordinator av projektet)
- 2: Forskningsinstitutet Instituto Eduardo Torroja, Madrid, Spanien
- 3: Entreprenadföretaget Geocisa, Madrid, Spanien
- 4: Cement- och betonginstitutet, Stockholm
- 5: Cementa AB, Danderyd
- 6: Avdelningen för Byggnadsmaterial, LTH

Tre nedbrytningsmekanismer studeras i projektet:

- 1: Armeringskorrosion
- 2: Frostangrepp
- 3: Alkali-kiselsyrareaktion

Föreliggande rapport hänförs till uppgift 3 i projektet, "Definition of structural performance from material state". Arbetet har finansierats genom anslag från NUTEK.

Det experimentella arbetet och utvärderingen av resultatet har utförts av undertecknande. Försöksupläggningsen har utarbetats av professor Göran Fagerlund och godkänts av projektledningen för EU-projektet.

Vi vill tacka personalen vid avdelningen för Byggnadsmaterial för hjälp och goda råd under arbetets utförande.

Lund den 20 juli 1994

Mårten Janz Björn Johannesson

3 SYFTE

Syftet med här redovisade försök var att

- studera hur frostsador hos betong påverkar vidhäftningen till ett ingjutet armeringsstål.
- om möjligt finna ett empiriskt samband mellan betongens resterande hållfasthet och resterande vidhäftning mellan betong och armering.
- se om stålets dimension, förankringslängd, släthet, placering och bygelarmering påverkar ovannämnda relation.

Arbetet har huvudsakligen bestått av laborationsarbete. För att få fram resultaten har 132 vidhäftnings-, kub- och spräckprov utförts. Samtliga provkroppar har gjutits vid betongstationen vid LTH.

4 VARIABLER

4.1 Betong

Tre betongkvaliteter med följande vct och sammansättning har provats:

- Vct = 0.80 (C = 225; W = 180; Sten (8-12) = 1050; Grus (0-8) = 880)
- Vct = 0.65 (C = 280; W = 180; Sten (8-12) = 1020; Grus (0-8) = 860)
- Vct = 0.50 (C = 370; W = 185; Sten (8-12) = 980; Grus (0-8) = 810)

Betongerna saknar extra luftinblandning. Cementet som använts är Slite Std. Till huvudserien har betong med vct = 0.65 använts.

4.2 Ingjuten armering

Till försöken har fem olika typer av armeringsjärn använts:

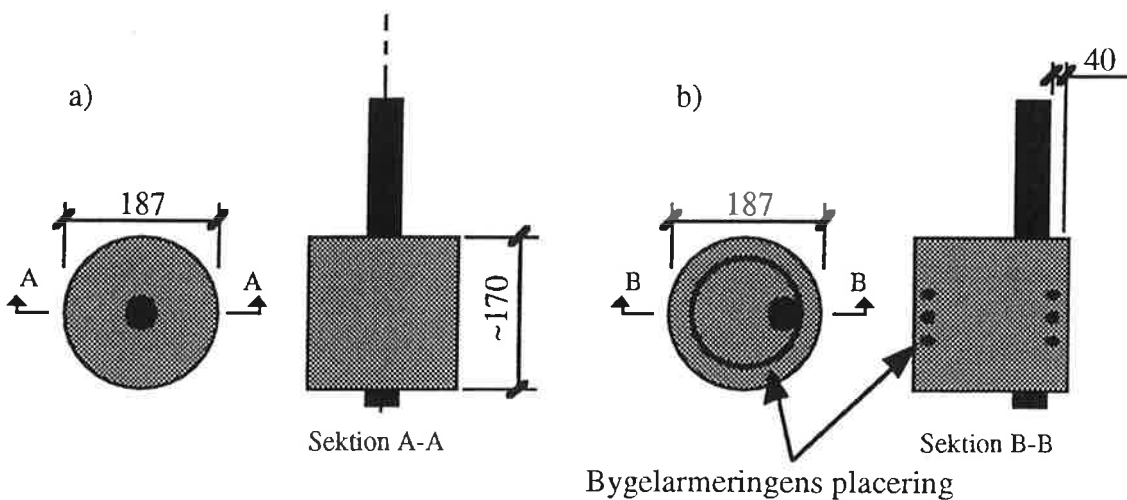
- Kamstål, Ks40, $\text{Ø}12$
- Kamstål, Ks40, $\text{Ø}25$ (huvudserie)
- Rundstång, $\text{Ø}12$
- Rundstång, $\text{Ø}25$.
- Byglar Ks40, $\text{Ø}4$

Ingjutningslängden varierades enligt följande:

- Armering med diametern $\text{Ø}12$ göts in med ingjutningslängden, $i = 48$ respektive $i = 72$ mm, motsvarande 5 respektive 8 kammar.
- Armering med diametern $\text{Ø}25$ göts in med ingjutningslängden, $i = 100$ respektive $i = 130$ mm, motsvarande 6 respektive 8 kammar.

Huvudserien utgjordes av kamstål, Ks40, $\text{Ø}25$ med ingjutningslängden $i = 100$ mm.

I nio av de totalt elva provomgångarna placerades armeringen centriskt, i de två resterande placerades armeringen excentriskt, se figur 4.1. En av provomgångarna med excentriskt placerad armering bygelarmerades med 3 st byglar $\text{Ø}4$ c 30 mm; se figur 4.1.



Figur 4.1. a) Vidhäftningsprovkropp med centriskt placerad armering.

b) Vidhäftningsprovkropp med excentriskt placerad armering. Två provomgångar med excentriskt placerad armering genomfördes varav den ena bygelarmerades.

4.3 Skadegrad

Avsikten med försöken var att studera inverkan av frostsador på vidhäftningen mellan armeringsjärn och betong. Därför måste prover med olika grad av frostskada tillverkas. Detta gjordes genom att proverna fylldes med vatten efter evakuering till visst resttryck (se 6.1) varefter de utsattes för upprepad nedfrysning och upptining.

Provkropparnas skadegrad definierades av det resttryck som uppnåddes vid vakuumpumpningen. De skadegrader som eftersträvades och de tryck vid vilka proven vakuummättats var följande:

- Inga frostsador. Ingen vakuummättning och ingen frysning. (Skadegrad 0).
- Små frostsador. Vakuummättning vid ca 50 torr. (Skadegrad 50).
- Medelstora frostsador. Vakuummättning vid ca 20 torr. (Skadegrad 20).
- Stora frostsador. Vakuummättning vid ca 2 torr. (Skadegrad 2).

Totalt göts och provades elva provomgångar, vardera med fyra olika skadegrader. De elva provomgångarna framgår av tabell 4.1.

Tabell 4.1. De elva provomgångarna. Provomgång K bygelarmerades med 3 st byglar $\varnothing 4$ c 30 mm, se figur 4.1.

Provomgång	vct	Armering	Ingjutningslängd, i	Armeringens placering
A	0.80	Ks40, $\varnothing 25$	100 mm	centrisk
B	0.65	Ks40, $\varnothing 25$	100 mm	centrisk
C	0.65	Ks40, $\varnothing 25$	130 mm	centrisk
D	0.65	Ks40, $\varnothing 12$	48 mm	centrisk
E	0.65	Ks40, $\varnothing 12$	72 mm	centrisk
F	0.65	Rundstång, $\varnothing 25$	100 mm	centrisk
G	0.65	Rundstång, $\varnothing 25$	130 mm	centrisk
H	0.65	Rundstång, $\varnothing 12$	72 mm	centrisk
I	0.50	Ks40, $\varnothing 25$	100 mm	centrisk
J	0.65	Ks40, $\varnothing 25$	100 mm	excentrisk
K	0.65	Ks40, $\varnothing 25$, Bygel	100 mm	excentrisk

5 FRAMSTÄLLNING AV PROVKROPPARNA

Till försöket har används provkroppar för vidhäftnings-, kub- och spräckprovning. Till kub- och spräckprovningen har kuber gjutits i standardformar med dimensionen 100x100x100 mm.

Provkropparna för vidhäftningsprovning har gjutits i PVC-rör med innerdiametern 187 mm och längden 200 mm. Botten och lock har bestått av plywoodskivor med cirkulära spår, i vilka PVC-röret passerat. För att fästa röret vid bottenplattan har skruvar använts (se figur 5.1.). Efter det att betong fyllts i röret har locket placerats på plats och fixerats med hjälp av tvingar. Spåren i lock och botten tog 30 mm av PVC-rörets längd i anspråk, detta medförde att provkropparnas längd blev ca 170 mm.

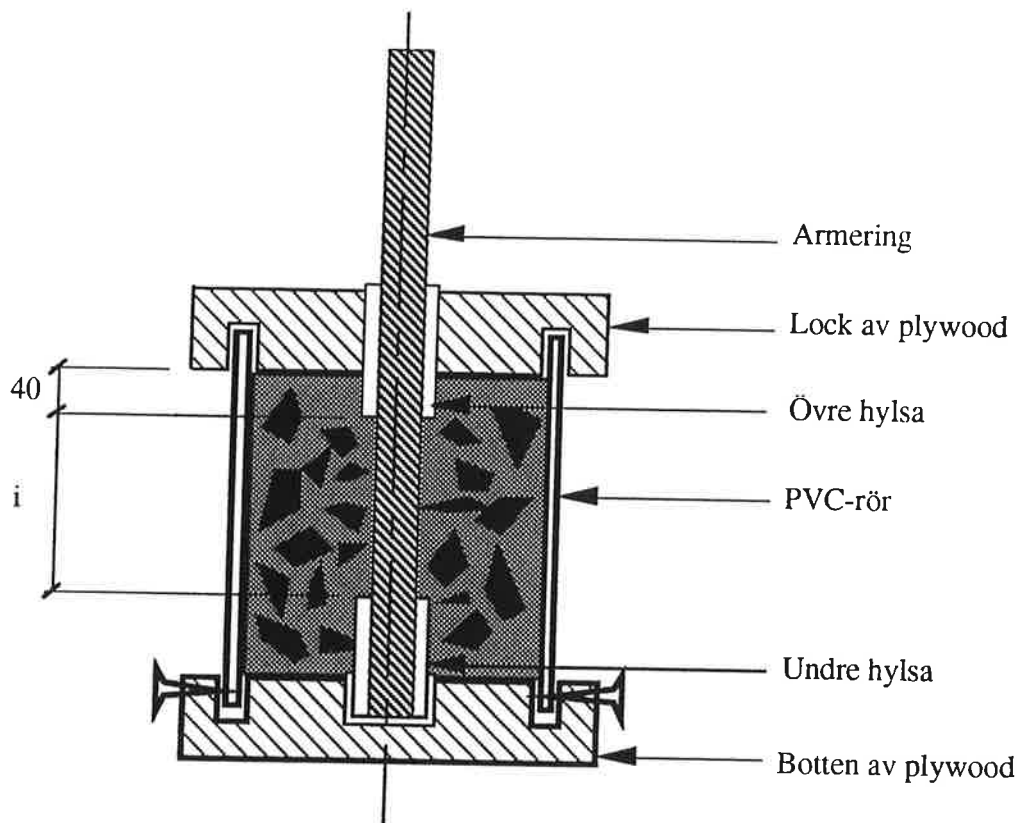
För att erhålla rätt ingjutningslängd, i , har hylsor fästs vid armeringen med hjälp av fogmassa. Avståndet mellan ovankanten på betongen och underkanten på den övre hylsan har genomgående varit ca 40 mm (se figur 5.1.). Ingjutningslängden varierar enligt tabell 4.1. För armering med $\varnothing 12$ användes hylsor av plast (el-rör) och för armering med $\varnothing 25$ användes hylsor tillverkade av aluminiumrör.

För att fixera armeringen i rätt position har hål borrats i botten och lock. Hålet i bottenplattan borrades ca 10 mm djupt och i locket borrades ett genomgående hål. Hålens diameter bestämdes av hylsornas ytterdiameter.

En provomgång (12 provkroppar till vidhäftningsprovning och 24 st 100x100x100 kuber till kub- och spräckprovning) tillverkades vid varje gjuttillfälle. Betongåtgången var 110 l. Betongen blandades i den 125 l blandare som finns vid betongstationen vid LTH.

Vid tillverkning av vidhäftningsprovkropparna hölls armeringen på plats för hand i formen varefter formen fylldes med betong och vibrerades stående. Därefter applicerades locket och provkropparna vibrerades hastigt liggande för att på så sätt erhålla en plan gjutyta mot locket, vilket behövdes vid vidhäftningsprovningen. Samtliga prov vibrerades på vibratorbord. Fram till avformningen lagrades vidhäftningsproven liggande.

Avformningen skedde efter ett dygn varvid locket och bottenskivan avlägsnades och kunde återanvändas vid nästa gjuttillfälle. PVC-röret sågades upp och slängdes.

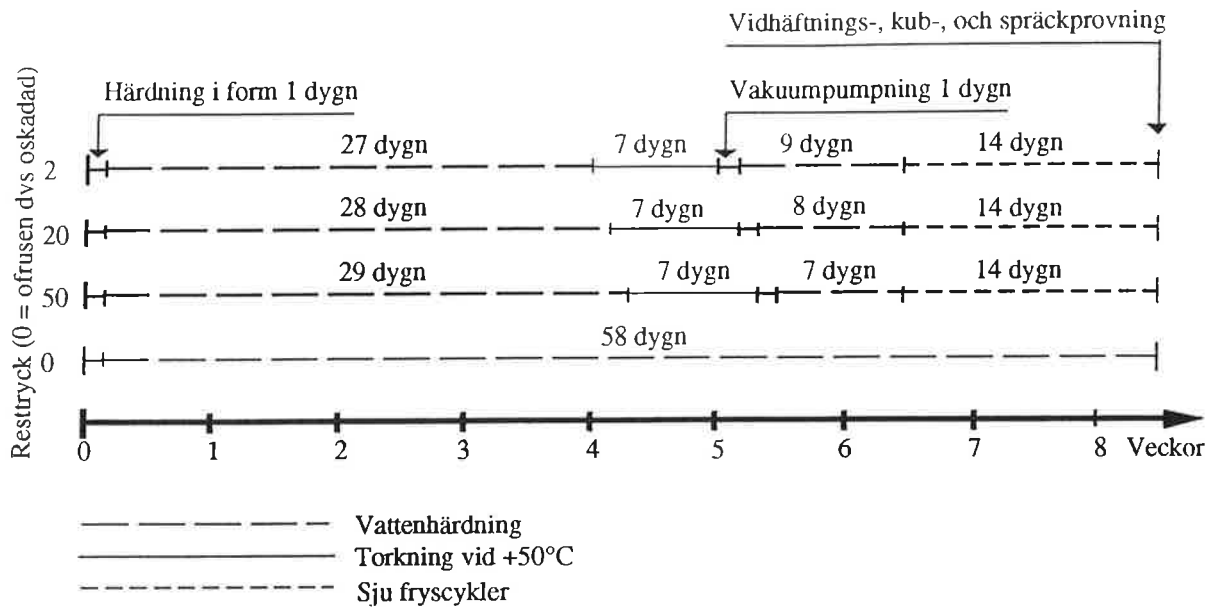


Figur 5.1. Form till vidhäftningsprovkroppar.

6 FÖRBEHANDLING AV PROVKROPPARNA

Förbehandlingen av provkropparna avsåg att skapa olika skadegrader. Detta åstadkoms genom att först torka proven under en vecka och sedan vattenfylla provkropparna från en provomgång till olika vattenmättnadsgrad, varefter de utsattes för frysning. Vattenmättnadsgraden i betongen reglerades genom att vakuumpumpa de förtorkade proven till tre resttryck, 2, 20 respektive 50 torr innan vatten tillfördes. Dessutom provades i varje provomgång betong som vattenlagrats fram till provtillfället men ej utsatts för frysning.

Tidsåtgången vid förbehandlingen för en provomgång framgår av figur 6.1. För att få bättre statistisk tillförlitlighet användes tre provkroppar till vardera kub-, spräck- och vidhäftningsprovning till varje skadegrad (vattenmättnadsgrad). Detta innebär att det totala antalet provkroppar som tillverkades och provades med avseende på varje typ av provning (vidhäftning, tryckhållfasthet och spräckhållfasthet) var 11 (antal provomgångar) \times 4 (antal skadegrader) \times $3 = 132$ st. Detta gav totalt 132 vidhäftningsprover och sammanlagt 264 kuber till kub- och spräckprovning.

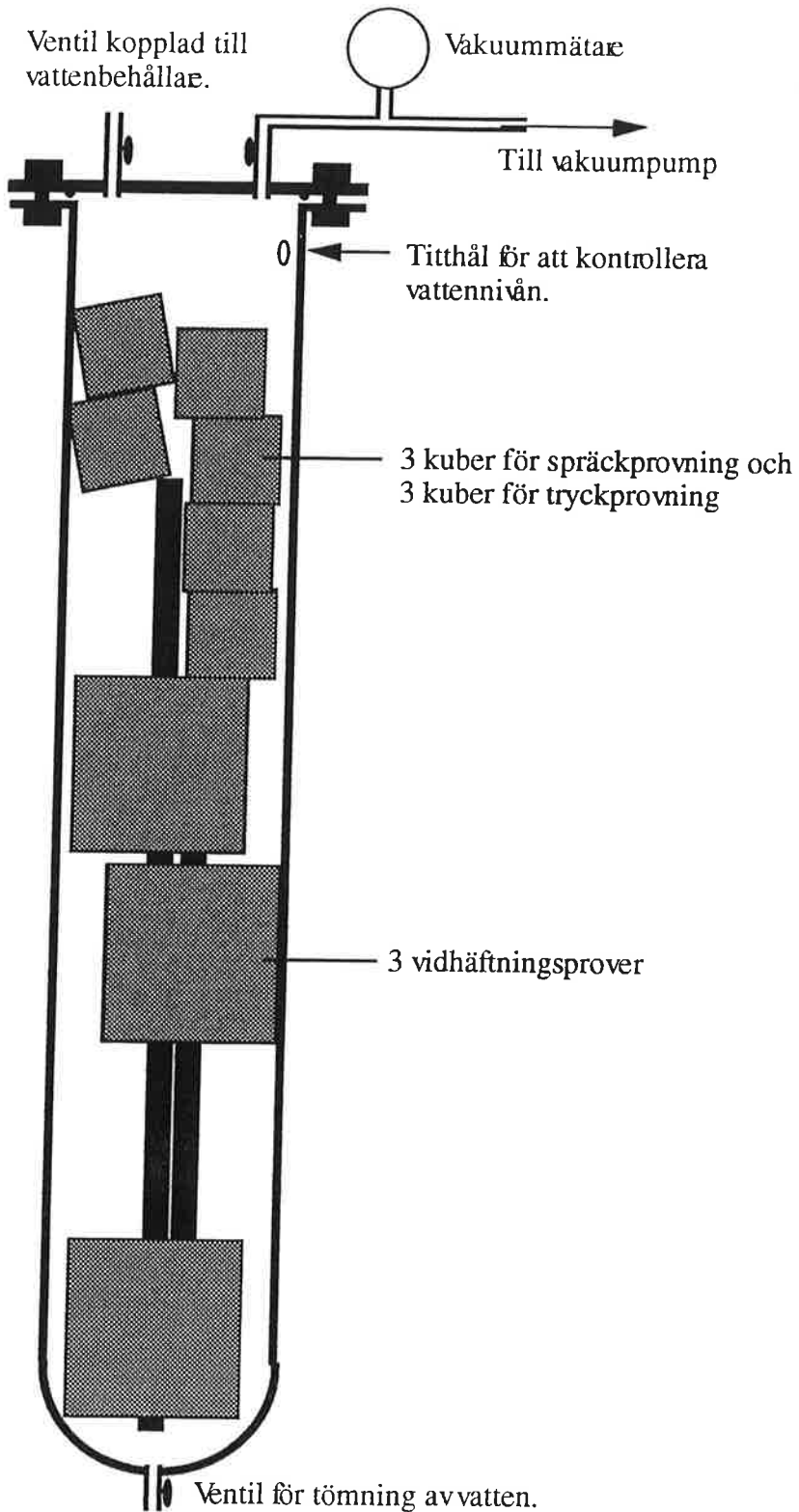


Figur 6.1. Tidsschema över förbehandlingen av provkropparna från en provomgång.

6.1 Vakuummättnings av proven

Efter det att proverna hade torkat vid +50°C under en vecka, placerades tre prover av varje typ (vidhäftning, tryck och spräck) i ett kärl avsett för vakuumpumpning. Vakuum pumpades till avsett resttryck (2, 20 eller 50 torr), varefter vakuumpumpningen fortgick under ett dygn. Därefter fylldes vakuumkärlet med vatten så att proverna täcktes. Pumpningen fortgick under ytterligare två timmar varefter kärlet öppnades så att normalt atmosfärtryck fick råda. Proverna flyttades sedan till ett vattenbad där de fick ligga i 7-9 dygn, se figur 6.1. Ju lägre resttryck vid pumpningen desto högre vattenmättnadsgrad och desto större skador vid den efterföljande frysningen.

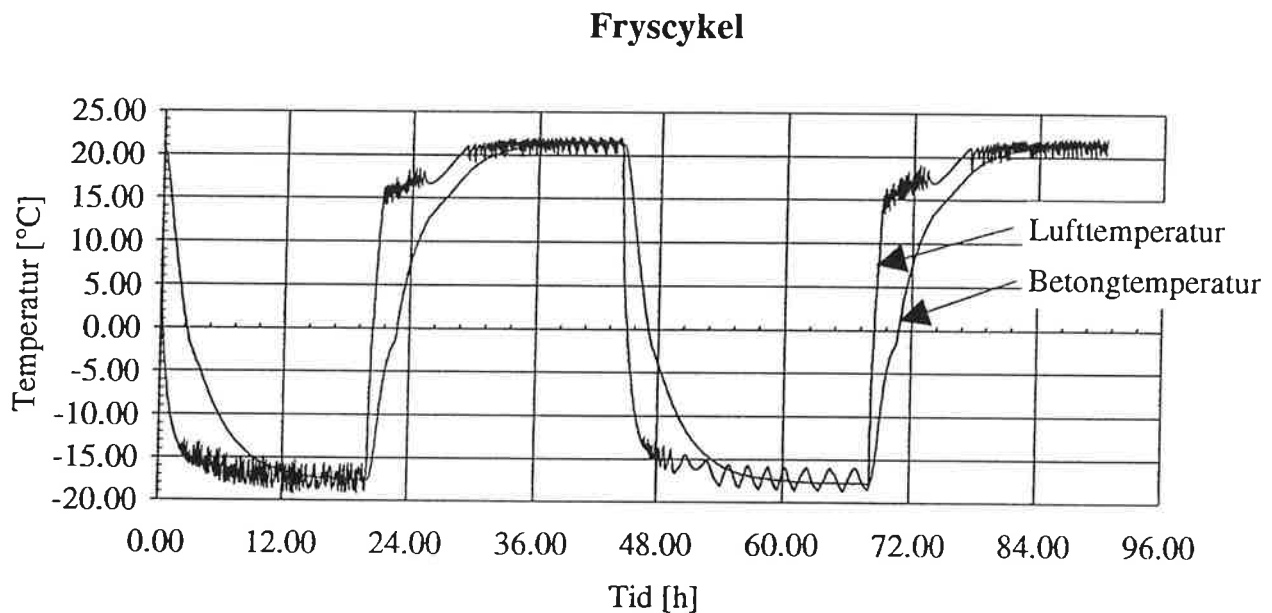
En principskiss över vakuumkärlet framgår av figur 6.2. I kärlet fick samtliga prov tillhörande samma skadegrad från en provomgång plats (sex kuber och tre vidhäftningsprov). På så sätt blev skadeomfattningen i stort sett densamma för dessa prov. (Skadegraderna definieras i 4.3).



Figur 6.2. Vakuumkär. Kärlet hölls upprätt med hjälp av ett stålstativ.

6.2 Frysning

För att förhindra fuktutbyte med omgivningen under frysningen placerades provkropparna omedelbart efter det att de tagits upp ur vattnet i tjocka plastpåsar som förseglades med tejp. Proven utsattes därefter för en frysbelastning som varade i två veckor med sju nedfrysnings- upptinings cykler. En cykel varade i 48 timmar med 24 timmars frysning vid ca -18°C och 24 timmars tining vid ca $+21^{\circ}\text{C}$. Temperaturen i frysskåpet och i betongen beskrivs av figur 6.3.



Figur 6.3. Temperaturen i betongen (ca 1 cm från armeringsjärnet) samt lufttemperaturen i frysskåpet. Temperaturen i betongen mättes på tre olika avstånd från armeringsjärnet. Temperaturdifferansen mellan dessa tre mätpunkter var dock försumbar.

7 PROVNING

7.1 Dynamisk E-modul

Den dynamiska E-modulen mättes före och efter frysning. Detta skedde genom att gångtiden för ultraljud mättes genom vidhäftningsprovkropparna. E-modulen beräknades sedan med följande ekvation:

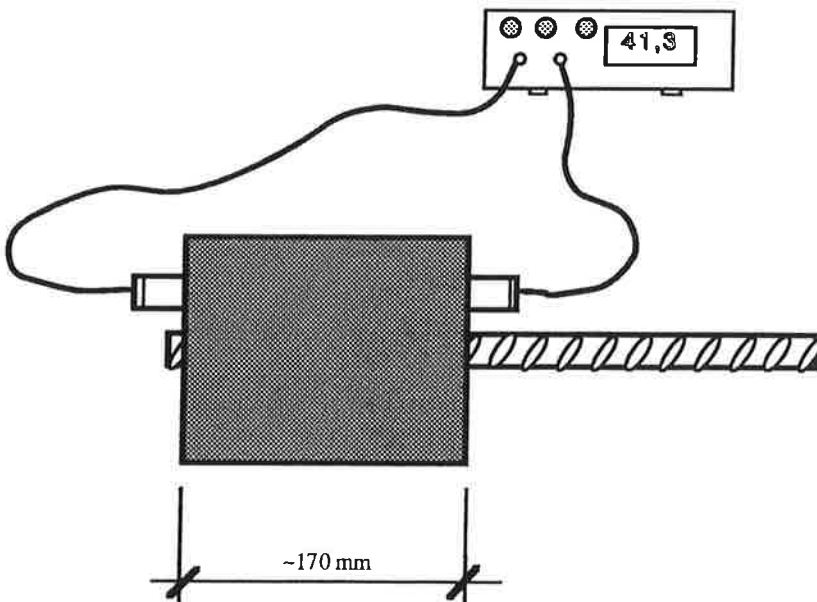
$$E = \frac{L^2}{t^2} \frac{\rho (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{ekv 7.1})$$

L längd [m]

t gångtid [s]

ρ densitet. Här antagen till 2300 kg/m³.

ν tvärkontraktionstal. Här antaget till 0.17.



Figur 7.1. Principskiss över ultraljudmätning på vidhäftningsprov.

