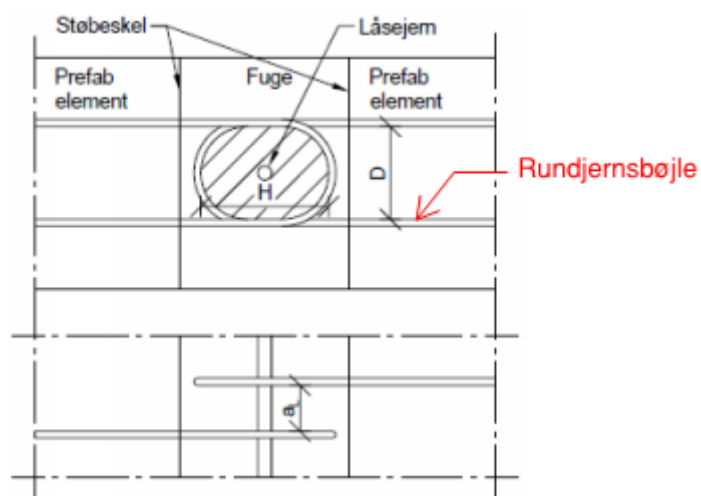


Til
Betonelement-Foreningen

Dokumenttype
Bulletin

Dato
20-12-2019

BEF BULLETIN NO 7 FORANKRING AF RUNDJERNSBØJLER I ELEMENTKANTER



BETONELEMENT-FORENINGEN

BEF BULLETIN NO 7 FORANKRING AF RUNDJERNSBØJLER I ELEMENTKANTER

Projekt navn Forankring af rundjernsbøjler i elementkanter
Modtager Betonelement-Foreningen
Dokumenttype Bulletin
Version 001
Dato 2019 12 20
Udarbejdet af Tim Gudmand-Høyer og Bernt Suikkanen
Kontrolleret af Lars Zenke Hansen
Godkendt af Pernille Nyegaard, Lars Reimer og Mads Sørensen

INDHOLD

Symbolforklaring	3
1. Sammenfatning	4
2. Indledning	5
3. Baggrund	6
4. Formål	7
5. Grundlag	8
6. Begrænsninger	10
7. Baggrundsviden	11
7.1 Normmæssige betragtninger	11
7.2 Viden fra andre forsøg	11
8. Analyse af forventede bærevner og indflydelse af parametre	13
8.1 Brudformer	13
8.1.1 Brudmekanismer med betonbrud	13
8.1.2 Udtrækningsbrud	13
8.2 Betonelement	14
8.2.1 Betontrykstyrke, betontrækstyrke og betonstivhed.	14
8.2.2 Betonsammensætning	14
8.3 Udstøbning	15
8.4 Dæklag	15
8.5 Vægelementtykkelse	15
8.6 Armering i vægge	16
8.7 Indstøbningslængde	16
9. Planlægning af forsøg – Forsøgsserie 1	17
9.1 Indledning	17
9.2 Målsætning og omfang	17
9.3 Forudsigelse af forsøgsresultater	17
9.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning	17
9.5 Lastangivelser	18
9.6 Forsøgsopstilling	19
9.7 Vurderinger og rapportering af forsøg	19
10. Planlægning af forsøg – Forsøgsserie 2	21
10.1 Indledning	21
10.2 Målsætning og omfang	21
10.3 Forudsigelse af forsøgsresultater	21
10.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning	21
10.5 Lastangivelser	21
10.6 Forsøgsopstilling	21
10.7 Vurderinger og rapportering af forsøg	22
11. Planlægning af forsøg – Forsøgsserie 3	23
11.1 Indledning	23
11.2 Målsætning og omfang	23
11.3 Forudsigelse af forsøgsresultater	23
11.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning	23
11.5 Lastangivelser	23
11.6 Forsøgsopstilling	23
11.7 Vurderinger og rapportering af forsøg	24
12. Planlægning af forsøg – Forsøgsserie 4	25
12.1 Indledning	25
12.2 Målsætning og omfang	25
12.3 Forudsigelse af forsøgsresultater	25

12.4	Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning	25
12.5	Lastangivelser	25
12.6	Forsøgsopstilling	25
12.7	Vurderinger og rapportering af forsøg	26
13.	Forsøgsanalyse	27
13.1	Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 1	27
13.1.1	Offset	27
13.1.2	Test med rig tæt ved kanten	28
13.1.3	Frasortering	31
13.2	Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 2	31
13.2.1	Offset	31
13.2.2	Frasortering	31
13.3	Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 3	31
13.3.1	Offset	31
13.3.2	Frasortering	32
13.4	Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 4	32
13.4.1	Offset	32
13.4.2	Frasortering	32
13.5	Forskel mellem forankring af bøjler Ø6 mm og enkeltjern Ø6 mm	32
13.6	Indflydelse af ruhed	34
13.7	Duktilitet og fastsættelse af brudkapacitet	36
13.8	Fastlæggelse af brudkapacitet for de enkelte forsøg	37
13.9	Indflydelse af bøjning og tilbagebøjning	37
13.10	Øvrige sammenligninger ses i Bilag 5 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 1 og 2	38
13.11	Indflydelse af cyklisk belastning	38
13.12	Øvrige sammenligninger ses i Bilag 5 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 1 og 2	39
13.13	Fastlæggelse af betonstyrker for de enkelte tests	40
13.14	Sammenfatning af testresultater der anvendes til kapacitetsfastlæggelse	41
13.15	Fastlæggelse af bæreevnomodeller	43
13.15.1	Bæreevnomodel for bøjler Ø