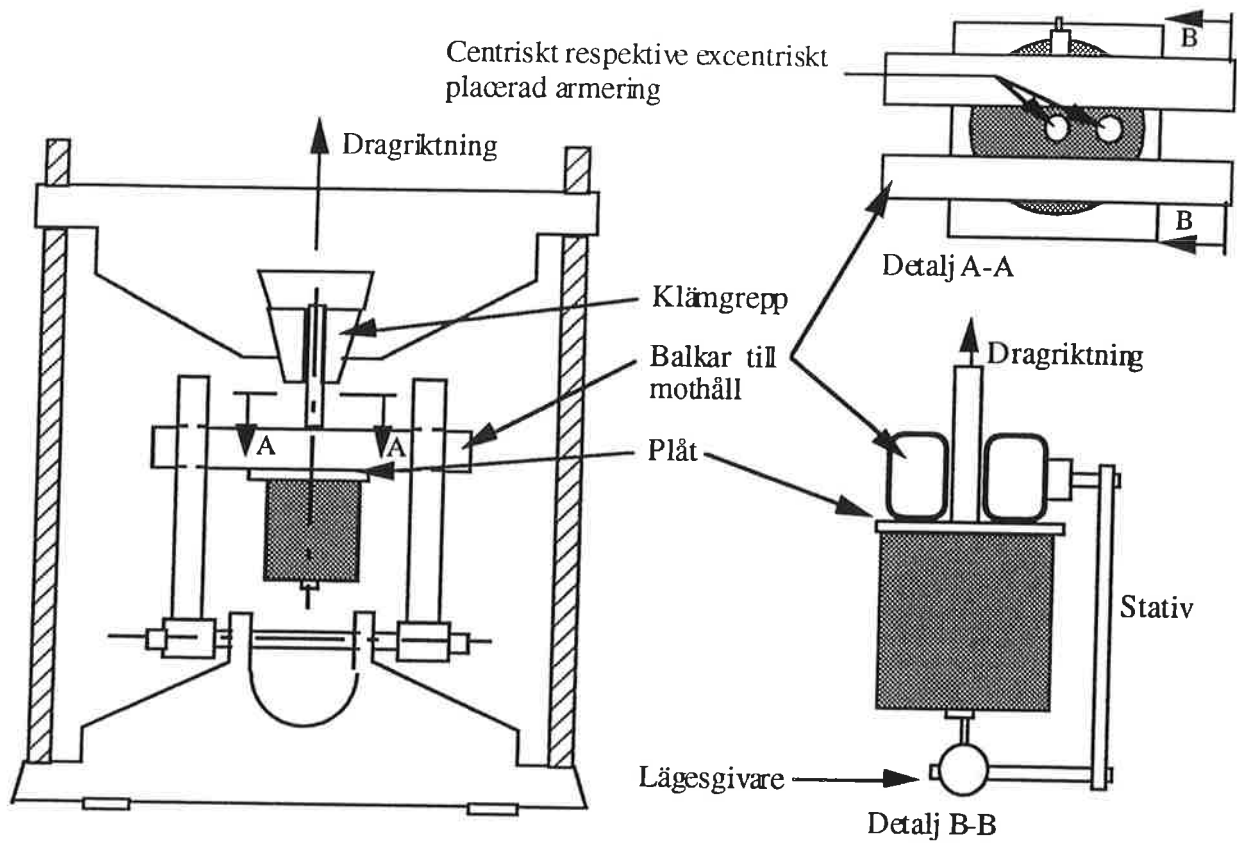
7.2 Vidhäftningsprovning

Med vidhäftning avses i denna rapport den maximala kraft som registrerades under utdragsförloppet. Vidhäftningsspänningen redovisas inte men kan beräknas genom att man dividerar den maximala vidhäftningskraften med mantelarean hos ingjuten del av armeringen.

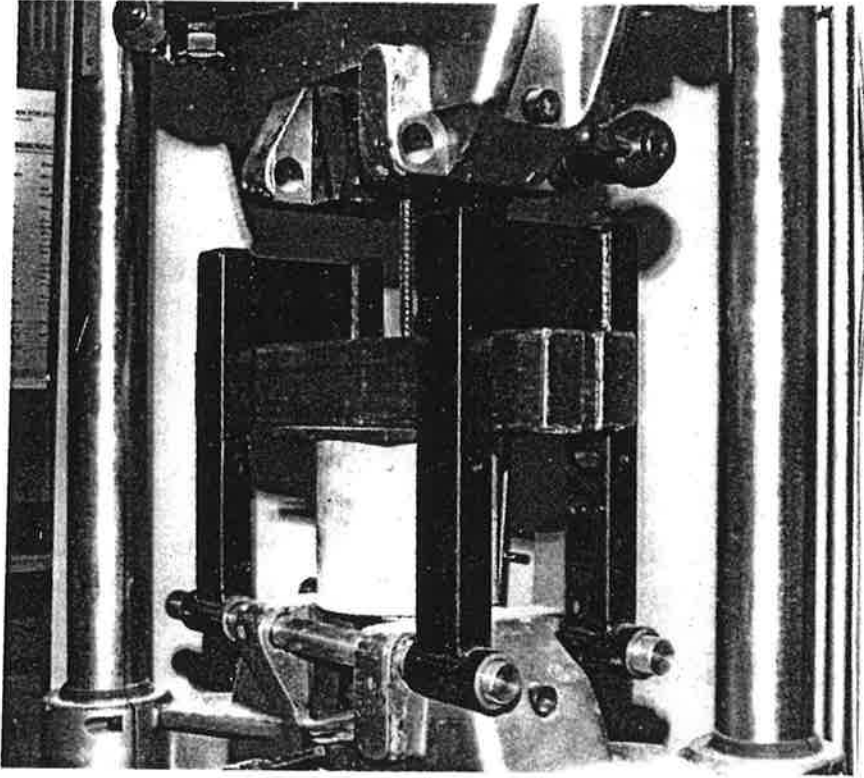
Vidhäftningsprovningen utfördes i den hydrauliska 40-ton press som finns vid LTH. Provningsen gick till så att en kolv, som med ett klämgrepp var fäst vid armeringen, drog med en konstant kolvhastighet av 0.008 mm/s. Som mothåll placerades en balk på vardera sida av armeringen. För att sprida ut det tryck som balkarna åstadkom på betongen placerades en 10 mm tjock plåt mellan balk och betong, se figur 7.2 och 7.3.

För att registrera armeringens lägesändring användes en lägesgivare som noterade lägesändring hos armeringens fria ände. Genom att via ett stativ fästa lägesgivaren i en av balkarna, eliminerades eventuella mätfel på grund av balkböjning, se figur 7.2.

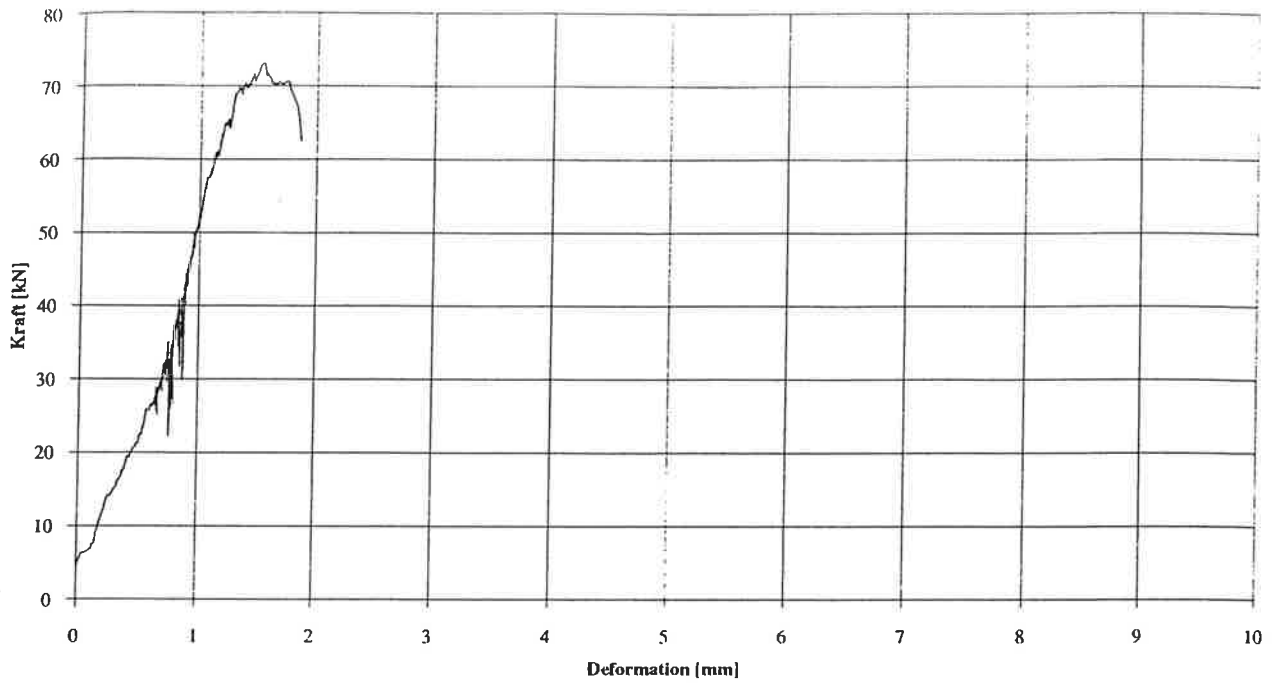
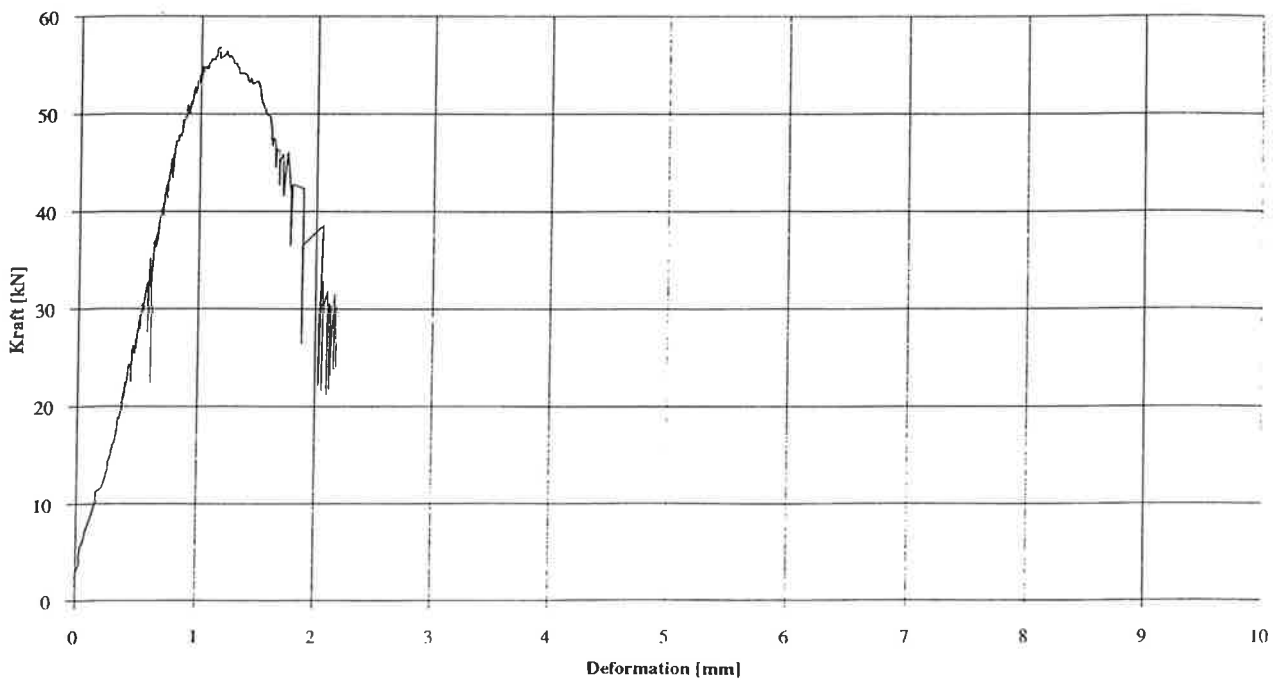
Hela utdragsförloppet styrdes och registrerades av en PC. Lägesgivarens utslag och den pålagda kraften registrerades en gång per sekund och lagrades i en datafil, från vilken det var möjligt att rita kraft-deformations diagram. I figur 7.4 visas exempel på sådana diagram för olika fall (brottyper).



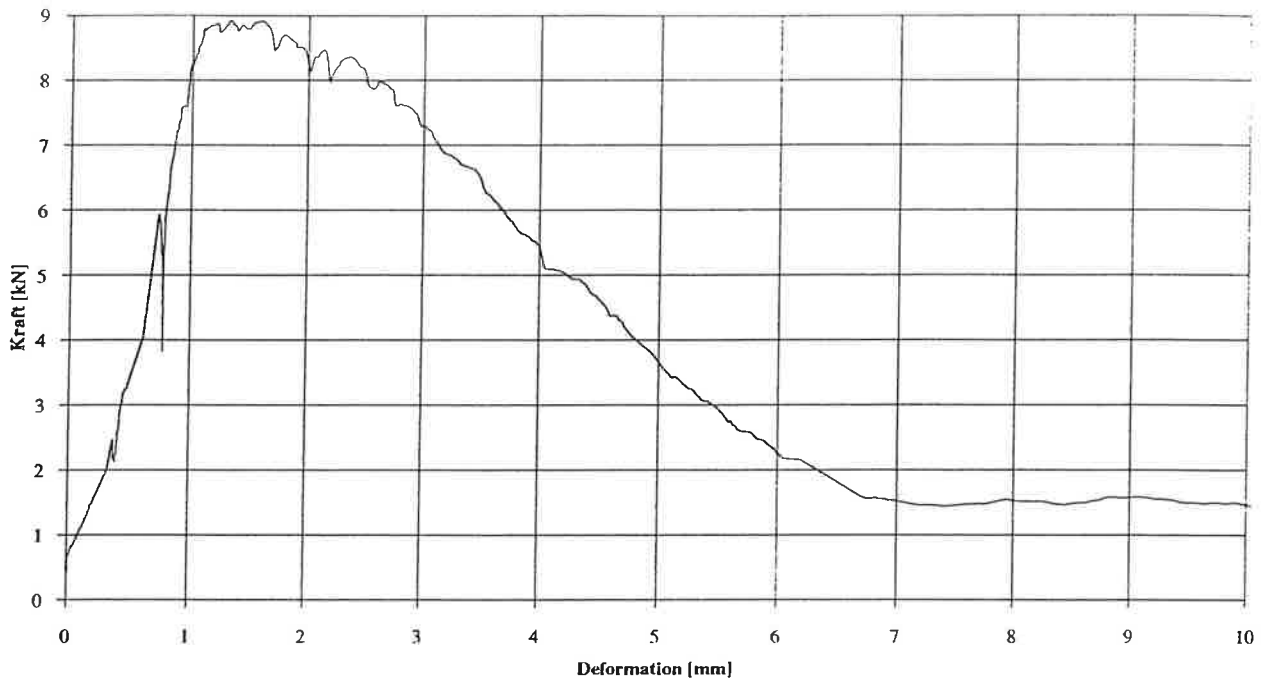
Figur 7.2. Principskiss över 40-ton press



Figur 7.3. Provkropp monterad i 40-tons press.

A: VCT = 0.80, Stål Ks40 Ø25, i = 100, Skadegrad 0**B: VCT = 0.65, Stål Ks40 Ø25, i = 100, Skadegrad 2**

D: VCT = 0.65, Stål Ks40 Ø12, i = 48, Skadegrad 2



Figur 7.4. Exempel på kraft-deformationsdiagram som registrerades vid provning. Det översta diagrammet på föregående sida är ett exempel på kraft-deformationsdiagram för brottypen "flera sprickor", det nedre diagrammet på föregående sida är ett exempel på brottypen "en spricka" medan diagrammet på denna sida är av typen "krossbrott". Brottyperna definieras i 8.4.

7.3 Kub- och spräckprovning

Kubprovningen utfördes enligt gängse metod på kuber med dimensionen 100x100x100 mm.

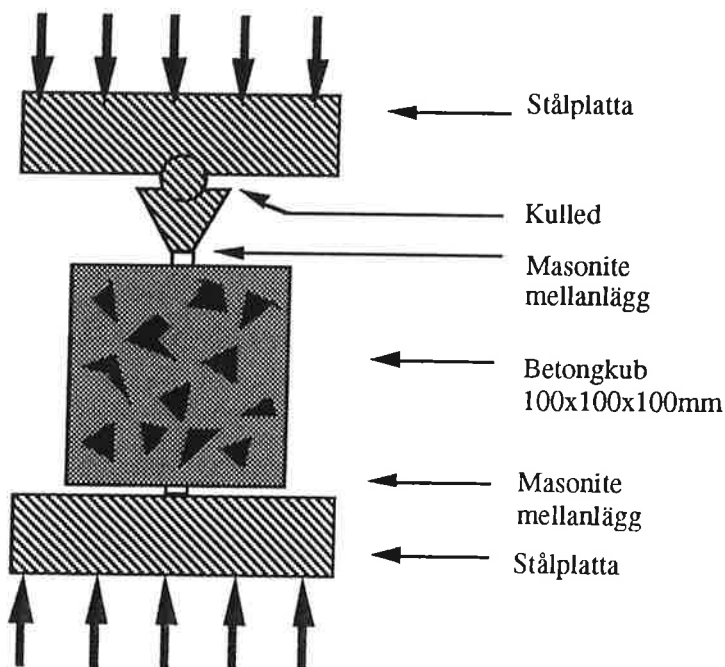
Spräckprovningen utfördes på kuber med dimensionen 100x100x100 mm. Samma press användes vid spräckprovningen som vid vidhäftningsprovningen. Kuben placerades mellan två stålplattor. För att betongkuberna skulle utsättas för en linjelast och för att utjämna eventuella ojämnheter, placerades 9 mm breda masoniteremсор mellan betong och stål, se figur 7.5. Stålplattorna pressades därefter samman med en hastighet av 1 kN/s, varefter uppnådd maxkraft noterades.

Spräckhållfastheten beräknades därefter med följande ekvation:

$$\sigma_{\text{spräck}} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot A} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{ekv 7.2})$$

F maxkraft vid spräckning [N]

A den spräckta arean, dvs kubens bredd · höjd [m²].



Figur 7.5. Spräckprovning.

8 RESULTAT

8.1 Allmänt

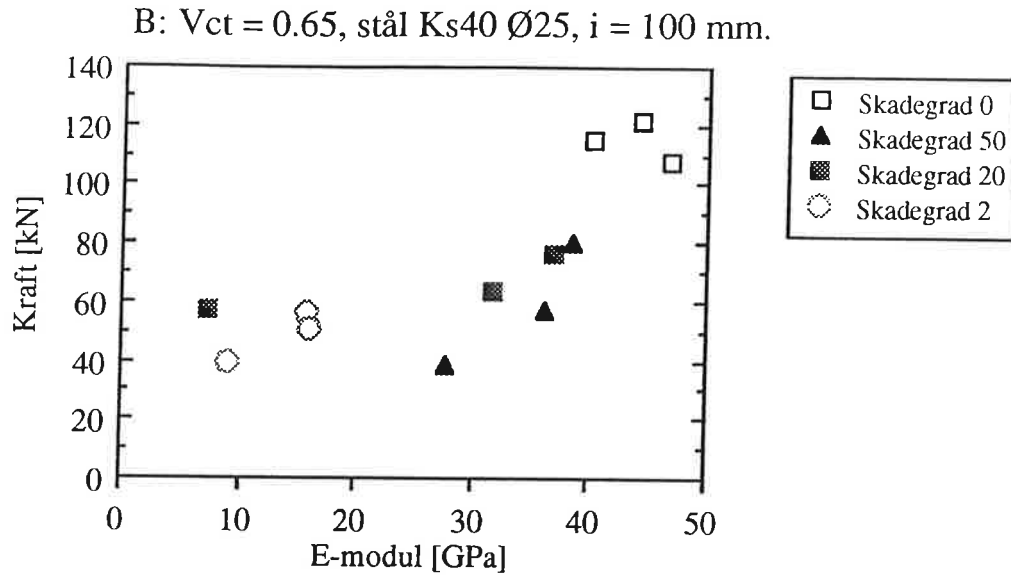
Avsikten med arbetet var att studera hur vidhäftningen mellan armering och betong påverkas av att betongen är frostskadad. Dessutom skulle vidhäftningens eventuella samband med kubhållfasthet, spräckhållfasthet och dynamisk E-modul sökas. Samtliga resultat redovisas i tabeller i bilaga 1. I bilaga 2-5 redovisas resultaten i diagramform.

Försöken visade att vidhäftningen mellan betong och armering ofta minskar kraftigt redan vid små frostsador. Skillnaden i kvarvarande vidhäftning mellan skadade betonger som har olika skadegrad är däremot ofta liten. En slutsats man kan dra av detta är att man kan förvänta att en frostskadad armerad betongkonstruktion har en låg resterande armeringsvidhäftning. Betongkonstruktioner utsatta för verkligt vinterklimat får dock oftast betydligt mindre frostsador än de som studerades i denna undersökning. Dessutom utsätts vanliga konstruktioner för betydligt längre intervall mellan nedfrysningarna än i föreliggande undersökning. Detta gör att man i verkligheten ofta har en viss självläkning hos betongen.

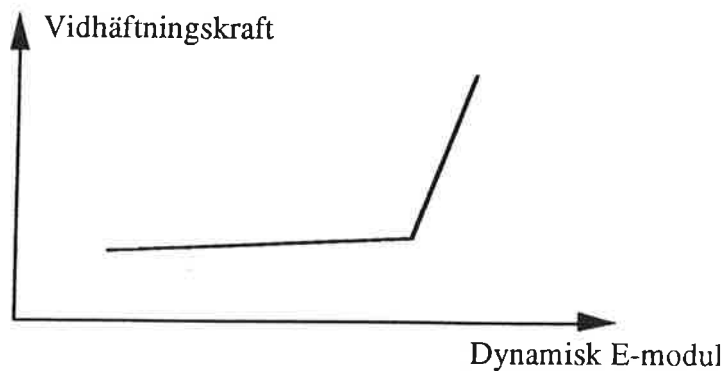
8.2 Vidhäftningsförlust som funktion av förlust i dynamisk E-modul (BILAGA 2)

Endast en liten minskning av E-modulen förorsakad av en frysskada ger en dramatisk minskning av maximala vidhäftningskraften mellan betong och armering. Detta framgår tydligt av exemplet i figur 8.1 som visar maximal vidhäftningskraft plottad mot dynamisk E-modul för en provomgång med vct 0.65, stål Ks40 Ø12 och med en ingjutningslängd av 72 mm. Motsvarande diagram för samtliga provomgångar återfinns i bilaga 2. Kan man påvisa en minskning av den dynamiska E-modulen på en betongkonstruktion som varit utsatt för frysning, bör man alltså kunna anta att vidhäftningen mellan armering och betong har minskat kraftigt.

Resultaten tyder på att sambandet mellan E-modul och kvarvarande vidhäftning ofta ser ut som figur 8.2 visar. En viss frostskada ger större utslag i vidhäftning än i E-modul. Denna är därför ett direkt mått på vidhäftningsförlust.

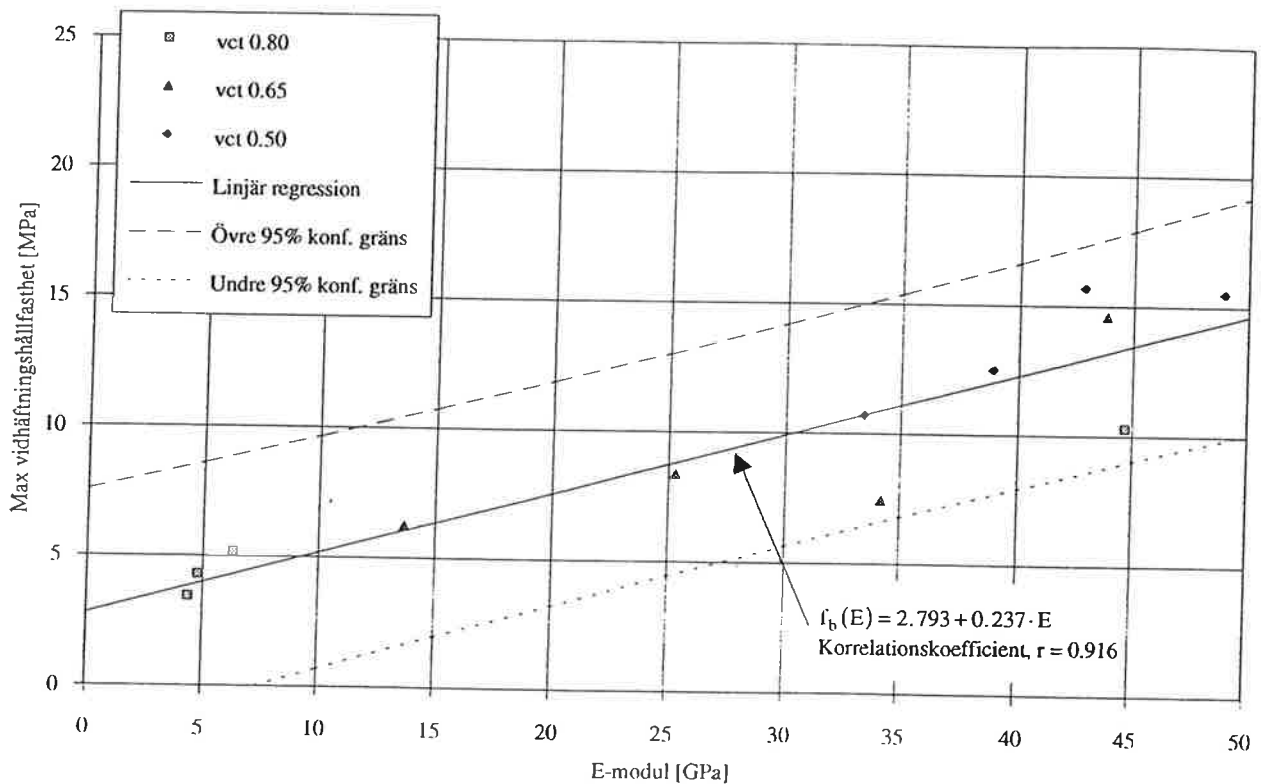


Figur 8.1. Maximal vidhäftningskraft plottad mot dynamisk E-modul för en provomgång med $v_{ct} 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$ och med en ingjutningslängd av 100 mm. Skadegraderna definieras i 4.3. (Skadegrad 0 har ej varit utsatt för frysning. Skadegrad 2 är den största skadegraden och 50 är den lägsta av skadegraderna 2, 20 och 50).



Figur 8.2. Principiellt samband mellan E-modul och kvarvarande vidhäftningskraft.

I figur 8.3 visas samtliga värden på maximal vidhäftningsspänning som funktion av uppmätt E-modul. Som synes tycks E-modulen vara direkt proportionell mot kvarvarande vidhäftningsspänning, oavsett betongkvalitet (vct) och frostskada. Det vill säga, kan E-modulen mätas och om sambandet mellan E-modul och kvarvarande vidhäftningsspänning är känt för aktuell ingjutningslängd i en viss konstruktion, kan man vid en minskning av E-modulen inte bara konstatera att den kvarvarande vidhäftningen minskat utan även erhålla dess storlek.

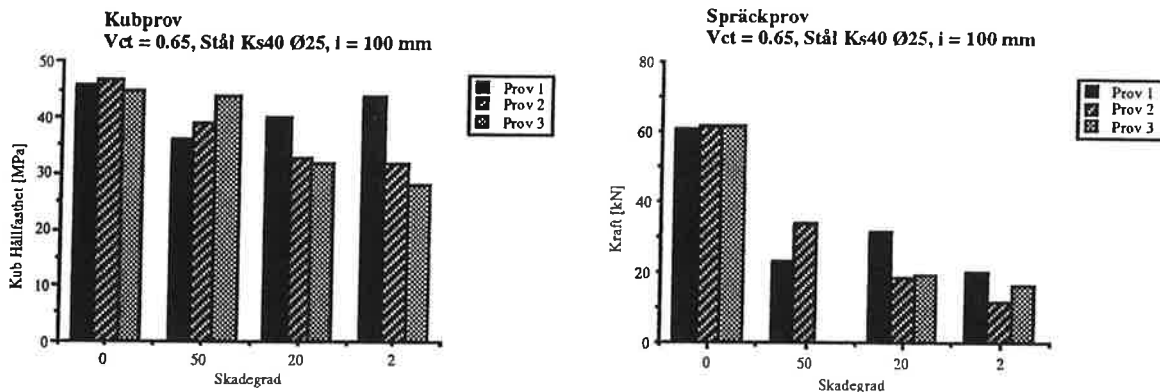


Figur 8.3. Maximal vidhäftningsspänning som funktion av uppmätt E-modul.

8.3 Vidhäftningsförlust som funktion av förlust i spräck- och kubhållfasthet

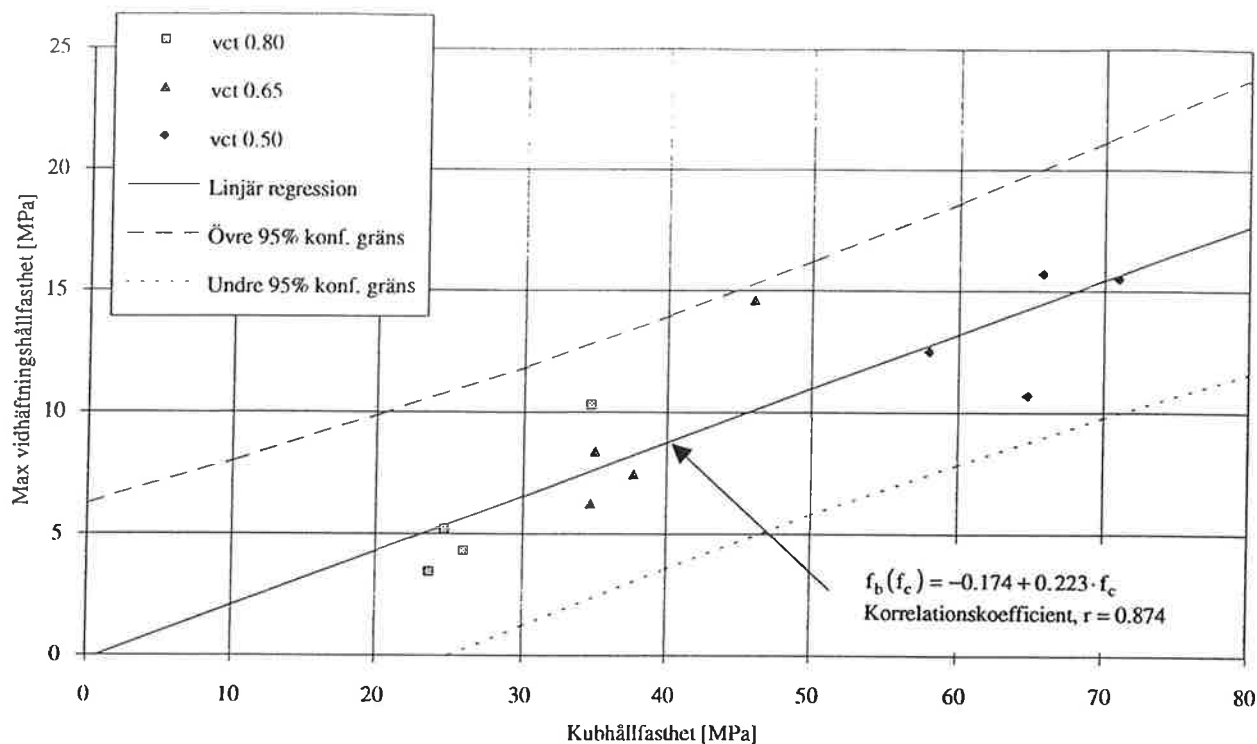
Sambanden mellan spräck- respektive kubhållfastheten och den kvarvarande vidhäftningshållfastheten liknar motsvarande samband mellan dynamisk E-modul och vidhäftning (figur 8.2), dock är sambanden ofta mindre väl definierade dvs spridningen är större. Se bilaga 3 och 4. Notera att spräck- och kubhållfastheten mätts på separata provkroppar.

Spridningen mellan resultaten hos provkroppar med samma skadegrad varierar något mer för kubhållfastheten än för spräckhållfastheten. Typiska variationer framgår för ett prov med vct 0.65 visas av figur 8.4. Resultat av samtliga provomgångar redovisas i bilaga 5.

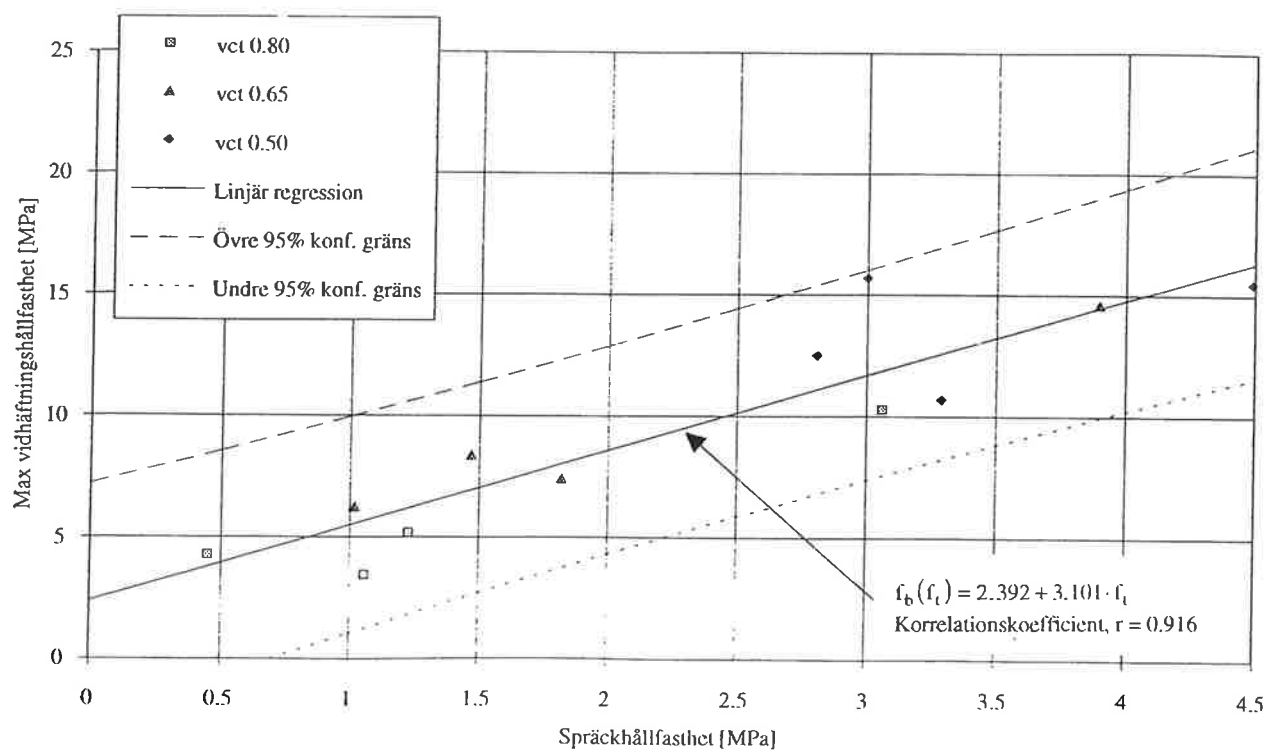


Figur 8.4. Kub- och spräckhållfasthetens variation inom en provomgång.

I figur 8.5 och 8.6 visas samtliga värden på maximal vidhäftningsspänning som funktion av uppmätt kubhållfasthet respektive spräckhållfasthet. På samma sätt som för sambandet mellan vidhäftningsspänning och E-modul (figur 8.3) tycks uppmätt kubhållfasthet och spräckhållfasthet vara direkt proportionell mot kvarvarande vidhäftningsspänning, oavsett betongkvalitet (vct) och frostskada.



Figur 8.5. Maximal vidhäftningsspänning som funktion av uppmätt kubhållfasthet.



Figur 8.6. Maximal vidhäftningsspänning som funktion av uppmätt spräckhållfasthet.

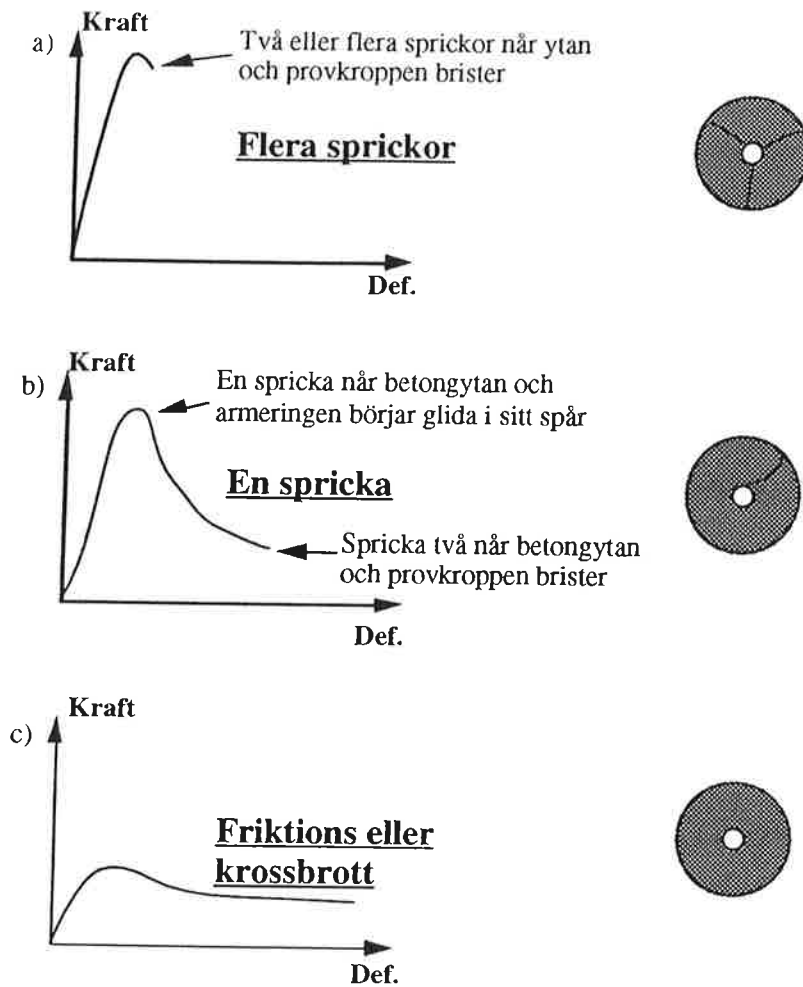
8.4 Brottets utseende samt inverkan av olika parametrar på maximal vidhäftningskraft

Vid vidhäftningsprovningsen kan fyra huvudtyper av brott urskiljas. Dessa är:

- Flera sprickor. Brottet sker häftigt och provkroppen delas i två till fyra delar. Efter brottet finns ingen resterande vidhäftningshållfasthet kvar, se figur 8.7 a.
- En spricka. En spricka dominerar och utvecklas ut till betongytan varvid sprickan tillåter armeringen att glida i provkroppen utan att armeringskammarna krossar betongen. En nedgång i kraft-deformationsdiagrammet kan registreras, se figur 8.7 b. Alltmedan nedgången i kraft fortgår och armeringen glider i sitt spår, utvecklas övriga sprickor långsamt mot ytan. När spricka två når ytan brister provet och delas i två delar.
- Krossbrott. Armeringskammarna krossar betongen i sitt spår utan att sprickor når betongytan. En nedgång i kraft-deformationsdiagrammet kan registreras där den kvarvarande kraften efter nedgången torde vara ren friktion, se figur 8.7 c.
- Friktionsbrott. Armeringen dras ut utan att sprickor utvecklas i betongen. Denna brottypp uppträder endast för rundstång. Kraft-deformationsdiagrammet liknar det för krossbrott men når en lägre maximal vidhäftningskraft, se figur 8.7 c.

Brottyperna för de olika betongkvaliteterna varierar. För provomgången med vct 0.50 är brottet av typen "flera sprickor". För en provomgång med samma ingjutningslängd och armering men med vct 0.65 är brottet av typen "en spricka" för de mest frysskadade provkropparna, övriga brott i omgången är av typen "flera sprickor". För oskadade prover med vct 0.80 är brottet av typen "flera sprickor". För de frysskadade provkropparna i samma serie varierar brottet mellan typerna "flera sprickor" och "en spricka". Se bilaga 1.

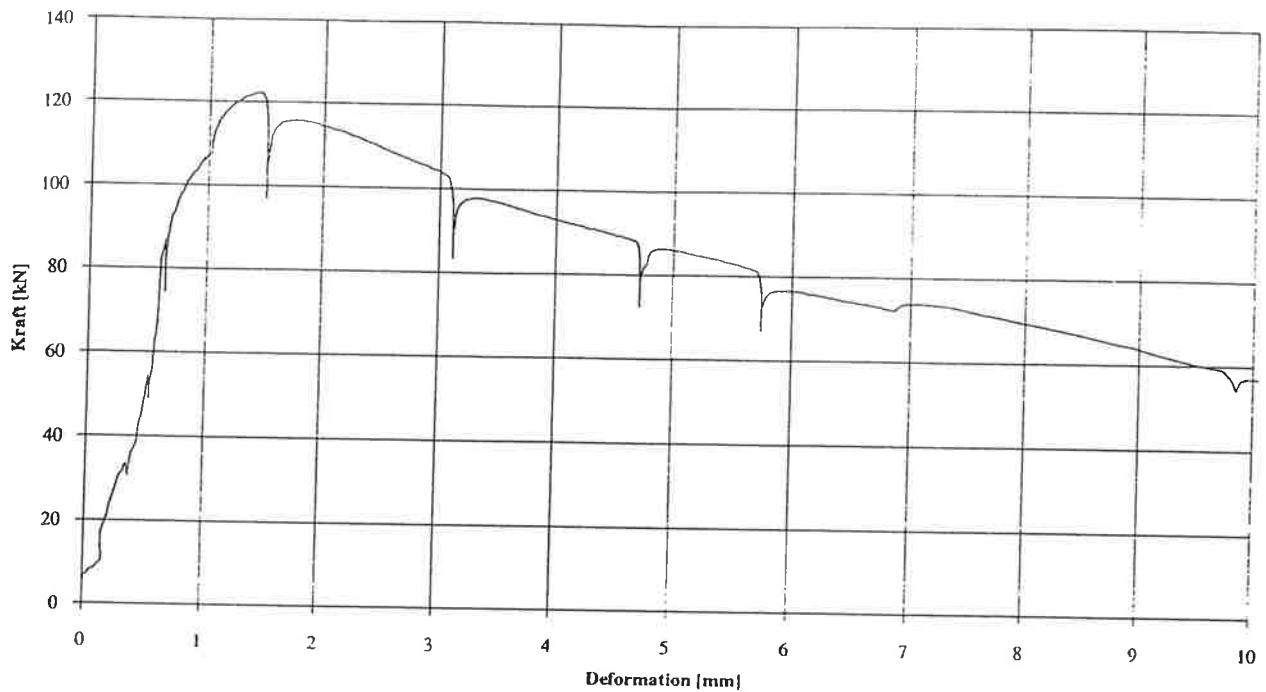
Rundstångerna ger uteslutande brott av typen "friktionsbrott". För armeringsjärn med kammar är det förhållandet mellan armeringens diameter, ingutningslängd samt skadegrad som bestämmer brottypp. För armering med diameter $\text{Ø}12$ är brotten vanligen av typen "krossbrott". För armering med $\text{Ø}25$ förekommer inte krossbrott utan brotten varierar mellan typerna "flera sprickor" och "en spricka". Se bilaga 1.



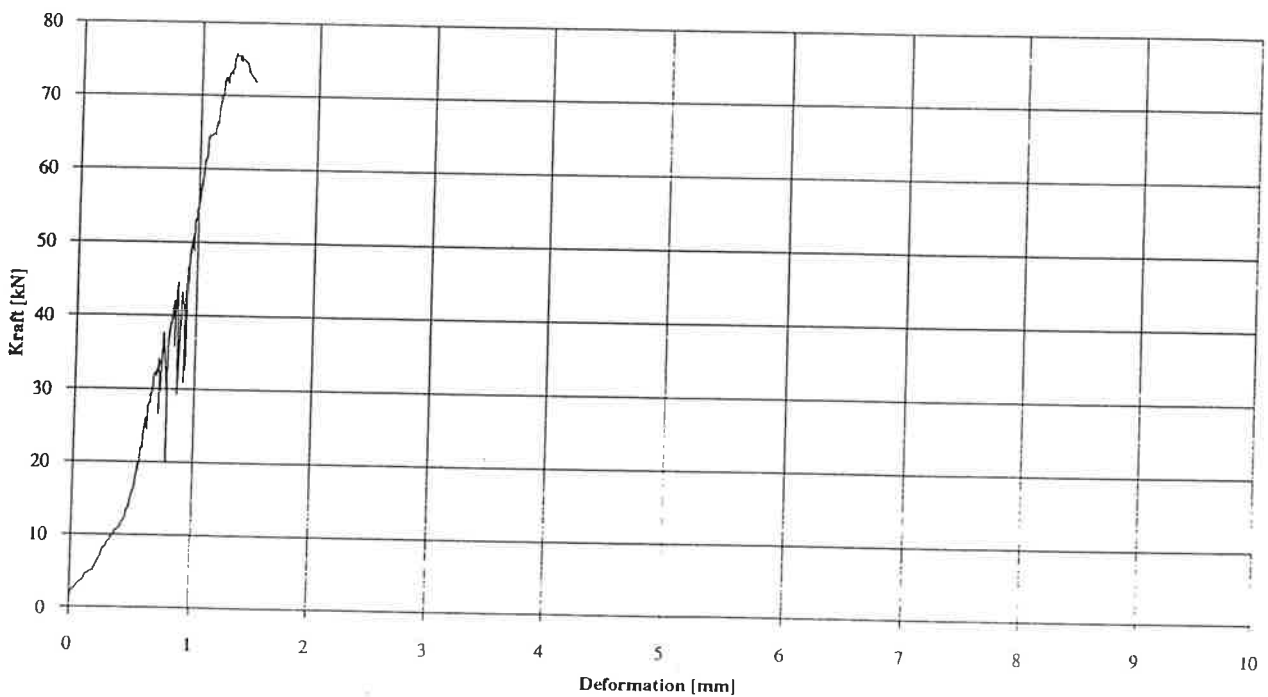
Figur 8.7. Brottyper. Se även bilaga 6 och figur 7.4.

Bygelarmerade provkroppar med excentriskt placerad armering får ett brott med flera sprickor som dock är segt i sin karaktär. Byglarna håller samman betongen så att en nedgång i kraft-deformation diagrammet kan noteras. Nedgången blir dessutom relativt liten. Efter en deformation av 10 mm bär armeringen fortfarande ca 45% av max vidhäftningskraft. Figur 8.8 visar två kraft-deformation diagram för samma typ av provkroppar men med respektive utan byglar.

Med byglar

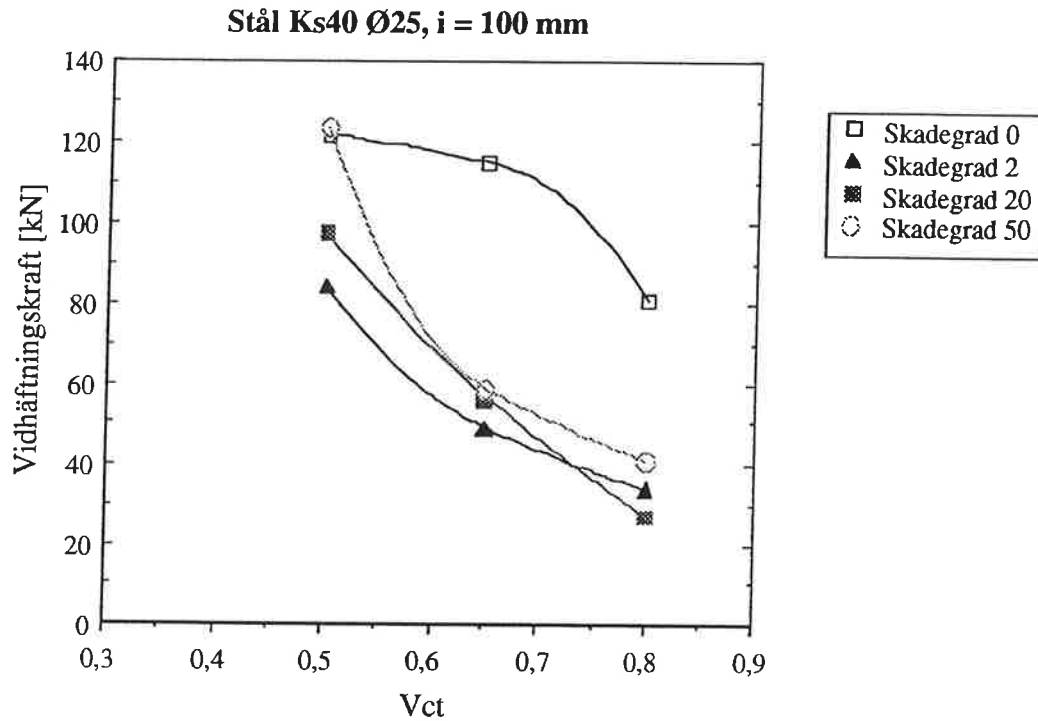


Utan Byglar



Figur 8.8. Kraft-deformation diagram för samma typ av provkroppar men med respektive utan byglar. (Vct 0.65, stål Ks40, $i = 100$ mm, excentriskt placerad armering oskadad/ofrusen).

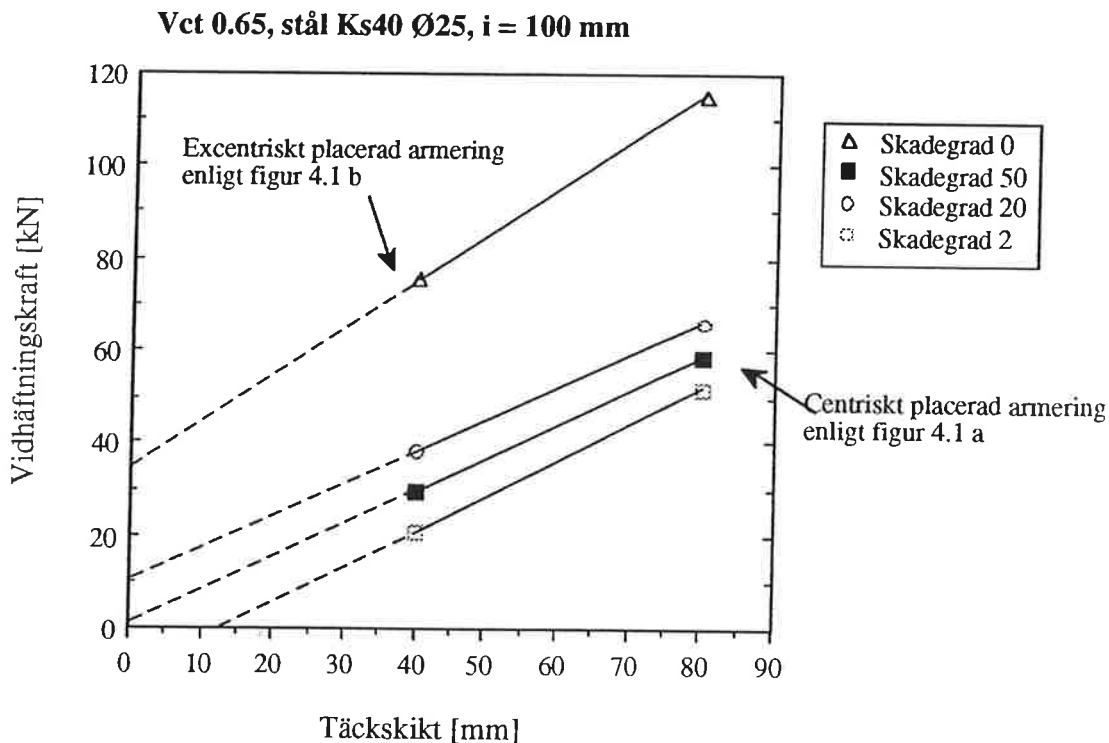
Figur 8.9 visar att maximal vidhäftningskraft minskar med ökat vct oavsett skadegrad. Dessutom framgår att betonger med låga vct är mindre känsliga för frysning än betonger med höga vct. Den oskadade betongen med vct 0.80 har ungefär samma vidhäftningskraft som de frysskadade betongerna med vct 0.5.



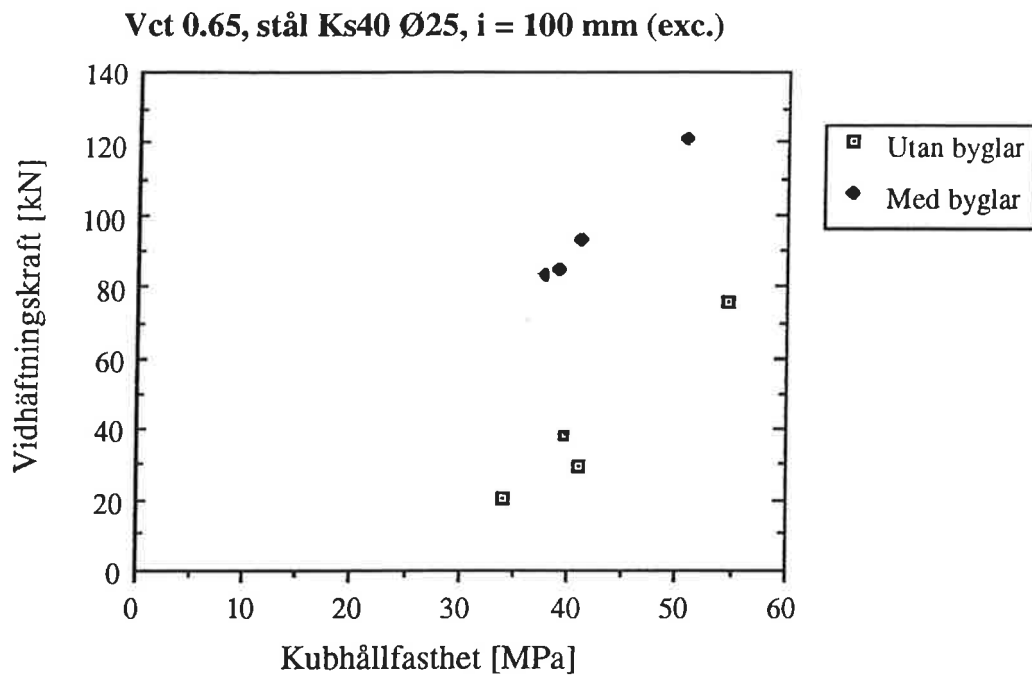
Figur 8.9. Maximal vidhäftningskraft mot vct.

Provomgången med ett excentriskt placerat armeringsjärn gav lägre maximal vidhäftningskraft än motsvarande provomgång med centriskt placerat järn; det vill säga, den maximala vidhäftningskraften minskar med minskat täckskikt, se figur 8.10. I figuren motsvaras täckskiktet 80 mm av centriskt placerat järn och 40 mm av excentriskt placerat järn.

Bygelarmeras provkroppen med det excentriskt placerade armeringsjärnet ökar vidhäftningen mellan betong och armering. Byglarna försenar tillväxten av sprickor och brottet blir segare. Se figur 8.8 och 8.11.



Figur 8.10. Täckskiktets inverkan på maximal vidhäftningskraft mellan armering och betong.



Figur 8.11. Bygelarmeringens inverkan på vidhäftningen.

Bilaga 1

Tabeller över samtliga försöksresultat

Bilaga 1

A: VCT = 0.80, stål Ks40 Ø25, i = 100 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	43.7	87.0	Flera sprickor
	2	45.5	73.0	Flera sprickor
	3	45.0	83.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	44.7 (0.93)	81.0 (7.2)	
50	1	-	42.0	En spricka
	2	6.3	51.0	Flera sprickor
	3	6.4	29.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	6.3 (0.07)	40.7 (11.1)	
20	1	-	19.0	En spricka
	2	4.4	34.0	En spricka
	3	-	28.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	4.4 (-)	27.0 (7.5)	
2	1	-	36.0	En spricka
	2	4.8	40.0	En spricka
	3	-	25.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	4.8 (-)	33.7 (7.8)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	3.42	35
	2	2.90	34
	3	2.86	35
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	3.06 (0.31)	34.7 (0.58)
50	1	1.09	25
	2	1.74	25
	3	0.88	24
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.23 (0.45)	24.7 (0.58)
20	1	0.90	22
	2	1.20	23
	3	1.08	26
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.06 (0.15)	23.7 (2.1)
2	1	0.83	30
	2	1.71	24
	3	1.08	24
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.21 (0.45)	26.0 (3.5)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

B: VCT = 0.65, stål Ks40 Ø25, i = 100 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	40.2	115.0	Flera sprickor
	2	46.8	108.0	Flera sprickor
	3	44.3	122.0	Flera sprickor
	Medel, (σ_{n-1})	43.8 (3.3)	115.0 (7.0)	
50	1	36.2	57.0	Flera sprickor
	2	27.8	39.0	Flera sprickor
	3	38.5	80.0	Flera sprickor
	Medel, (σ_{n-1})	34.2 (5.6)	58.7 (20.5)	
20	1	31.6	64.0	Flera sprickor
	2	36.9	76.0	Flera sprickor
	3	7.4	57.0	En spricka
	Medel, (σ_{n-1})	25.3 (15.7)	65.7 (9.6)	
2	1	16.1	51.0	En spricka
	2	15.9	56.0	En spricka
	3	9.0	40.0	En spricka
	Medel, (σ_{n-1})	13.7 (4.0)	49.0 (8.2)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	3.86	46
	2	3.92	47
	3	3.92	45
	Medel, (σ_{n-1})	3.90 (0.03)	46.0 (1.0)
50	1	1.48	36
	2	2.15	39
	3	-	44
	Medel, (σ_{n-1})	1.82 (0.47)	37.7 (4.0)
20	1	2.01	40
	2	1.17	33
	3	1.24	32
	Medel, (σ_{n-1})	1.47 (0.47)	35.0 (4.4)
2	1	1.26	44
	2	0.77	32
	3	1.02	28
	Medel, (σ_{n-1})	1.02 (0.25)	34.7 (8.3)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

C: VCT = 0.65, stål Ks40 Ø25, i = 130 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	45.5	115.0	Flera sprickor
	2	48.8	142.0	Flera sprickor
	3	46.2	152.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	46.8 (1.7)	136.3 (19.1)	
50	1	26.6	70.0	En spricka
	2	26.4	77.0	Flera sprickor
	3	27.8	49.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	26.9 (0.76)	65.3 (14.6)	
20	1	22.8	56.0	En spricka
	2	29.4	53.0	En spricka
	3	30.3	51.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	27.5 (4.1)	53.3 (2.5)	
2	1	27.3	42.0	En spricka
	2	26.4	50.0	En spricka
	3	26.9	40.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	26.9 (0.45)	44.0 (5.3)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	4.19	55
	2	3.33	53
	3	4.40	52
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	3.97 (0.57)	53.3 (1.5)
50	1	1.92	40
	2	2.58	38
	3	2.01	42
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	2.17 (0.36)	40.0 (2.0)
20	1	1.53	32
	2	1.50	35
	3	1.18	43
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.40 (0.19)	36.7 (5.7)
2	1	1.02	35
	2	1.27	32
	3	1.21	46
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.17 (0.13)	37.7 (7.4)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

D: VCT = 0.65, stål Ks40 Ø12, i = 48 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	47.8	25.0	Kross
	2	44.4	27.0	Kross
	3	46.8	32.0	Kross
	Medel, (σ_{n-1})	46.3 (1.7)	28.0 (3.6)	
50	1	31.5	15.0	Kross
	2	21.9	14.0	Kross
	3	34.1	14.0	Kross
	Medel, (σ_{n-1})	29.2 (6.4)	14.3 (0.58)	
20	1	23.4	20.0	Kross
	2	33.1	14.0	Kross
	3	30.5	16.0	Kross
	Medel, (σ_{n-1})	29.0 (5.0)	16.7 (3.1)	
2	1	21.3	10.0	Kross
	2	25.8	8.9	Kross
	3	23.1	13.0	Kross
	Medel, (σ_{n-1})	23.4 (2.3)	10.6 (2.1)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	3.93	53
	2	4.22	54
	3	3.85	51
	Medel, (σ_{n-1})	4.00 (0.19)	52.7 (1.5)
50	1	1.01	40
	2	2.21	34
	3	1.38	35
	Medel, (σ_{n-1})	1.53 (0.61)	36.3 (3.2)
20	1	1.09	42
	2	1.07	31
	3	1.60	38
	Medel, (σ_{n-1})	1.25 (0.30)	37.0 (5.6)
2	1	1.55	40
	2	1.12	31
	3	0.96	31
	Medel, (σ_{n-1})	1.21 (0.31)	34.0 (5.2)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

E: VCT = 0.65, stål Ks40 Ø12, i = 72 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	46.2	43.0	Kross
	2	45.4	38.0	Kross
	3	46.7	41.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	46.1 (0.66)	40.7 (2.5)	
50	1	10.3	13.6	Kross
	2	24.1	14.8	Kross
	3	-	9.5	Kross
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	17.2 (9.8)	12.6 (2.8)	
20	1	31.3	20.0	Kross
	2	28.7	15.0	Kross
	3	26.8	19.3	Kross
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	28.9 (2.3)	18.1 (2.7)	
2	1	-	13.0	Kross
	2	7.2	15.0	Kross
	3	-	10.7	Kross
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	7.2 (-)	12.9 (2.2)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	3.81	44
	2	3.63	46
	3	-	-
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	3.72 (0.13)	45.0 (1.4)
50	1	2.03	33
	2	1.21	41
	3	-	38
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.62 (0.58)	37.3 (4.0)
20	1	1.43	38
	2	0.85	35
	3	-	29
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.14 (0.41)	34.0 (4.6)
2	1	2.09	39
	2	0.96	25
	3	-	33
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.52 (0.80)	32.3 (7.0)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

F: VCT = 0.65, stål rundstång Ø25, i = 100 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brotttyp
0	1	50.5	20.0	Friktion
	2	47.4	13.5	Friktion
	3	44.9	13.0	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	47.6 (2.8)	15.5 (3.9)	
50	1	17.7	0.8	Friktion
	2	27.8	2.0	Friktion
	3	17.6	2.2	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	21.0 (5.8)	1.7 (0.76)	
20	1	12.6	1.0	Friktion
	2	13.1	1.4	Friktion
	3	23.0	2.5	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	16.2 (5.9)	1.6 (0.78)	
2	1	-	-	Friktion
	2	15.1	1.8	Friktion
	3	-	0.4	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	15.1 (-)	1.1 (0.99)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	4.04	43
	2	3.92	45
	3	4.27	46
	Medel, (σ_{n-1})	4.08 (0.18)	44.7 (1.5)
50	1	2.74	34
	2	2.42	32
	3	2.97	41
	Medel, (σ_{n-1})	2.71 (0.28)	35.7 (4.7)
20	1	1.94	38
	2	2.41	33
	3	2.29	39
	Medel, (σ_{n-1})	2.21 (0.24)	36.7 (3.2)
2	1	2.24	44
	2	1.90	34
	3	2.04	31
	Medel, (σ_{n-1})	2.06 (0.17)	36.3 (6.8)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

G: VCT = 0.65, stål rundstång Ø25, i = 130 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	45.7	18.0	Friktion
	2	41.4	32.0	Friktion
	3	42.8	23.0	Friktion
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	43.3 (2.2)	24.3 (7.1)	
50	1	38.6	8.6	Friktion
	2	36.5	3.1	Friktion
	3	30.5	6.8	Friktion
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	35.2 (4.2)	6.2 (2.8)	
20	1	32.7	2.3	Friktion
	2	27.4	-	-
	3	32.6	1.4	Friktion
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	30.9 (3.0)	1.9 (0.63)	
2	1	9.6	-	-
	2	10.8	1.7	Friktion
	3	15.0	0.8	Friktion
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	11.8 (2.8)	1.3 (0.64)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	4.07	48
	2	4.14	46
	3	3.92	-
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	4.04 (0.11)	47.0 (1.41)
50	1	1.63	32
	2	1.70	26
	3	2.18	39
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.84 (0.30)	32.3 (6.5)
20	1	1.31	32
	2	1.97	29
	3	1.22	37
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.50 (0.41)	32.7 (4.0)
2	1	1.47	37
	2	1.25	39
	3	-	43
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.36 (0.16)	39.7 (3.1)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

H: VCT = 0.65, stål rundstång Ø12, i = 72 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brotttyp
0	1	37.7	2.7	Friktion
	2	39.0	8.4	Friktion
	3	41.3	5.5	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	39.3 (1.8)	5.5 (2.9)	
50	1	43.2	10.1	Friktion
	2	42.5	4.3	Friktion
	3	42.9	3.4	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	42.9 (0.35)	5.9 (3.6)	
20	1	34.7	1.0	Friktion
	2	43.1	2.7	Friktion
	3	39.6	1.2	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	39.1 (4.2)	1.6 (0.93)	
2	1	24.7	1.3	Friktion
	2	31.6	10.0	Friktion
	3	21.9	1.5	Friktion
	Medel, (σ_{n-1})	26.1 (5.0)	4.3 (5.0)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	4.30	55
	2	4.21	53
	3	4.34	52
	Medel, (σ_{n-1})	4.28 (0.07)	53.3 (1.5)
50	1	3.23	53
	2	2.50	51
	3	3.20	51
	Medel, (σ_{n-1})	2.98 (0.41)	51.7 (1.2)
20	1	2.28	48
	2	2.11	44
	3	1.45	40
	Medel, (σ_{n-1})	1.95 (0.44)	44.0 (4.0)
2	1	2.31	47
	2	2.36	46
	3	3.06	46
	Medel, (σ_{n-1})	2.58 (0.42)	46.3 (0.58)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

I: VCT = 0.50, stål Ks40 Ø25, i = 100 mm

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	48.7	157.0	Flera sprickor
	2	49.1	102.0	Flera sprickor
	3	48.8	107.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	48.9 (0.21)	122.0 (30.4)	
50	1	45.1	131.0	Flera sprickor
	2	41.9	110.0	Flera sprickor
	3	41.3	130.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	42.8 (2.0)	123.7 (11.8)	
20	1	34.8	88.0	Flera sprickor
	2	40.9	87.0	Flera sprickor
	3	40.9	118.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	38.9 (3.5)	97.7 (17.6)	
2	1	-	77.0	Flera sprickor
	2	-	-	-
	3	33.4	91.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	33.4 (-)	84.0 (9.9)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	4.46	73
	2	4.59	68
	3	4.44	72
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	4.49 (0.08)	71.0
50	1	3.69	66
	2	2.81	66
	3	2.49	65
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	3.00 (0.62)	65.7
20	1	2.85	63
	2	3.09	55
	3	2.48	56
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	2.81 (0.31)	58.0
2	1	3.89	62
	2	2.69	66
	3	3.30	66
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	3.29 (0.60)	64.7

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

J: VCT = 0.65, stål Ks40 Ø25, i = 100 mm (exc.)

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp
0	1	47.0	64.0	Flera sprickor
	2	47.1	75.0	Flera sprickor
	3	49.7	88.0	Flera sprickor
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	47.9 (1.5)	75.7 (12.0)	
50	1	29.4	33.0	En spricka
	2	22.1	21.0	En spricka
	3	23.1	34.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	24.9 (4.0)	29.3 (7.2)	
20	1	39.2	38.0	En spricka
	2	35.4	37.0	En spricka
	3	34.8	40.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	36.5 (2.4)	38.3 (1.5)	
2	1	17.0	27.0	En spricka
	2	20.2	19.0	En spricka
	3	25.9	16.0	En spricka
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	21.0 (4.5)	20.7 (5.7)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	3.97	55
	2	3.99	55
	3	3.72	54
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	3.89 (0.15)	54.7 (0.57)
50	1	1.69	41
	2	2.06	44
	3	1.48	38
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.74 (0.29)	41.0 (3.0)
20	1	2.02	36
	2	1.31	38
	3	1.19	45
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.5 (0.45)	39.7 (4.7)
2	1	1.50	32
	2	1.05	32
	3	1.27	38
	Medel, ($\sigma_n - 1$)	1.27 (0.23)	34.0 (3.5)

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

Bilaga 1

K: VCT = 0.65, stål Ks40 Ø25, i = 100 mm (exc. med bygelarmering)

Skadegrad	Prov	E-modul [GPa]	Vidh. maxkraft [kN]	Brottyp ¹⁾
0	1	43.0	131.0	Flera sprickor
	2	42.8	120.0	Flera sprickor
	3	38.5	112.0	Flera sprickor
	Medel, (σ_{n-1})	41.4 (2.5)	121.0 (9.5)	
50	1	11.8	83.0	Flera sprickor
	2	29.3	95.0	Flera sprickor
	3	25.9	100.0	Flera sprickor
	Medel, (σ_{n-1})	22.3 (9.3)	92.7 (8.7)	
20	1	11.9	94.0	Flera sprickor
	2	9.1	78.0	Flera sprickor
	3	11.9	82.0	Flera sprickor
	Medel, (σ_{n-1})	11.0 (1.6)	84.7 (8.3)	
2	1	17.8	87.0	Flera sprickor
	2	13.8	72.0	Flera sprickor
	3	13.5	91.0	Flera sprickor
	Medel, (σ_{n-1})	15.0 (2.4)	83.3 (10.0)	

Skadegrad	Prov	Spräckhållfast. [MPa]	Kubhållfast. [MPa]
0	1	4.37	51
	2	4.32	48
	3	4.11	53
	Medel, (σ_{n-1})	4.26 (0.14)	50.7 (2.5)
50	1	1.69	42
	2	2.22	36
	3	2.22	45
	Medel, (σ_{n-1})	2.04 (0.31)	41.0 (4.6)
20	1	2.13	39
	2	2.23	39
	3	1.54	39
	Medel, (σ_{n-1})	1.97 (0.37)	39.0 (0)
2	1	1.99	40
	2	1.32	36
	3	1.59	37
	Medel, (σ_{n-1})	1.63 (0.34)	37.7(2.1)

1) Med bygelarmering blir det ett specialfall av brottypen "flera sprickor", se kapitel 8.4.

Prov 1, 2 och 3 för den undre tabellen har ingen koppling till prov 1, 2 och 3 i den övre tabellen.

Skadegraderna definieras i 4.3.

Standardavvikelsen σ_{n-1} är normerad med $1/(1-n)$.

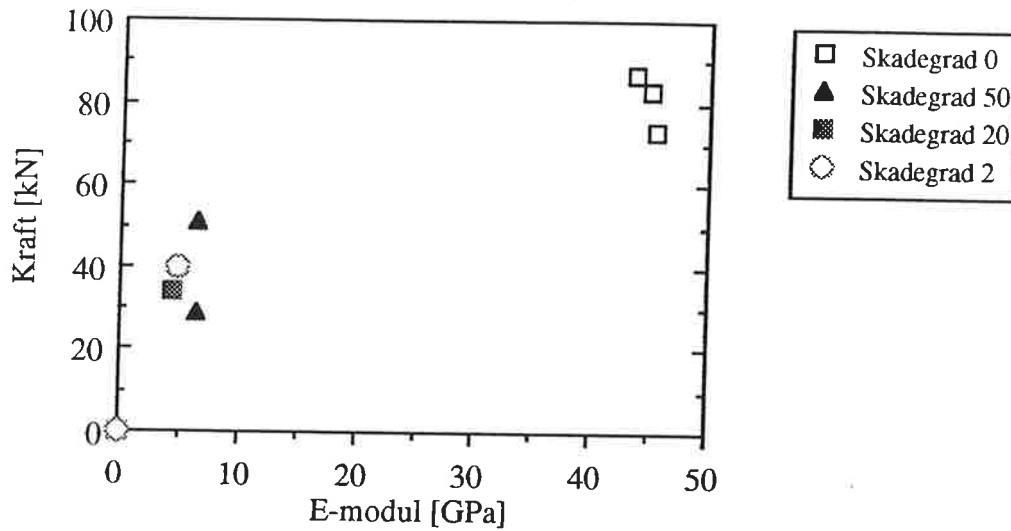
Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

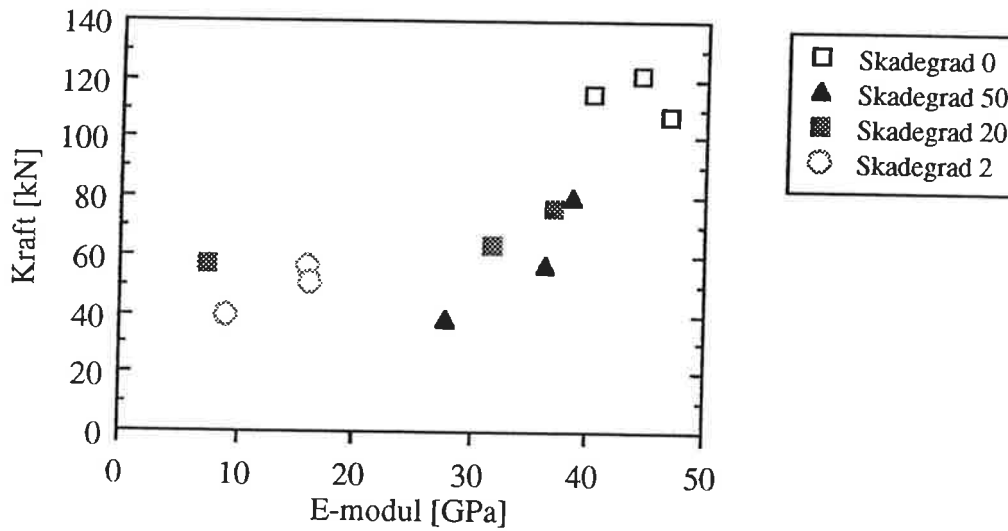
Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

A: $V_{ct} = 0.80$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



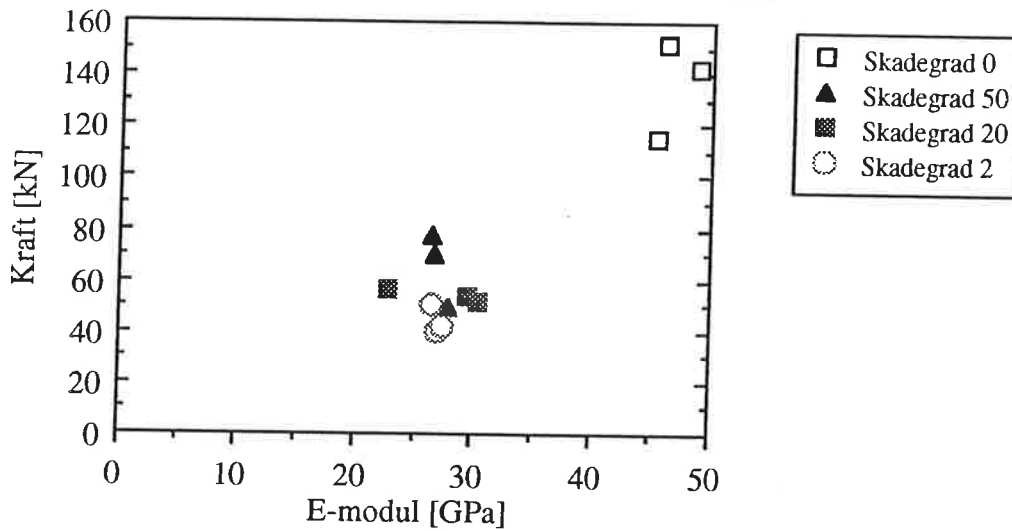
B: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



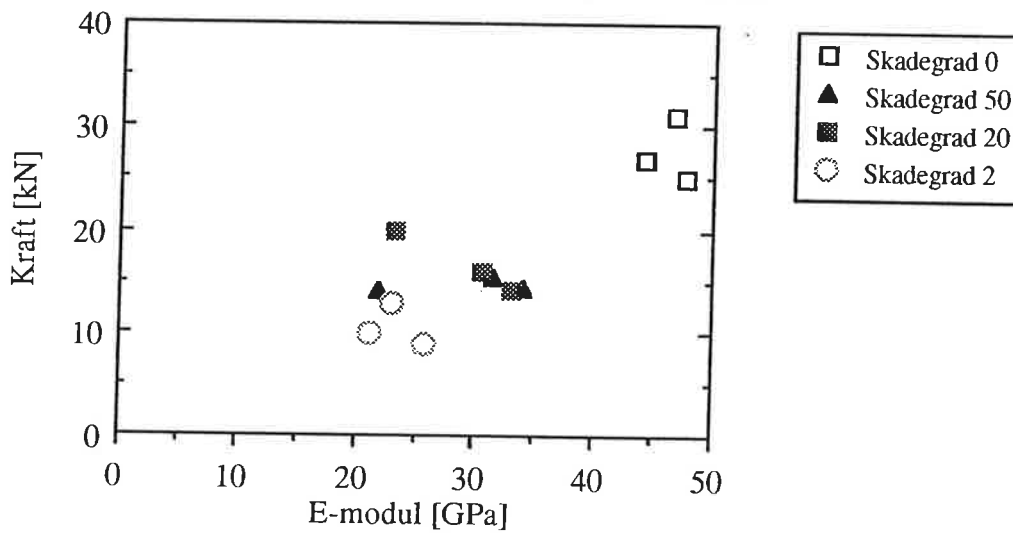
Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

C: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 130$ mm.



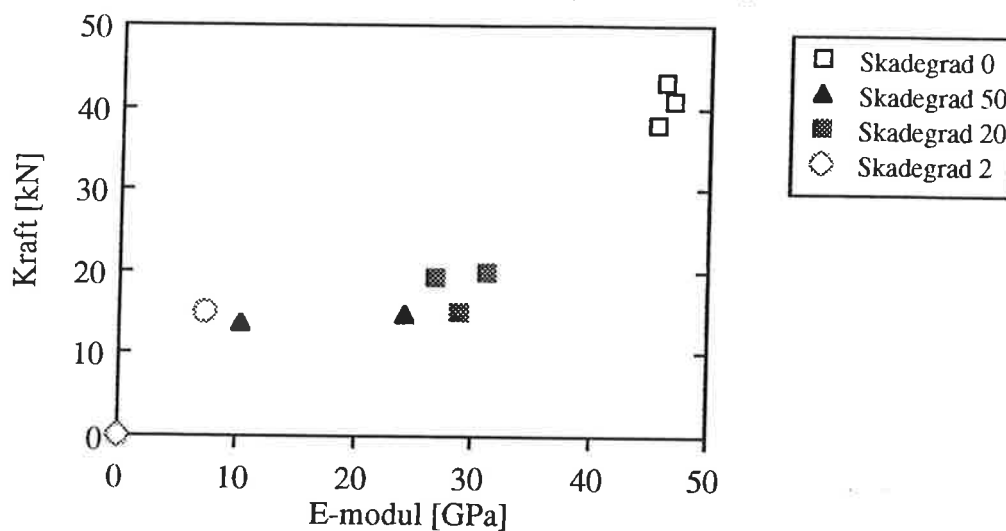
D: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 12$, $i = 48$ mm.



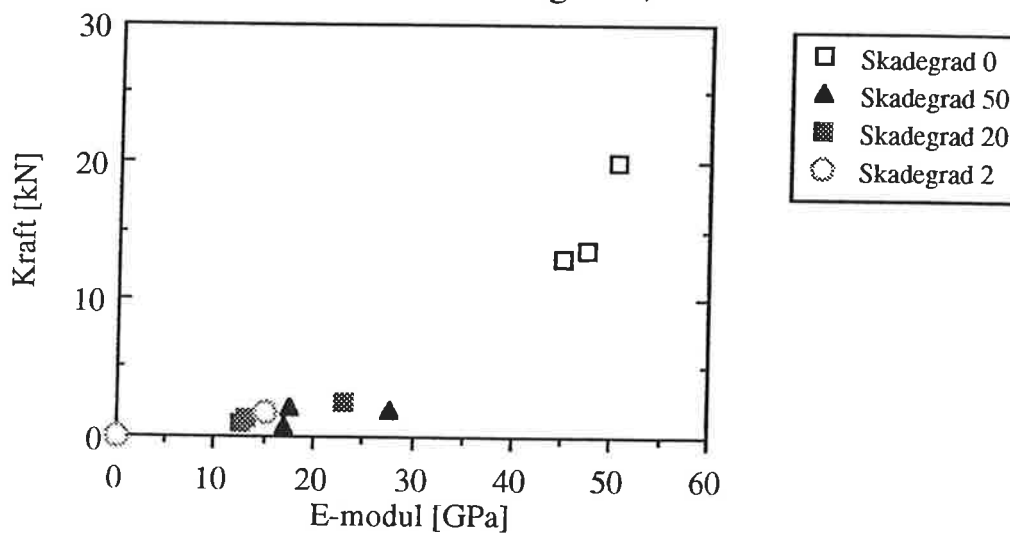
Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

E: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 12$, $i = 72$ mm.



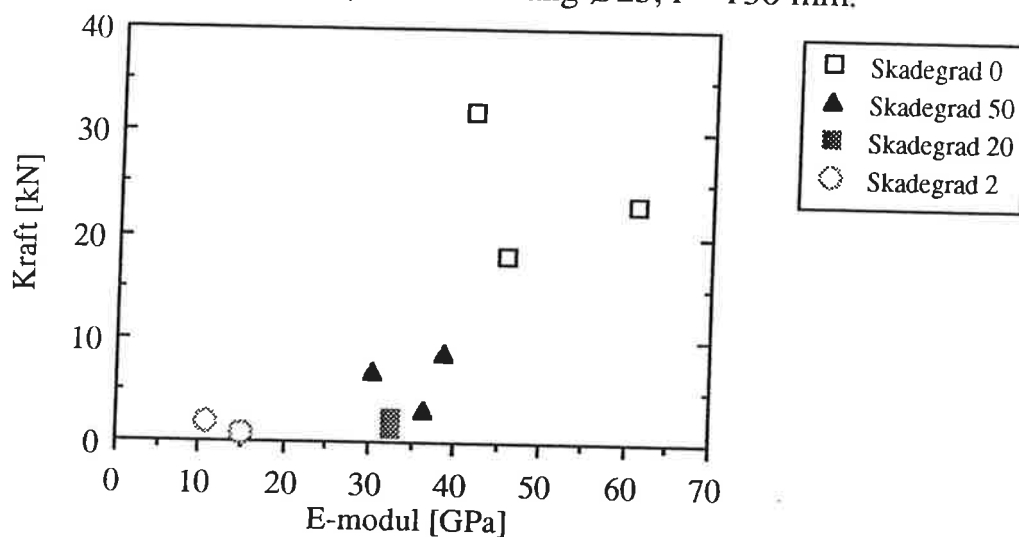
F: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



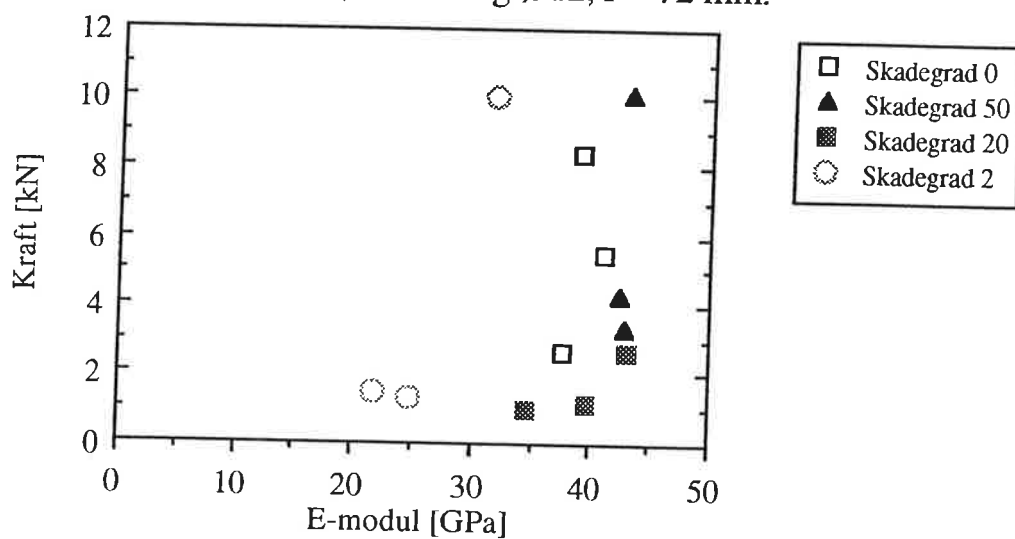
Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

G: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\varnothing 25$, $i = 130$ mm.



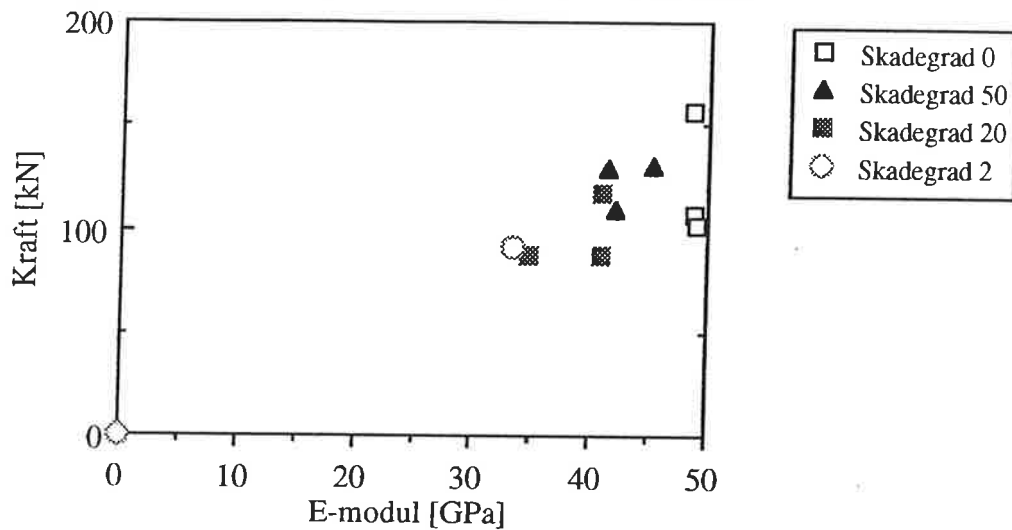
H: $V_{ct} = 0.65$, rundstång $\varnothing 12$, $i = 72$ mm.



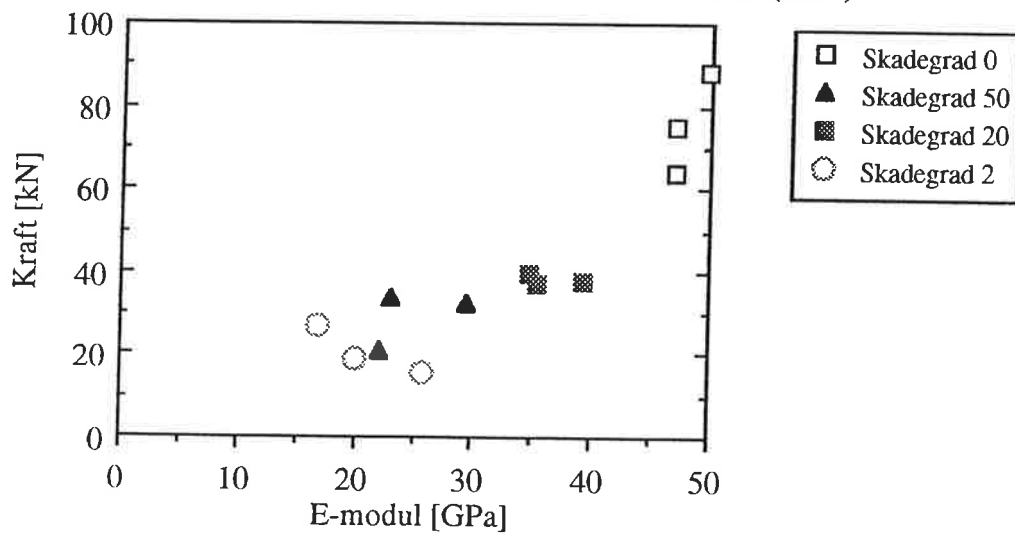
Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

I: $V_{ct} = 0.50$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



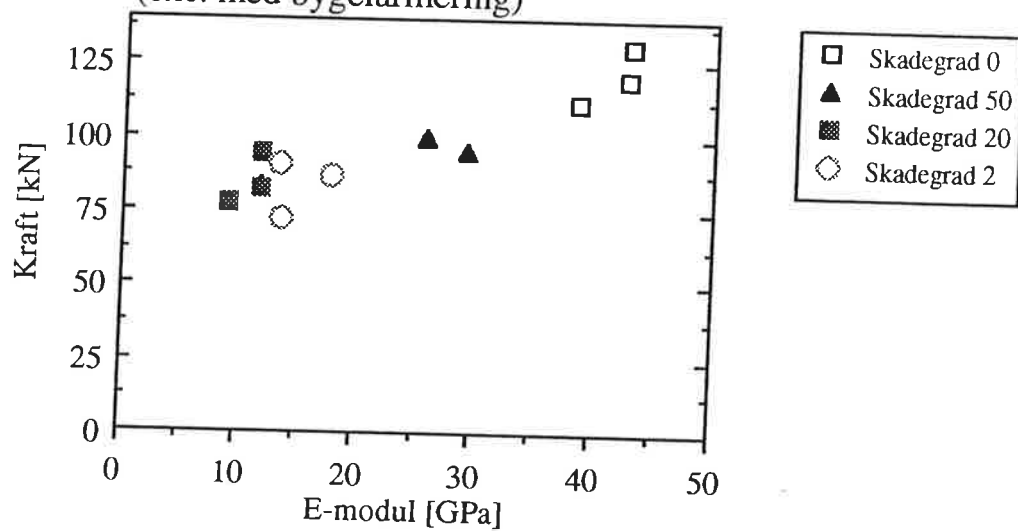
J: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm. (exc.)



Bilaga 2

Samband mellan vidhäftningskraft och dynamisk E-modul

K: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\text{Ø}25$, $i = 100$ mm.
(exc. med bygelarmering)



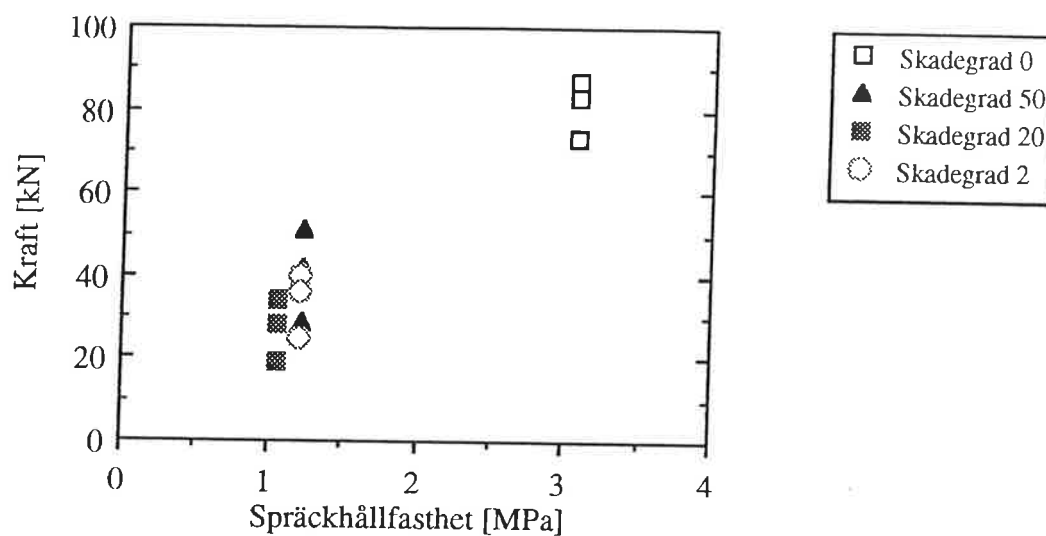
Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

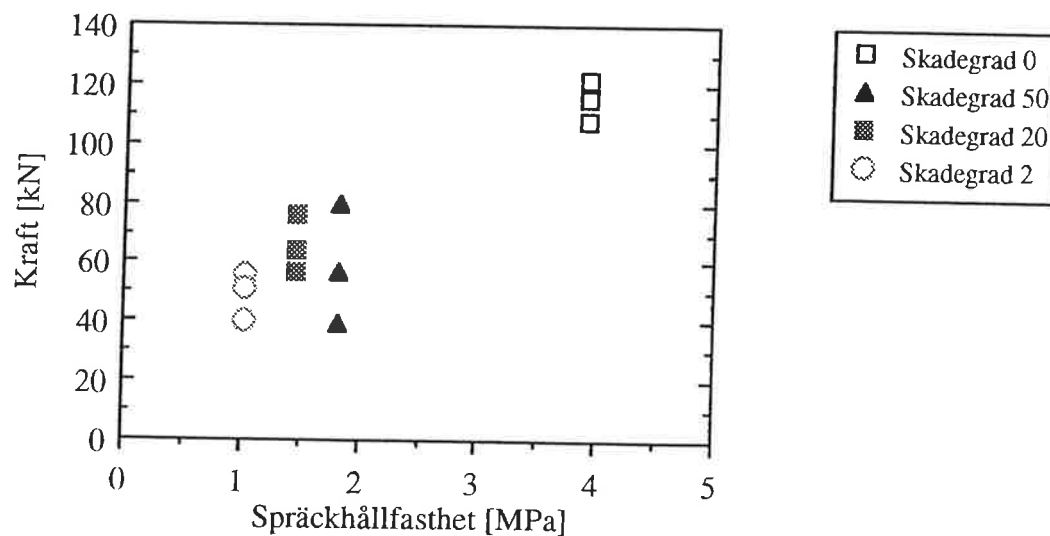
Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

A: $V_{ct} = 0.80$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm



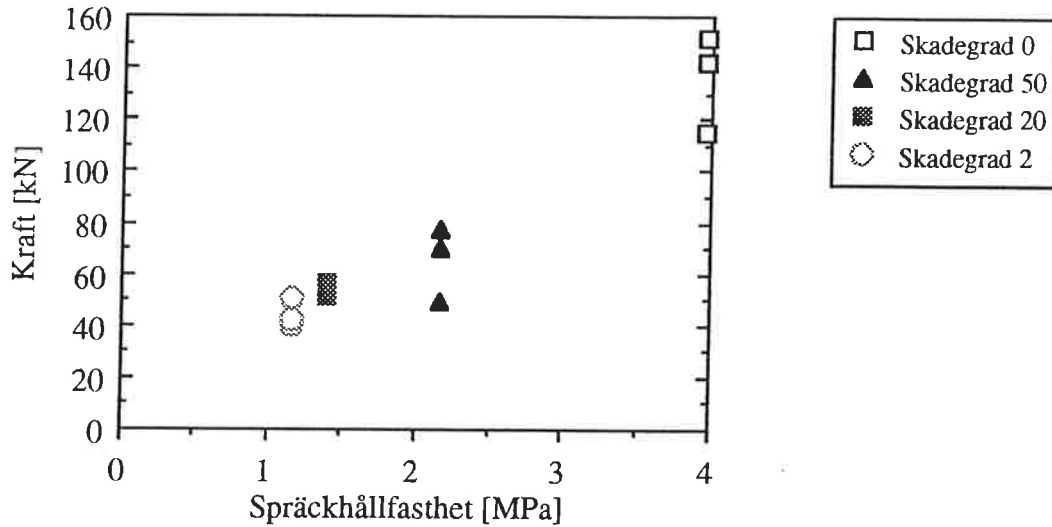
B: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm



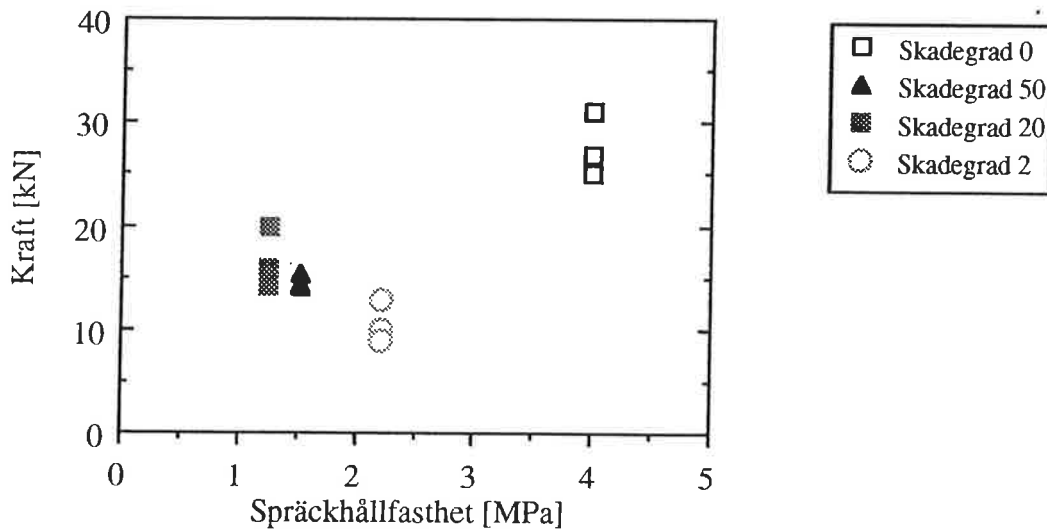
Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

C: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 130$ mm



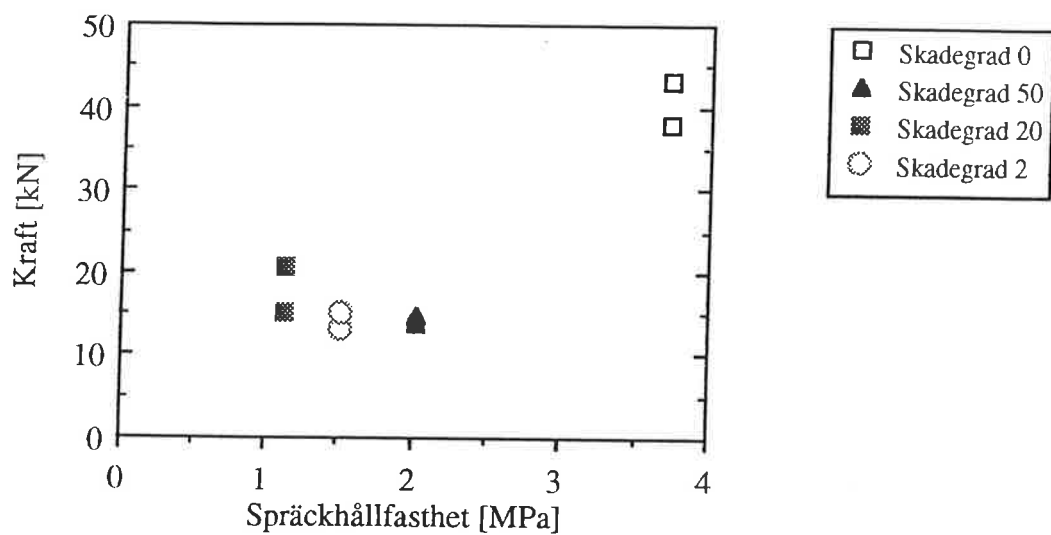
D: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 12$, $i = 48$ mm



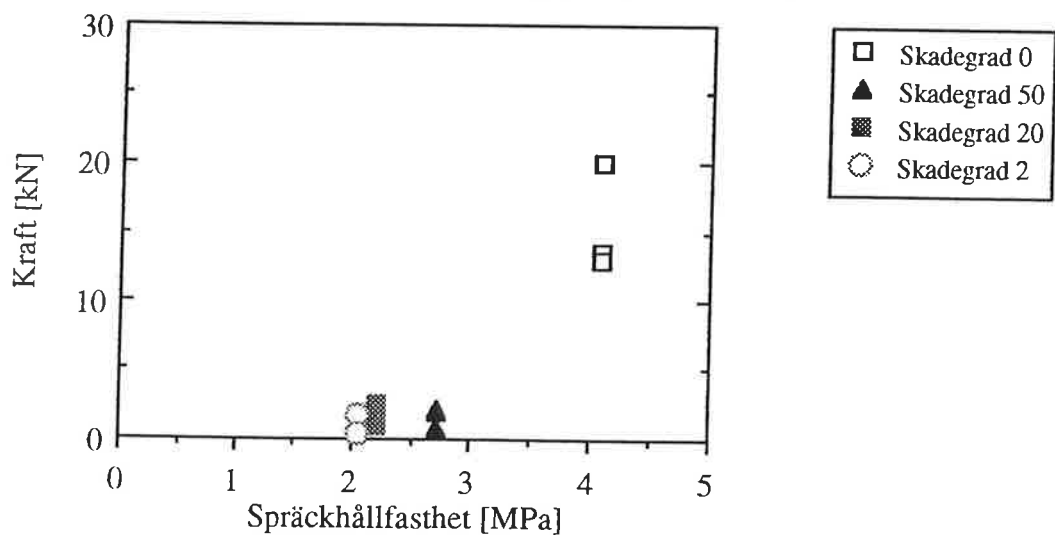
Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

E: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 12$, $i = 72$ mm



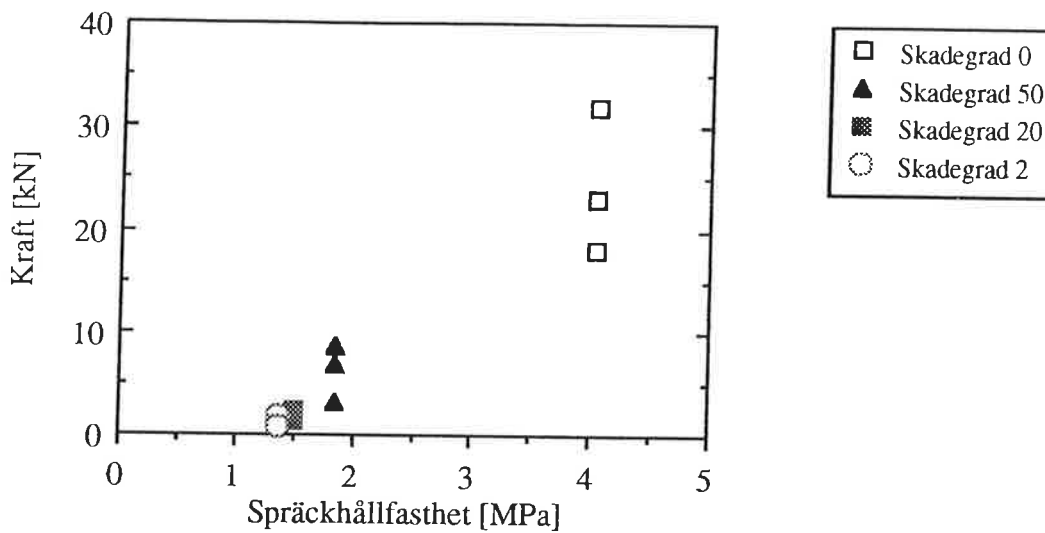
F: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\varnothing 25$, $i = 100$ mm



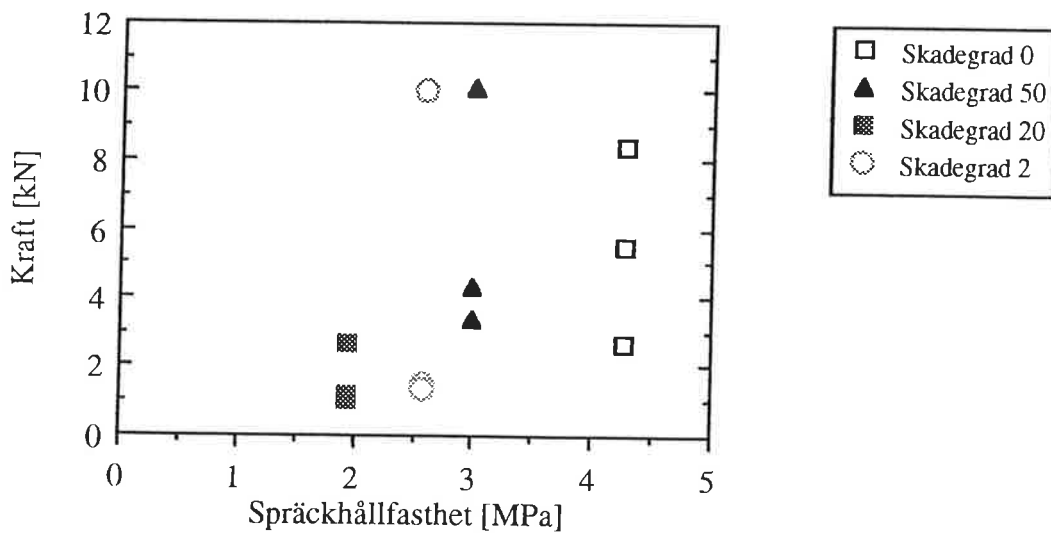
Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

G: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\varnothing 25$, $i = 130$ mm



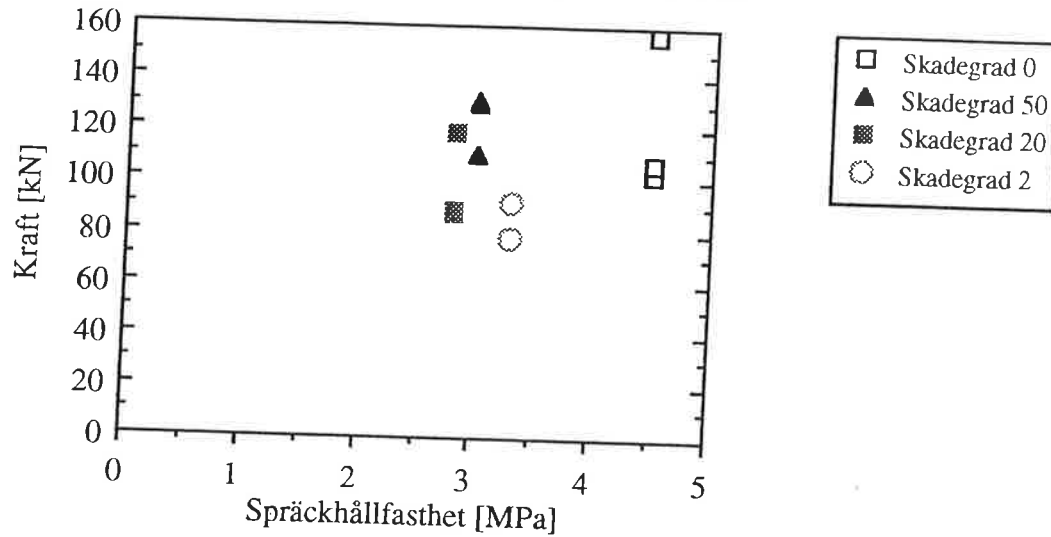
H: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\varnothing 12$, $i = 72$ mm



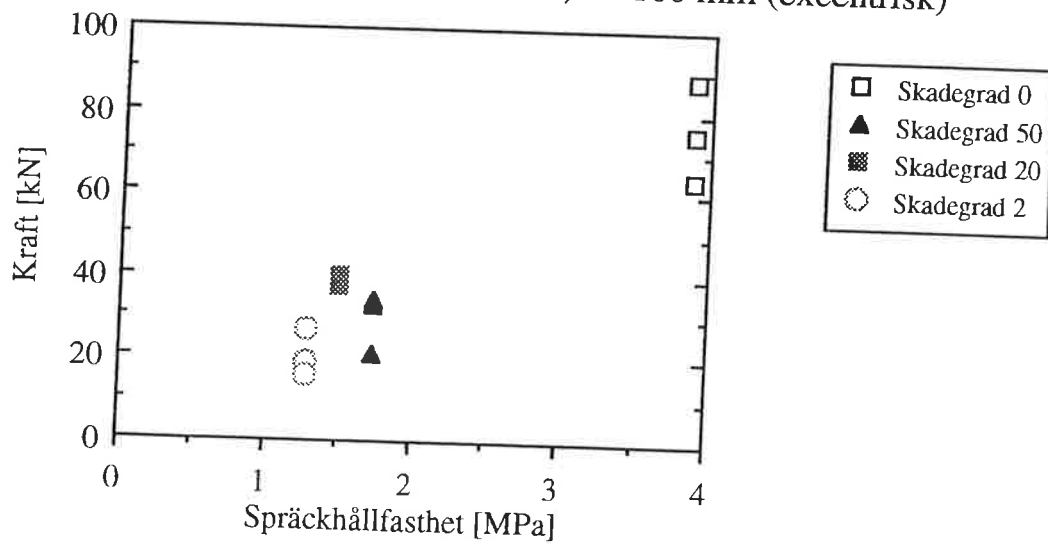
Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

I: $V_{ct} = 0.50$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm



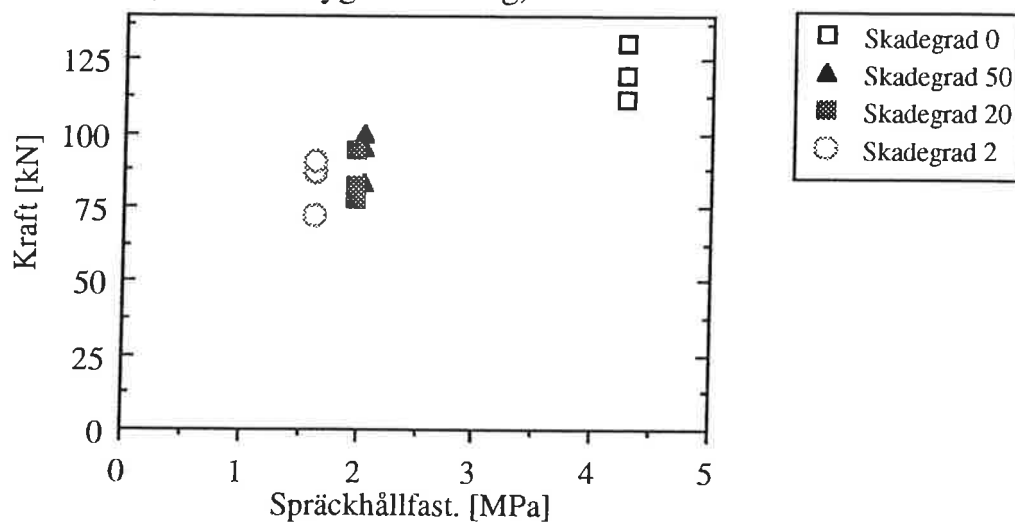
J: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm (excentrisk)



Bilaga 3

Samband mellan vidhäftningskraft och medelspräckhållfasthet

K: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm
(exc. med bygelarmering)



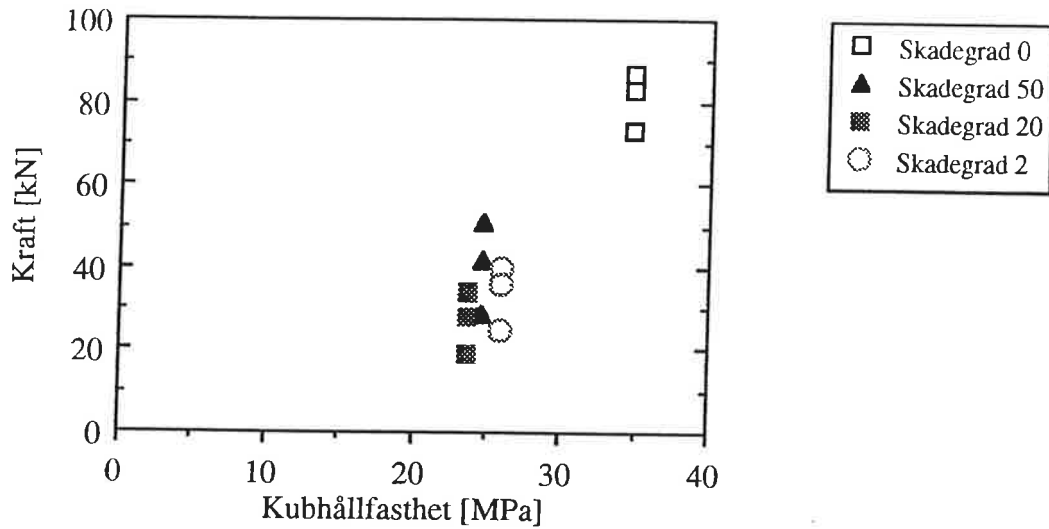
Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

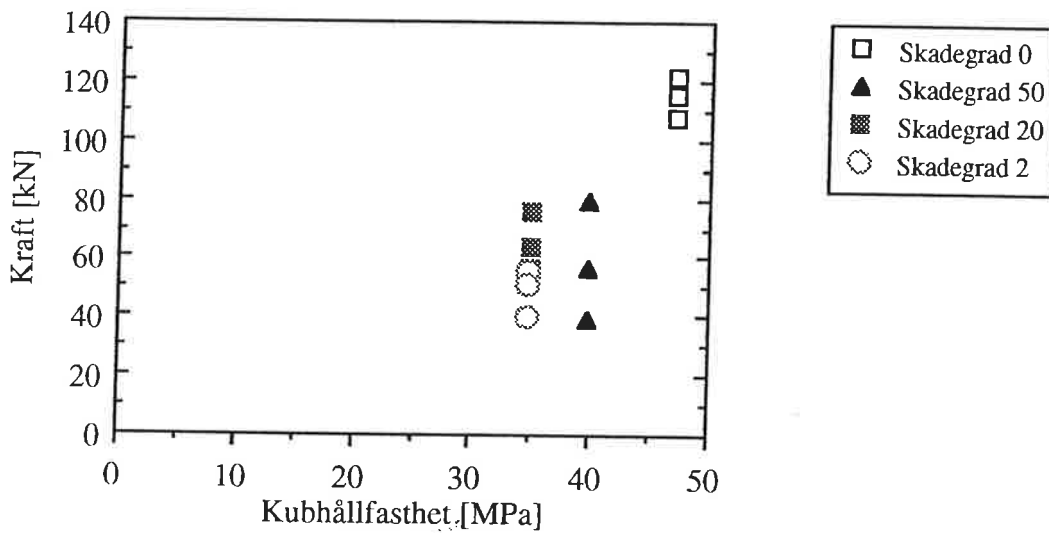
Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

A: $V_{ct} = 0.80$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



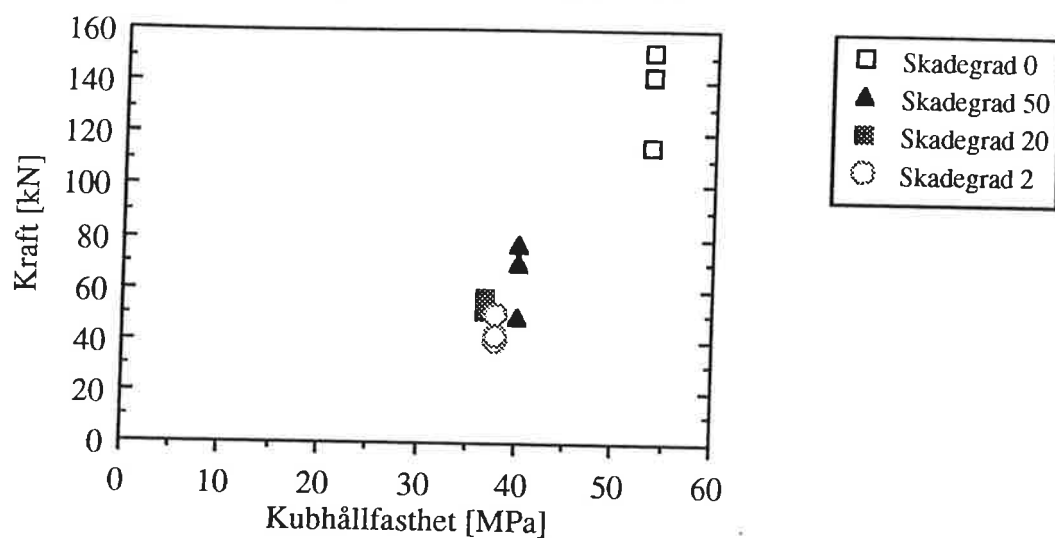
B: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



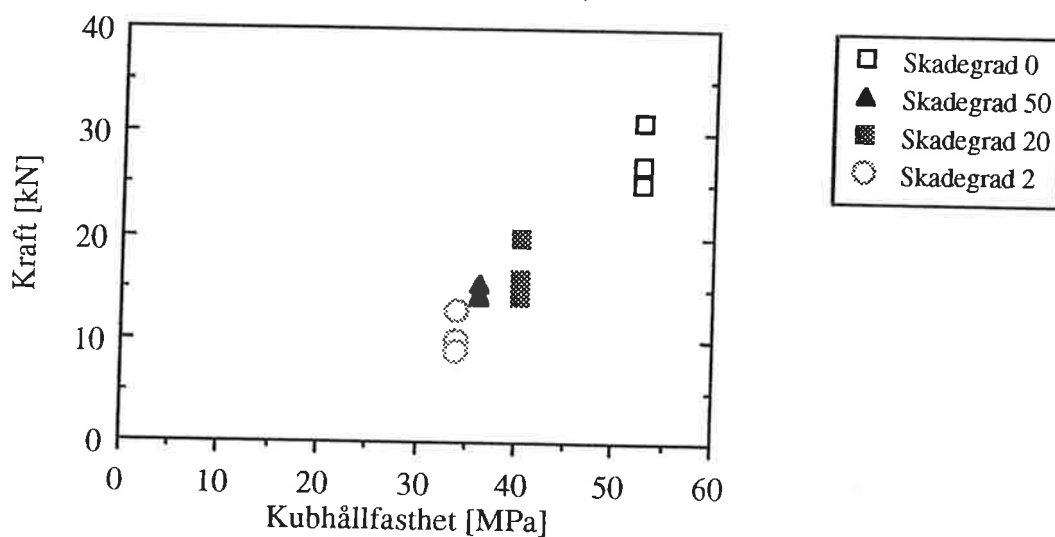
Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

C: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 130$ mm.



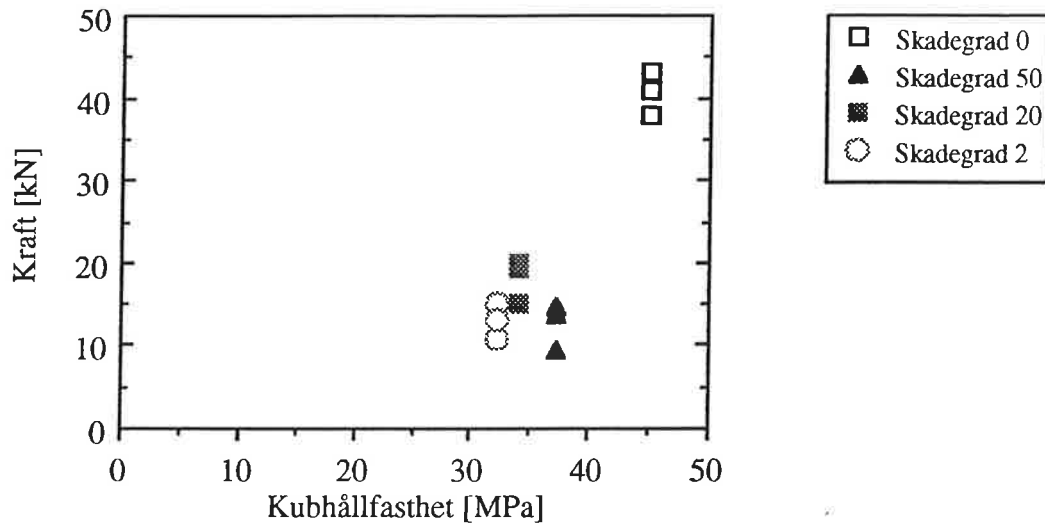
D: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 12$, $i = 48$ mm.



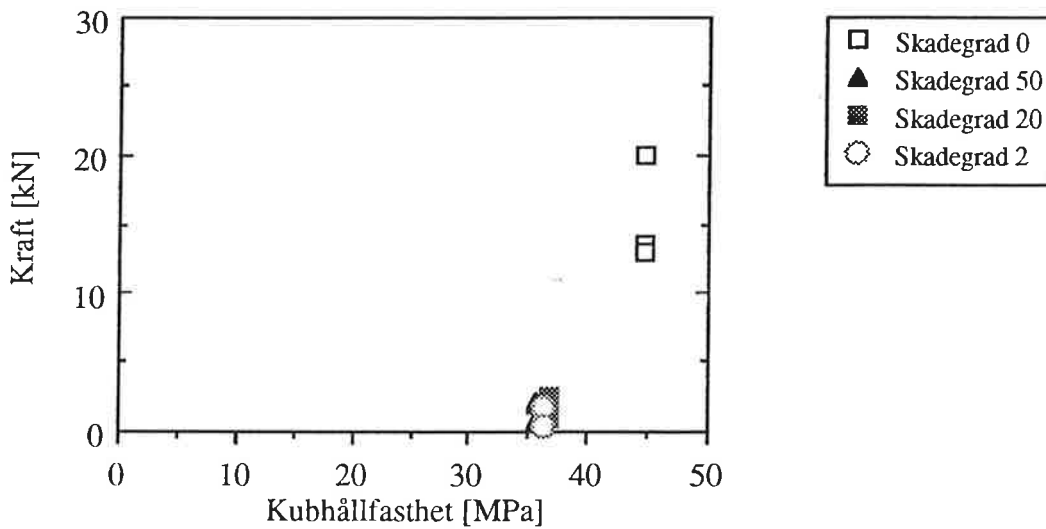
Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

E: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 12$, $i = 72$ mm.



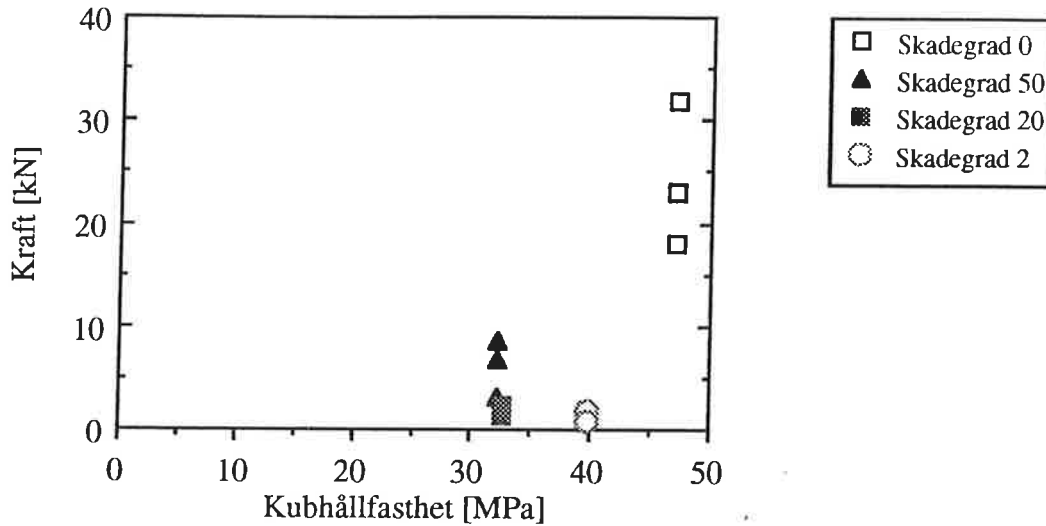
F: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



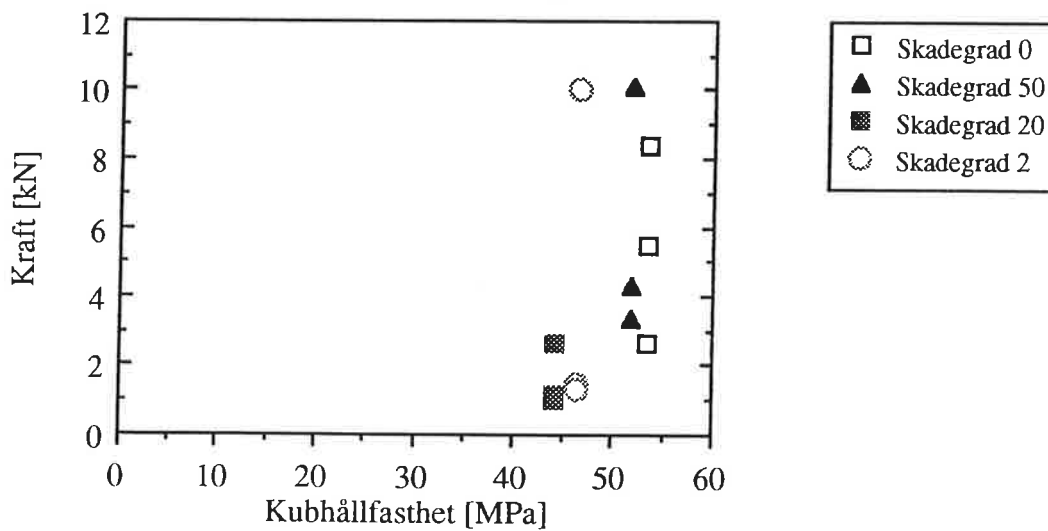
Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

G: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\text{Ø}25$, $i = 130$ mm.



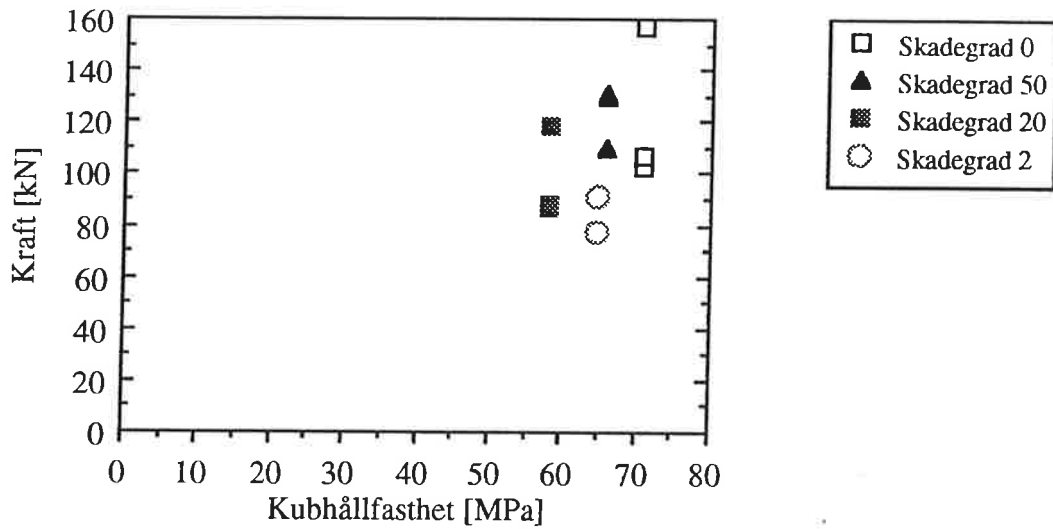
H: $V_{ct} = 0.65$, stål rundstång $\text{Ø}12$, $i = 72$ mm.



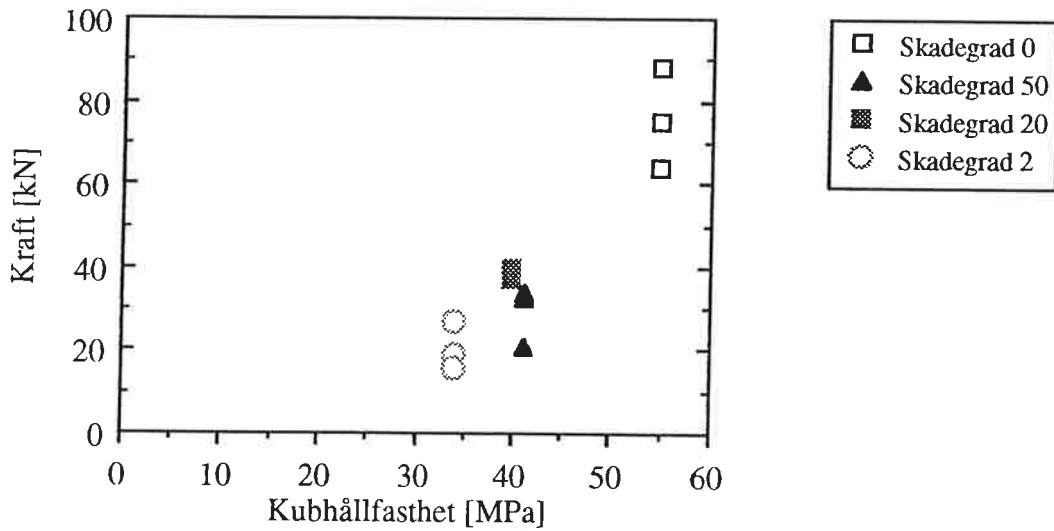
Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

I: $V_{ct} = 0.50$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm.



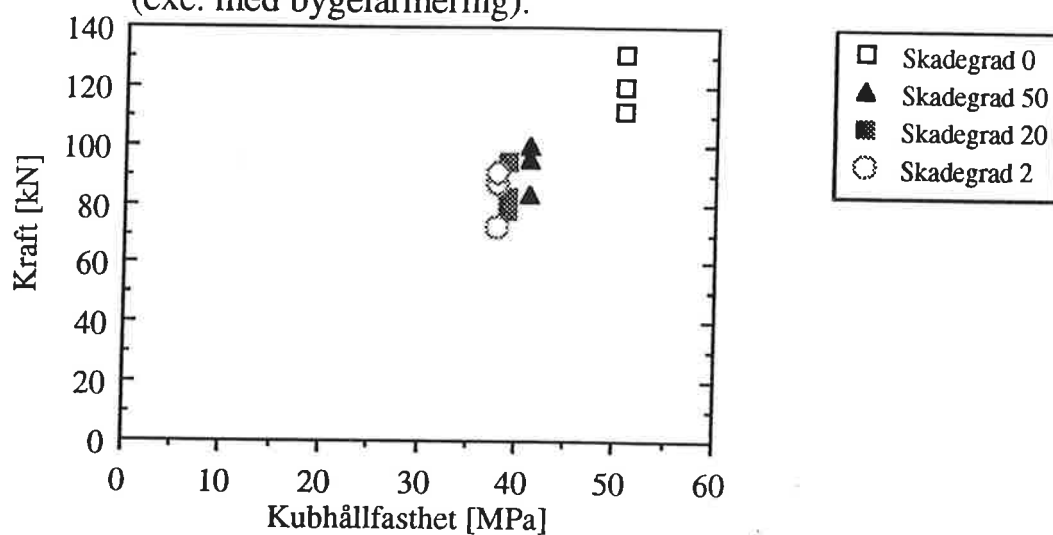
J: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm (excentriskt).



Bilaga 4

Samband mellan vidhäftningskraft och medelkubhållfasthet

K: $V_{ct} = 0.65$, stål Ks40 $\varnothing 25$, $i = 100$ mm
(exc. med bygelarmering).



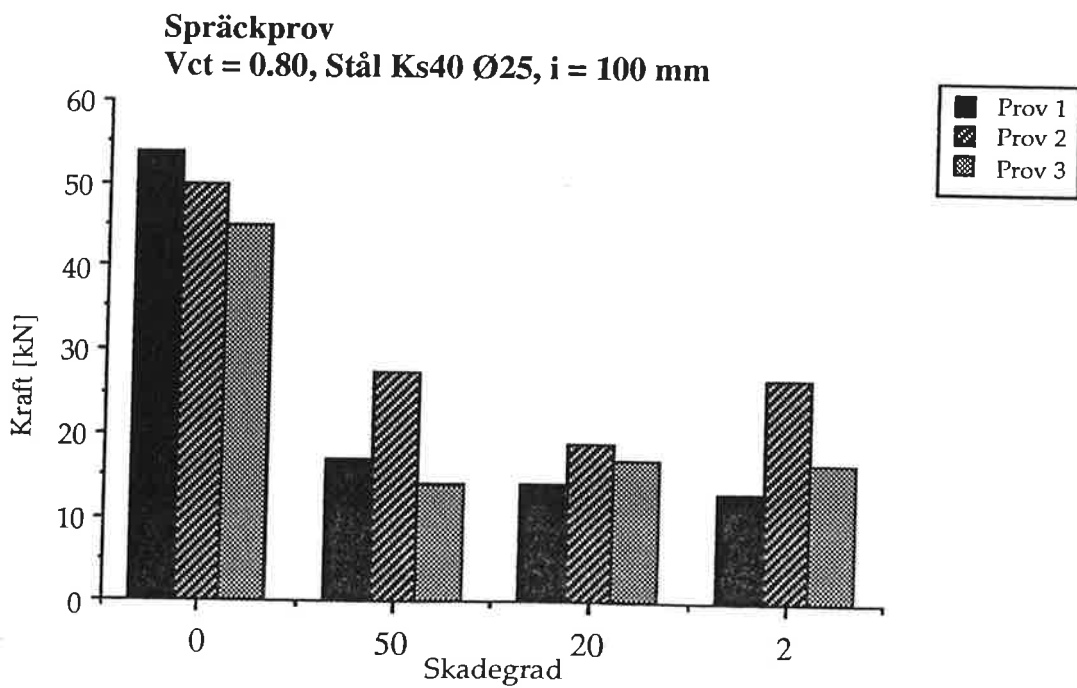
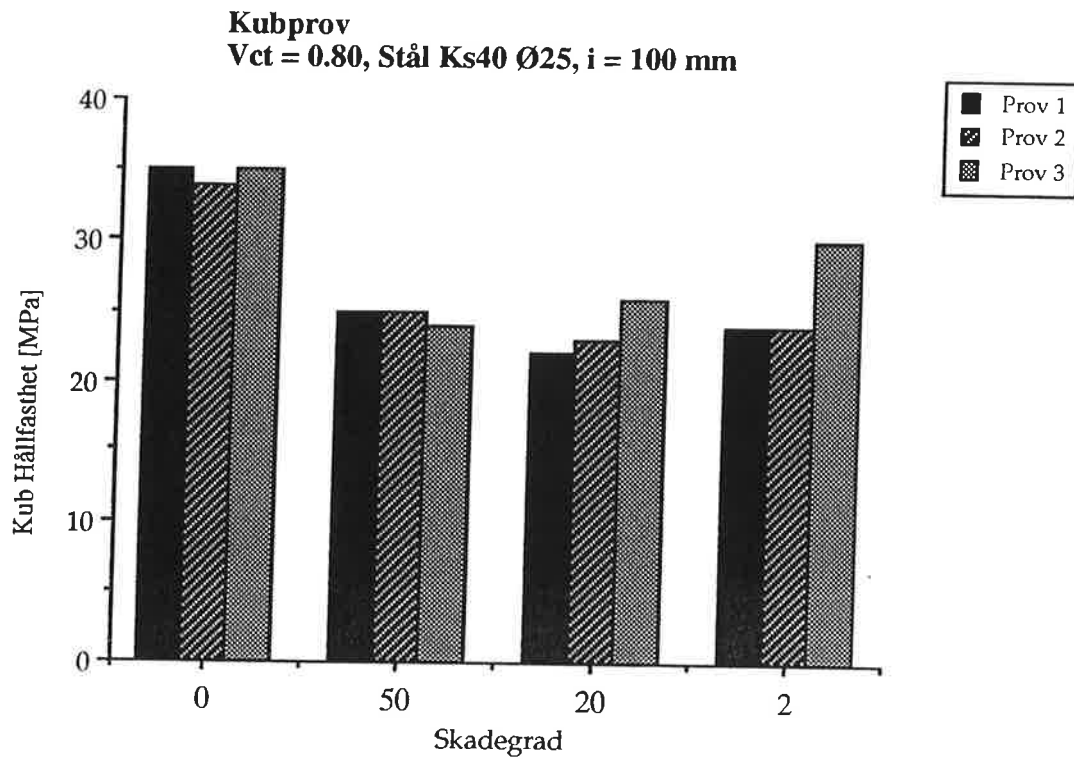
Bilaga 5

**Samband mellan skadegrad och kubhållfasthet
respektive spräckhållfasthet**

(Skadegrad definieras i 4.3)

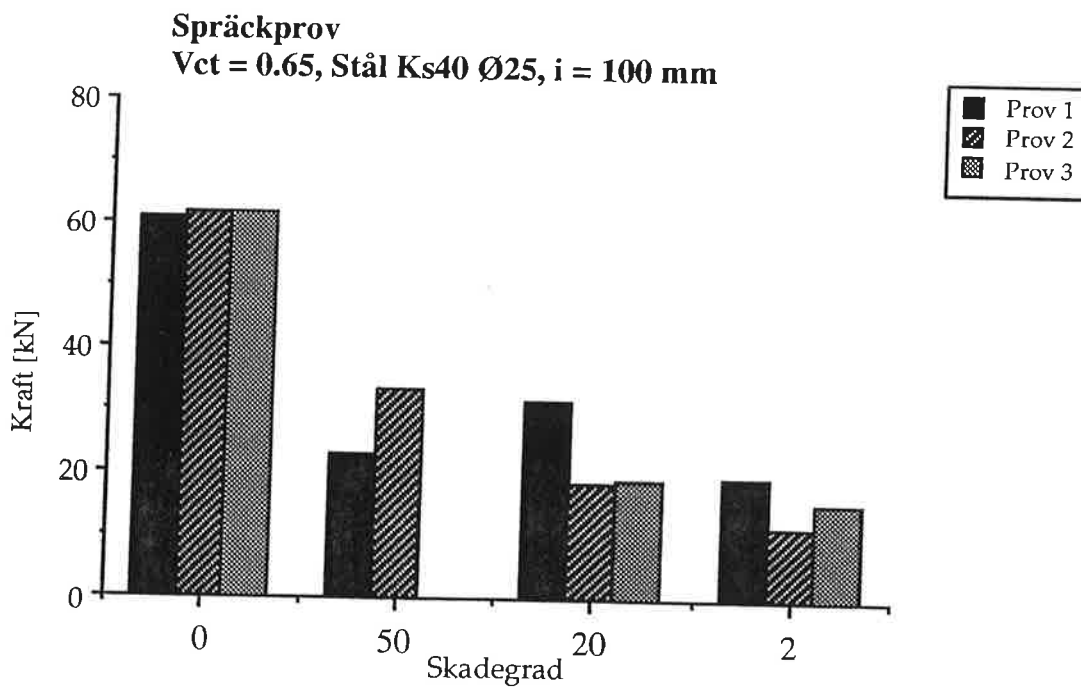
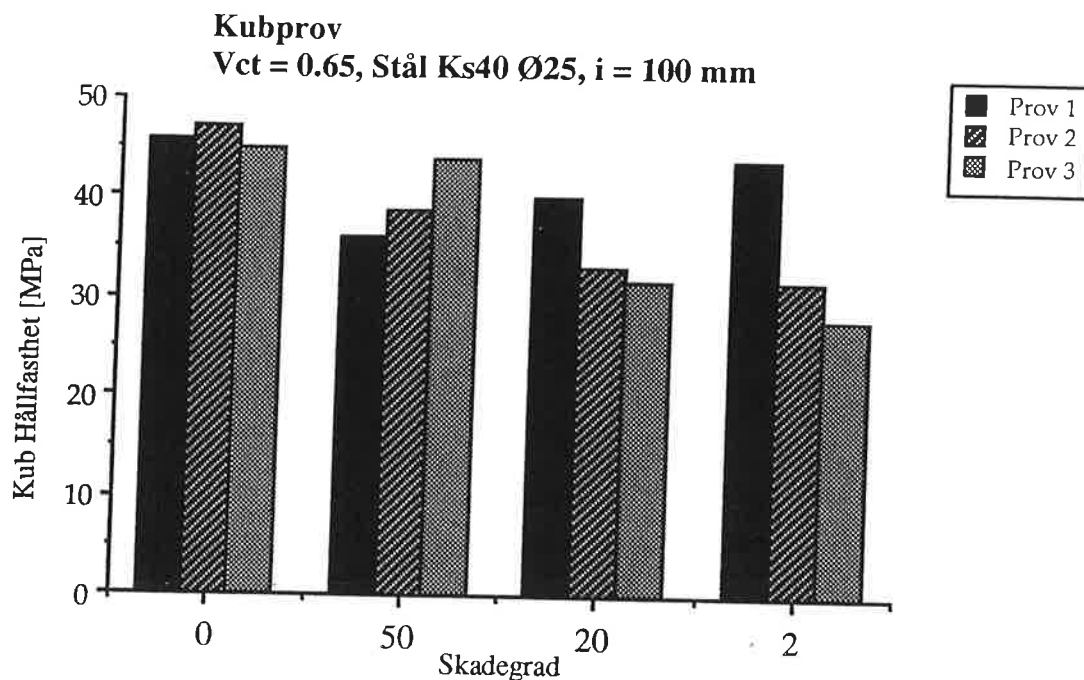
Bilaga 5

Kub- och spräckhållfasthet mot skadegrad



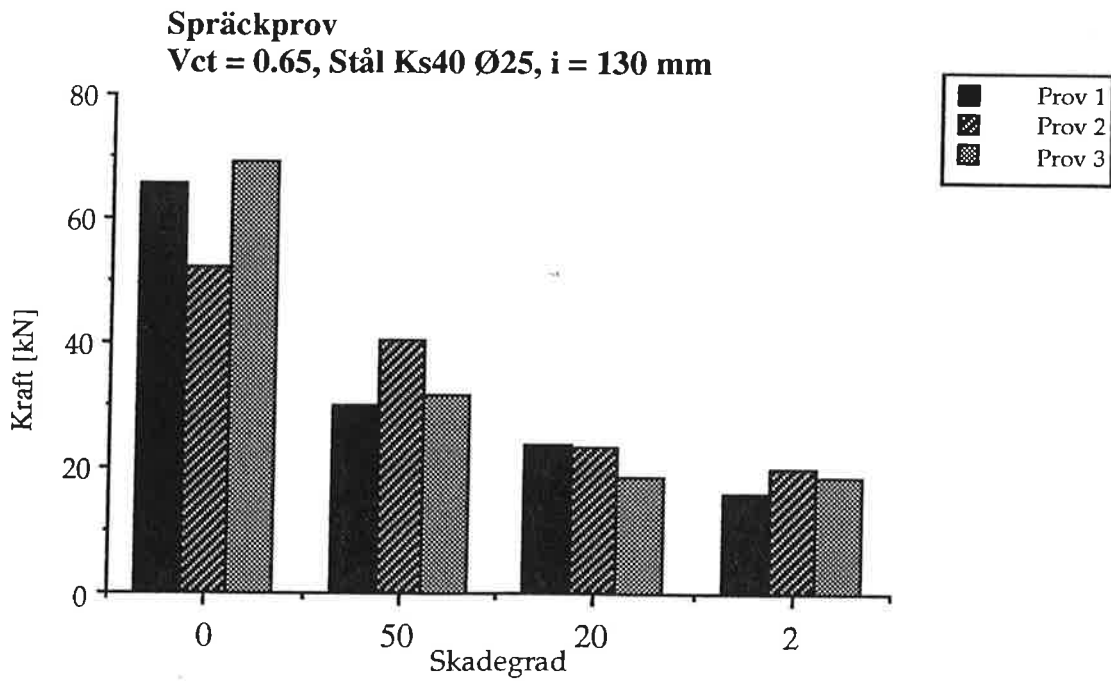
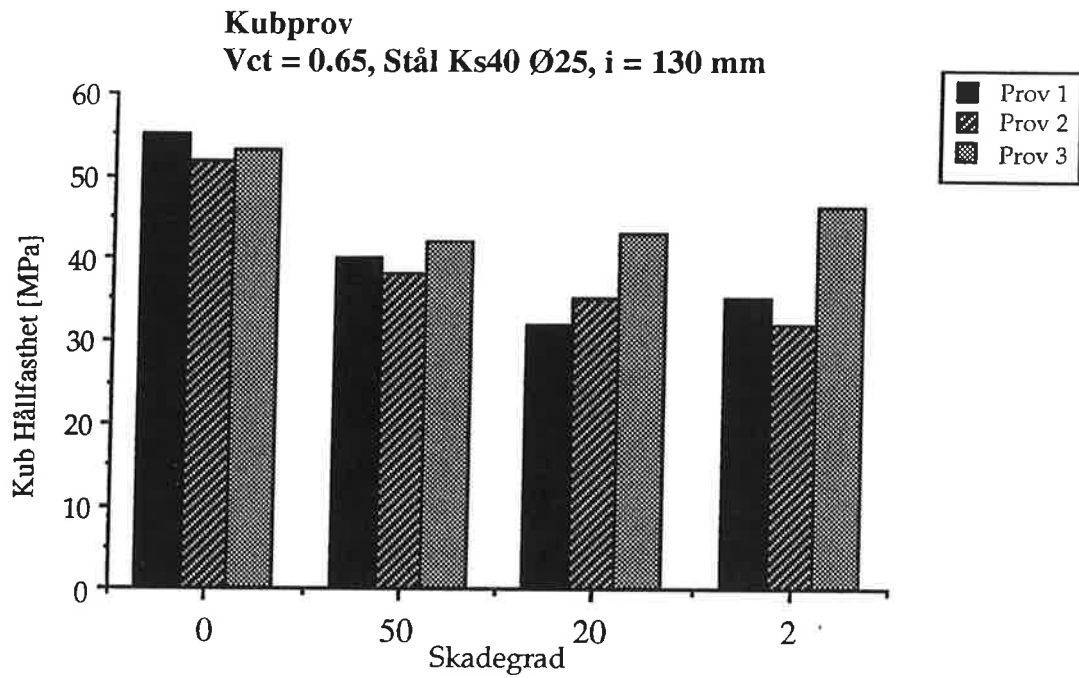
Bilaga 5

Kub- och sträckhållfasthet mot skadegrad



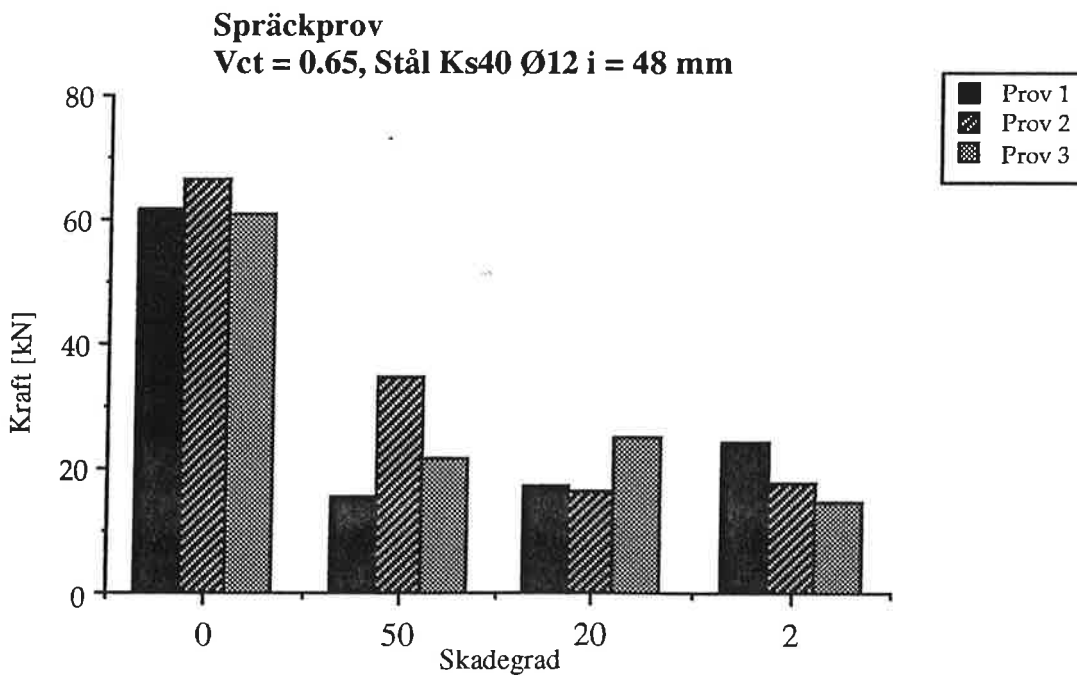
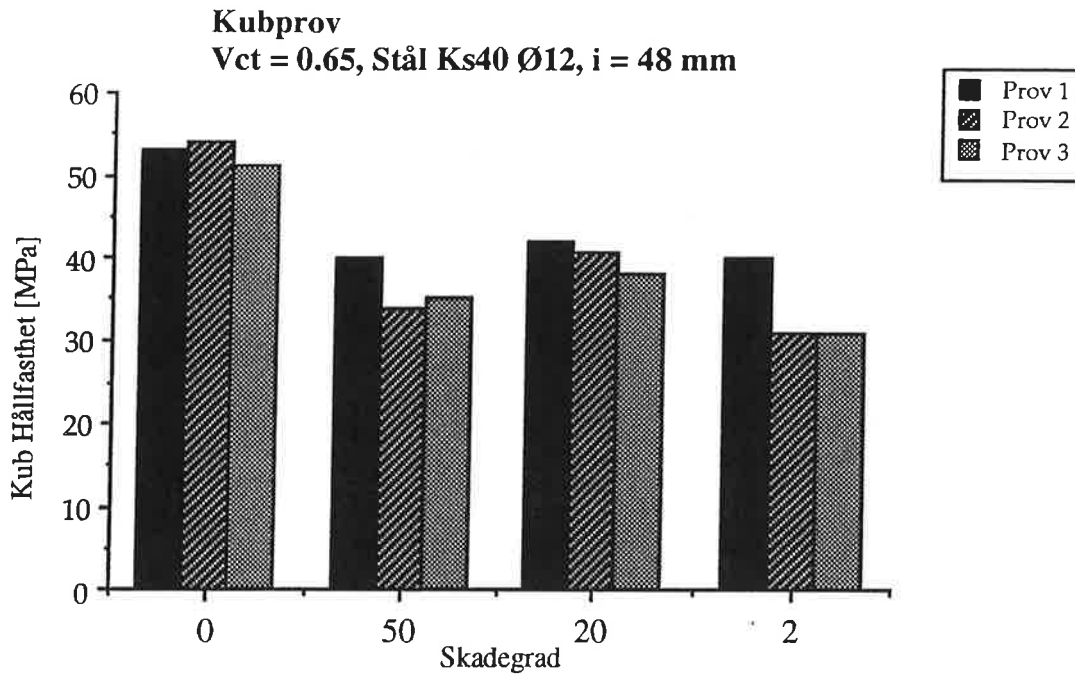
Bilaga 5

Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



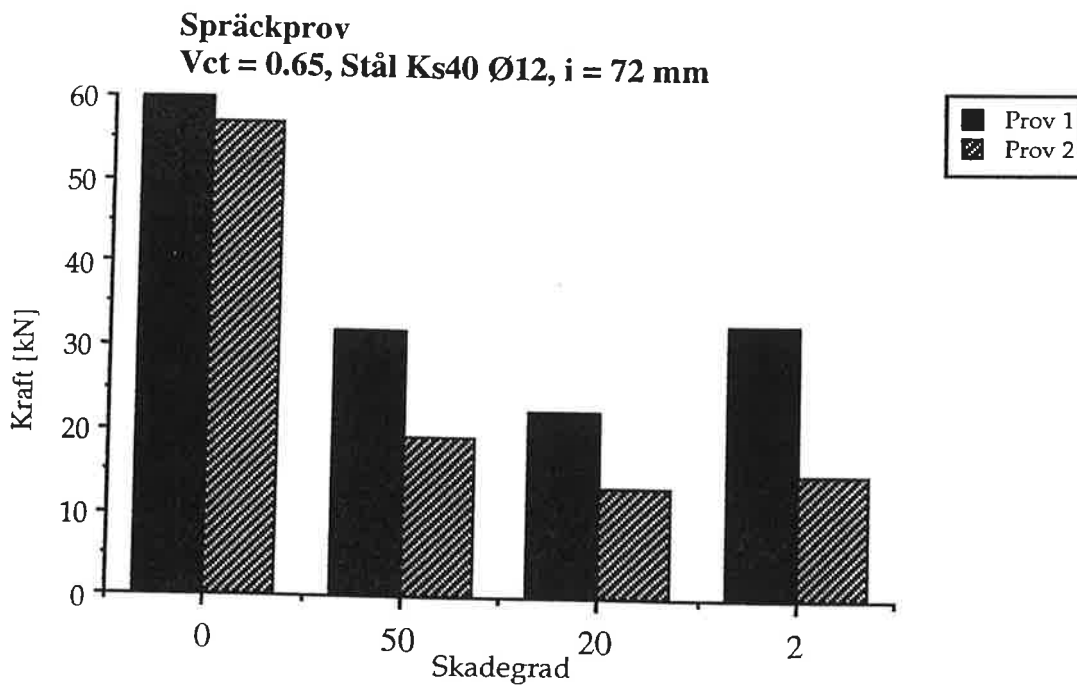
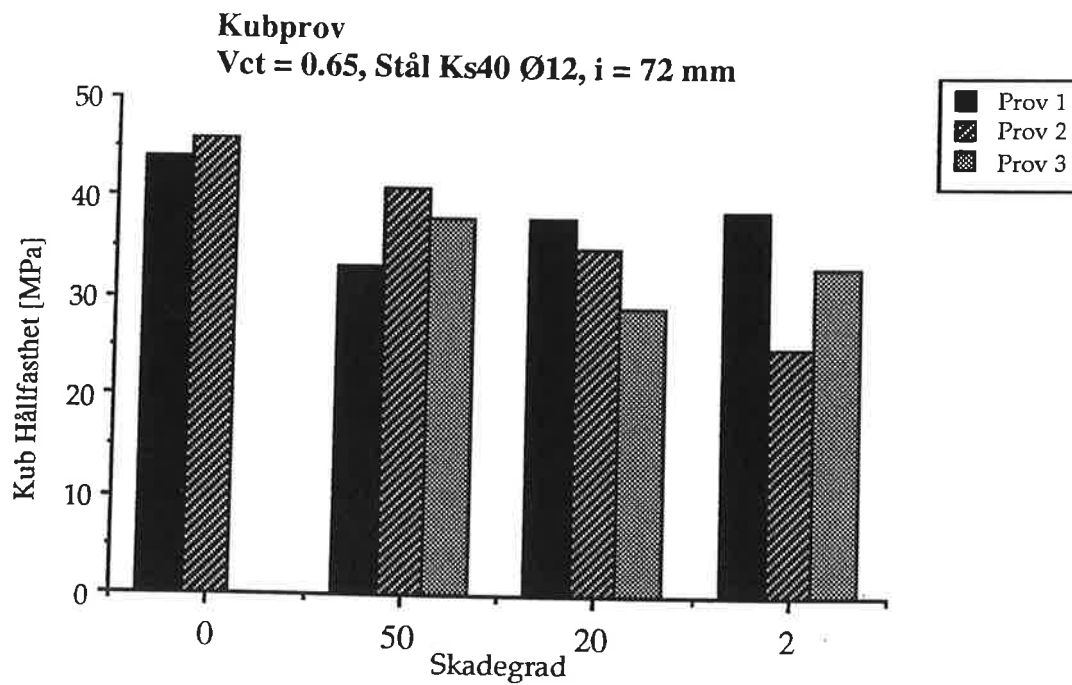
Bilaga 5

Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



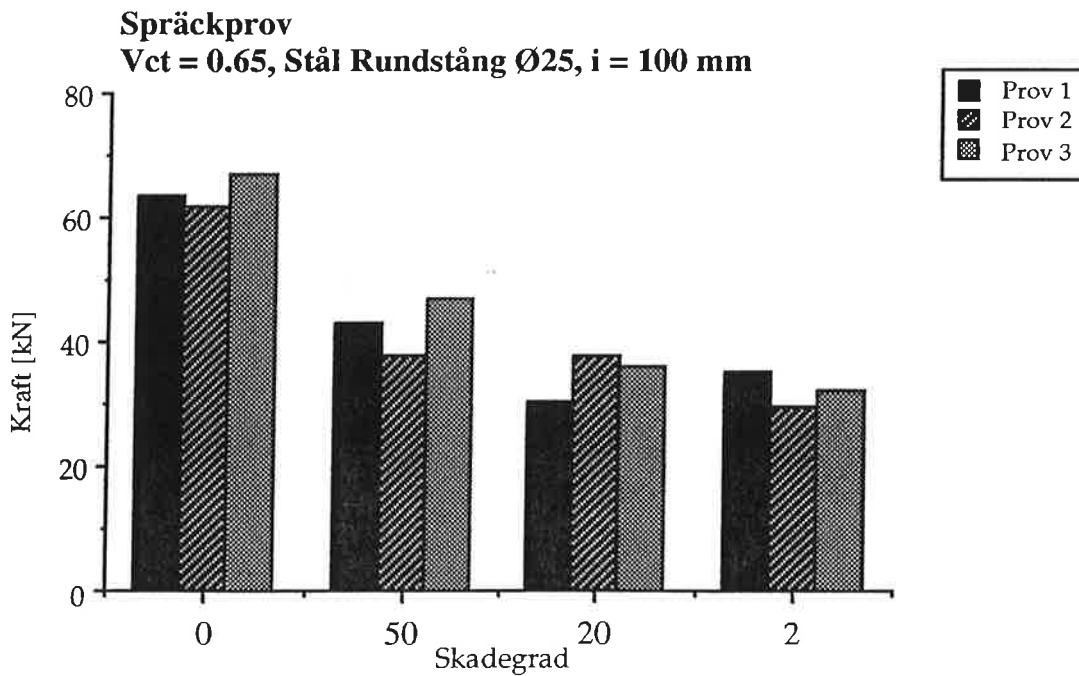
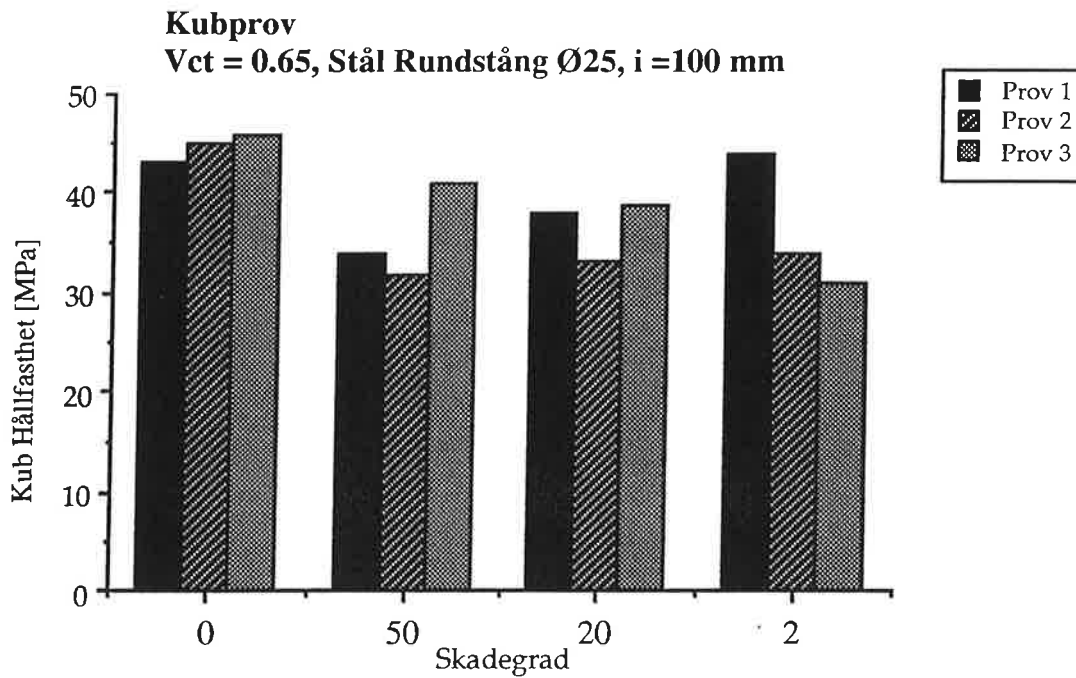
Bilaga 5

Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



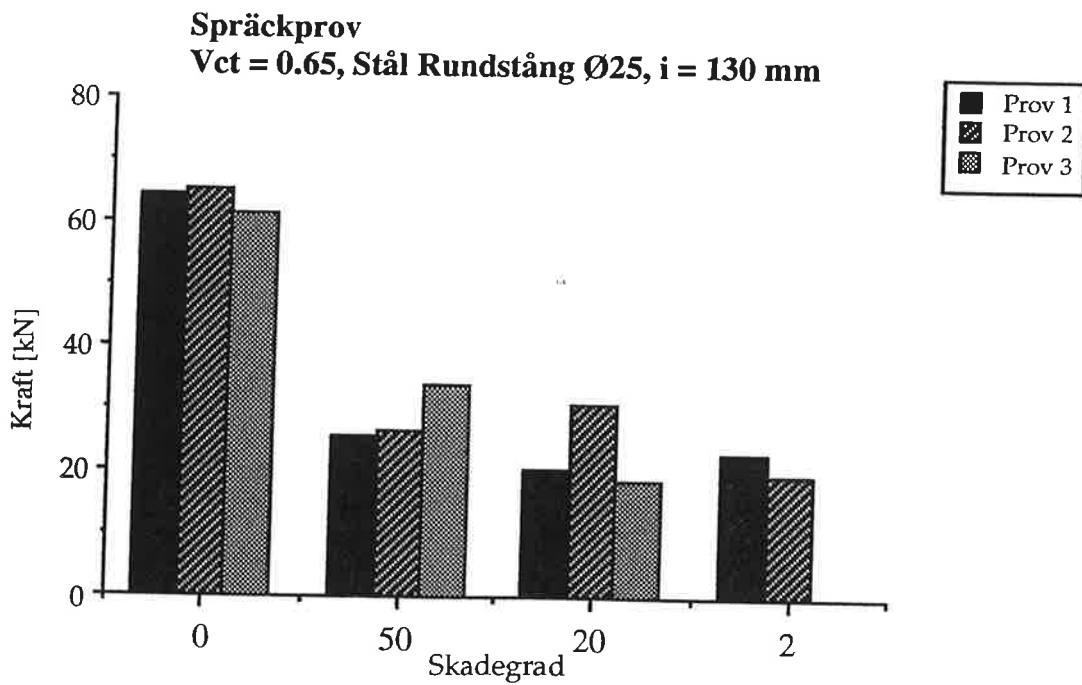
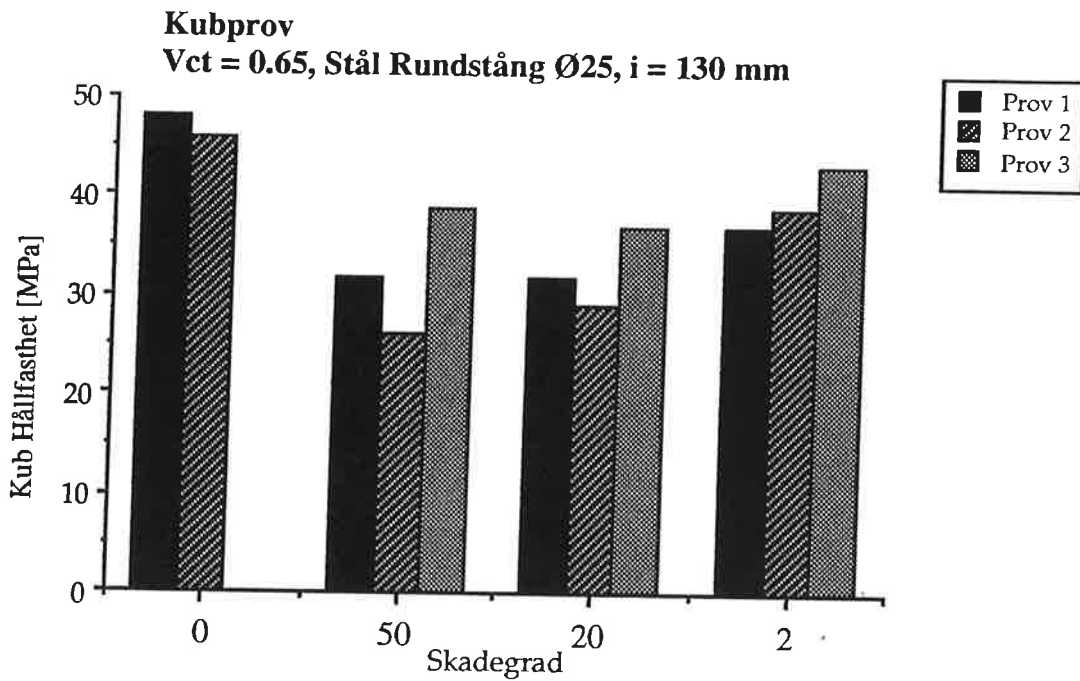
Bilaga 5

Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



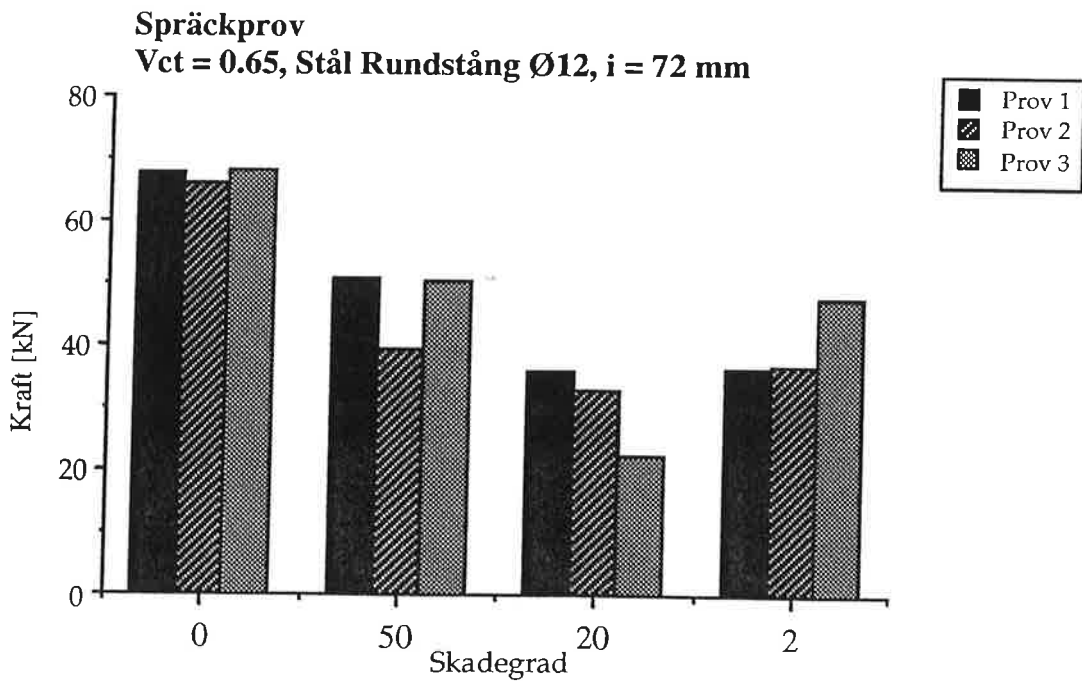
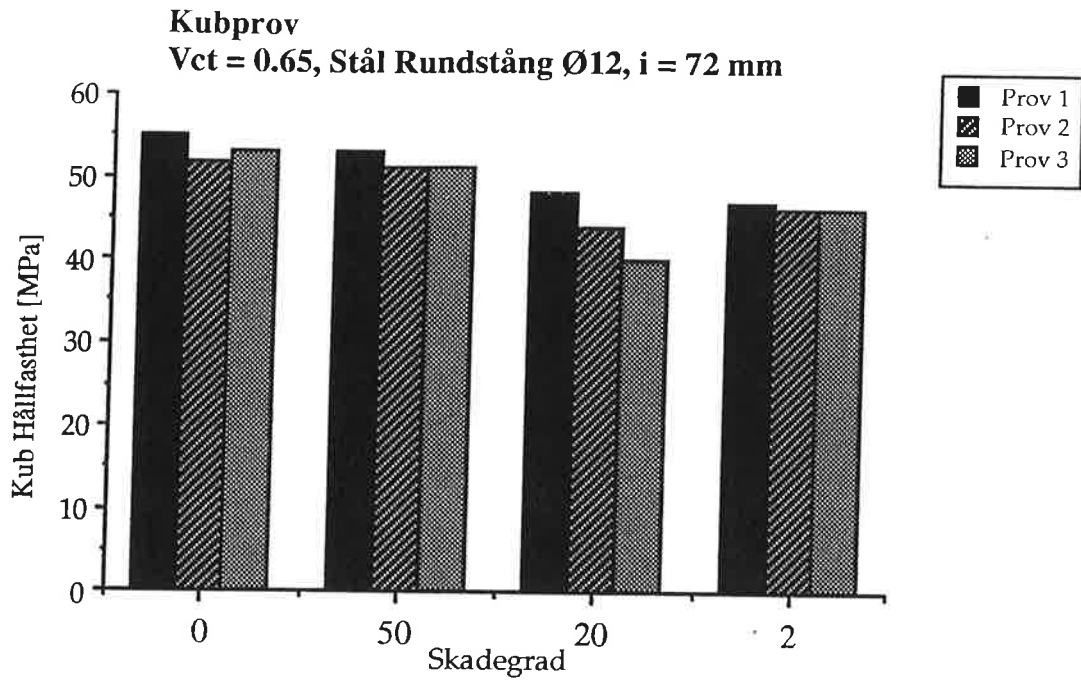
Bilaga 5

Kub- och spräckhållfasthet mot skadegrad



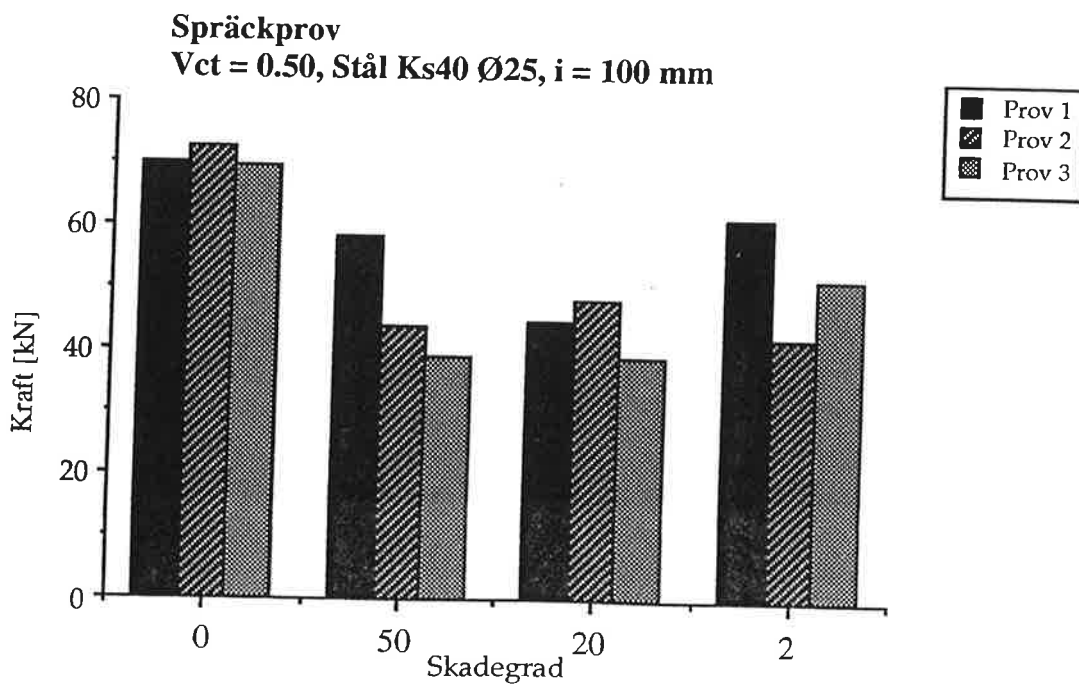
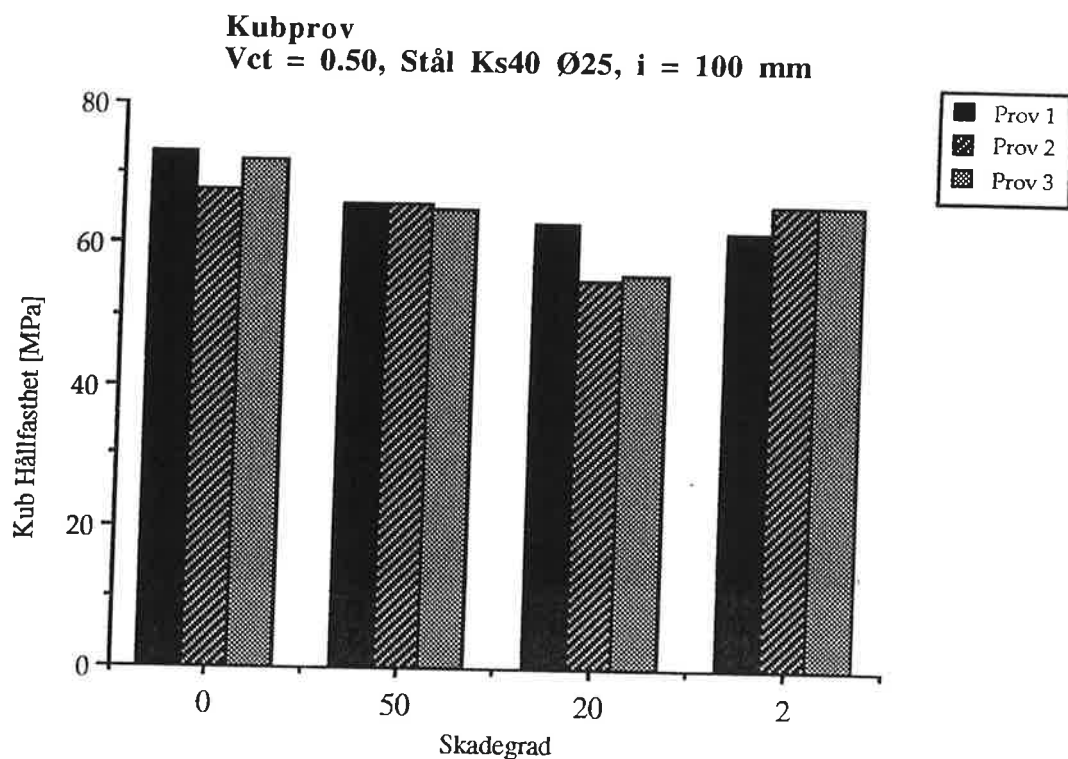
Bilaga 5

Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



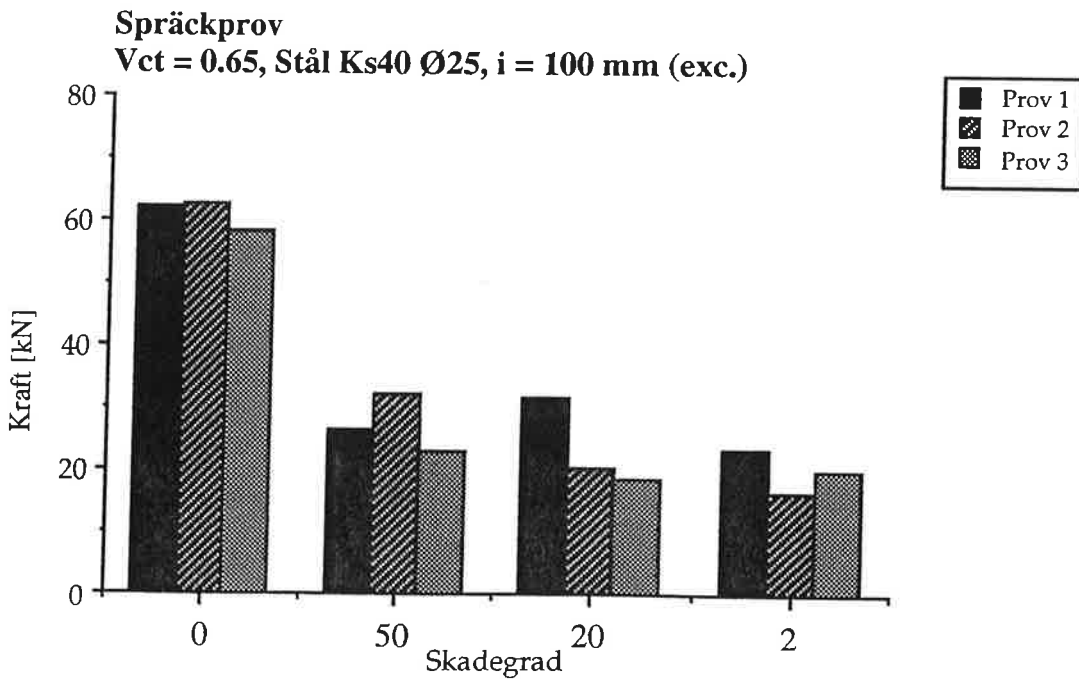
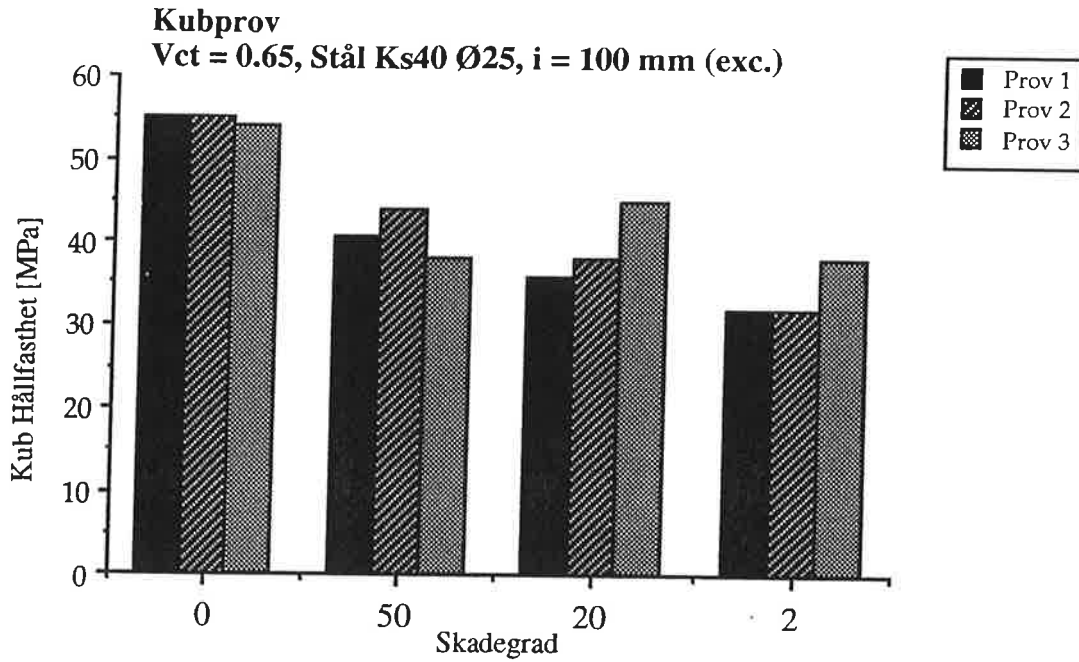
Bilaga 5

Kub- och spräckhållfasthet mot skadegrad



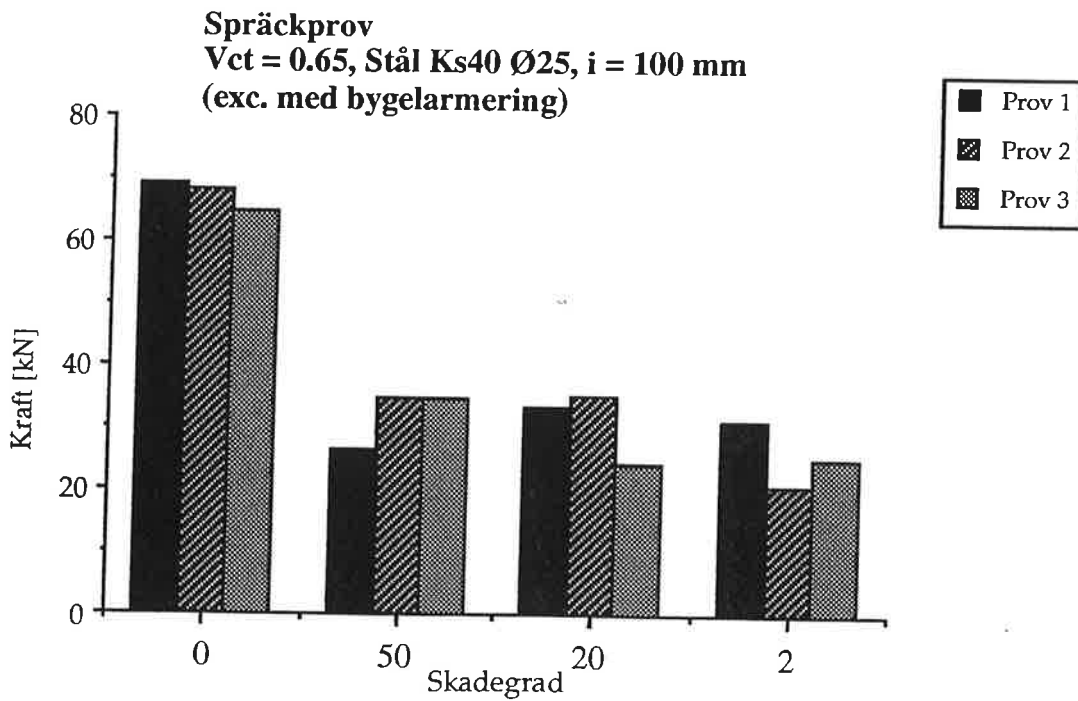
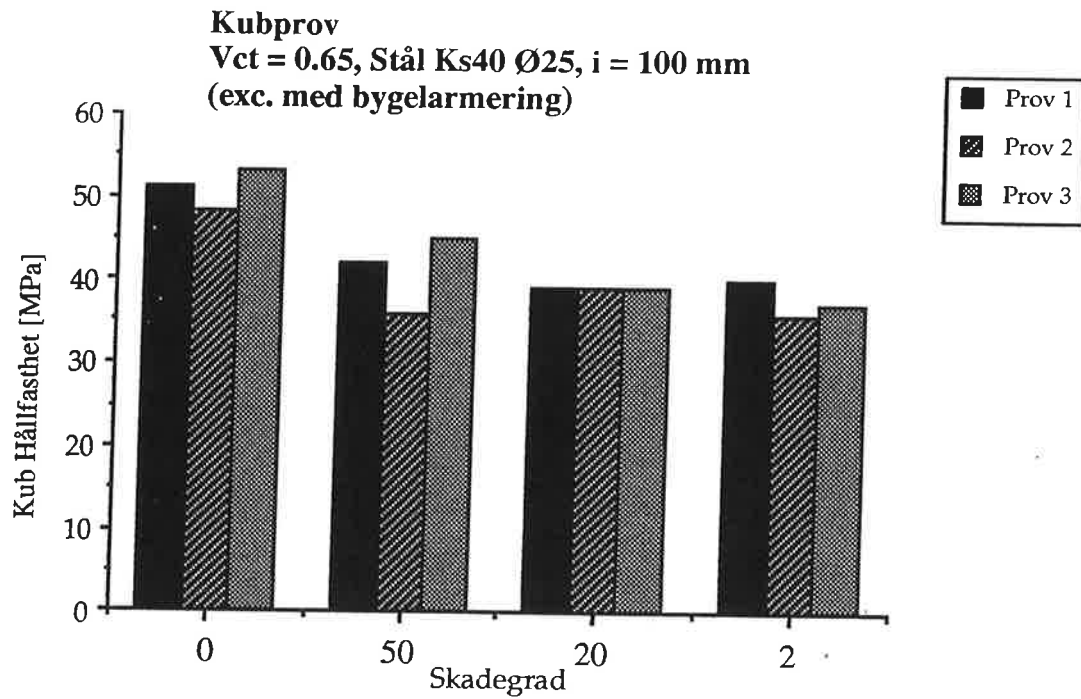
Bilaga 5

Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



Bilaga 5

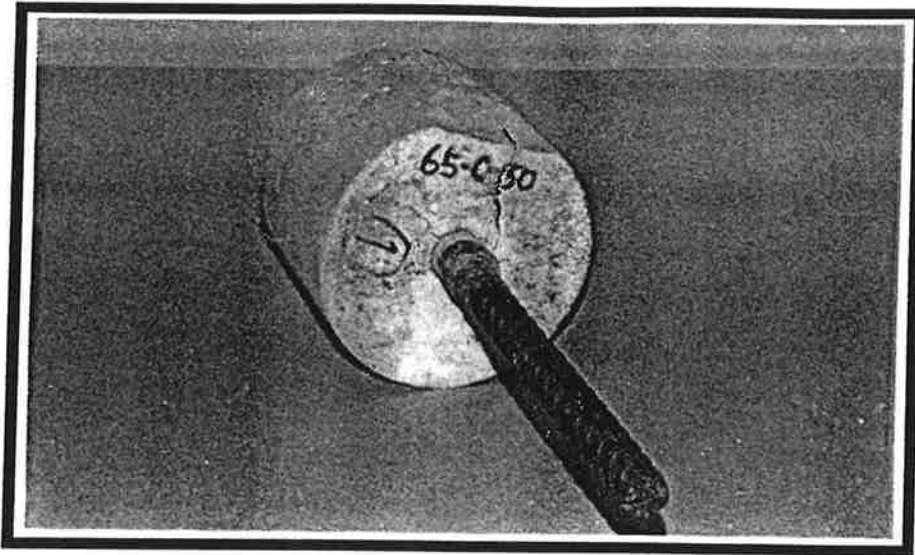
Kub- och sräckhållfasthet mot skadegrad



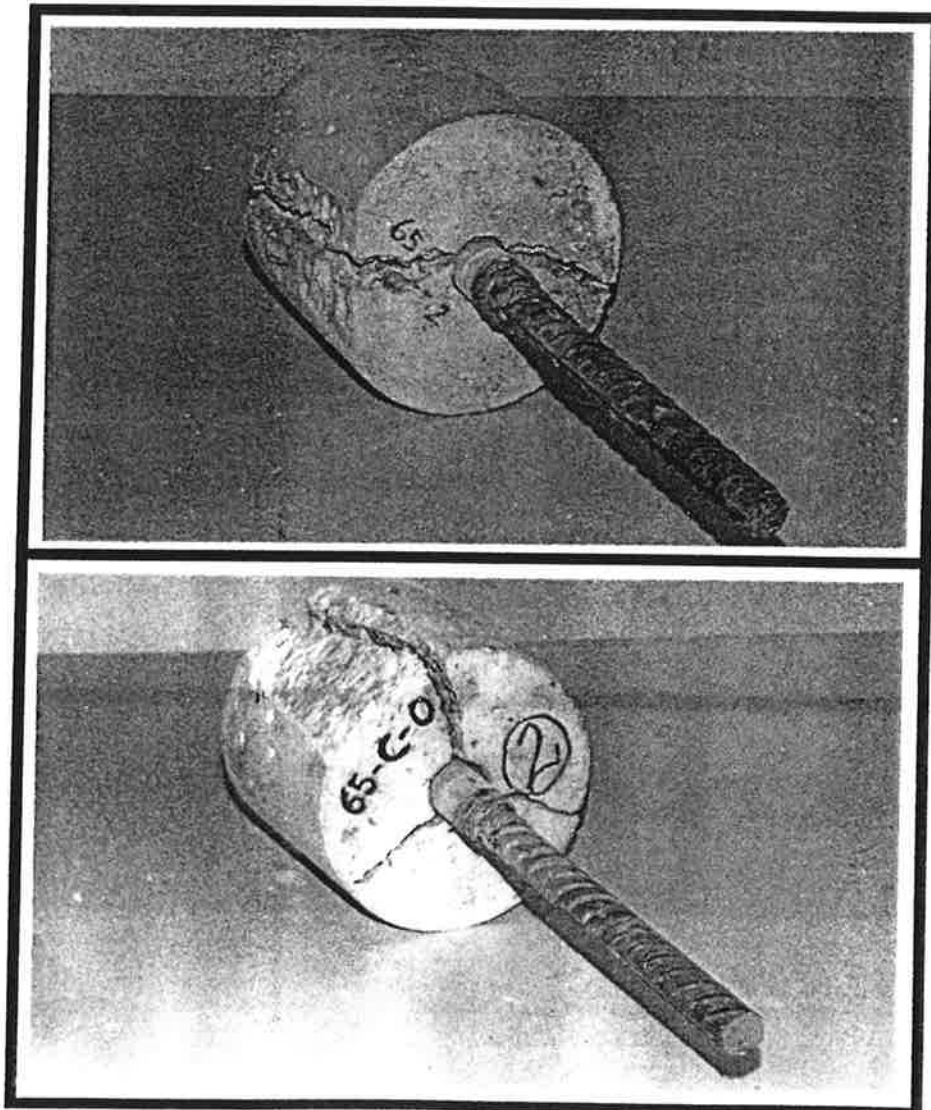
Bilaga 6

Fotografier på olika brottyper

Brott av typen "en spricka"



Brott av typen "flera sprickor"



Brottets utseende vid excentriskt placerad armering

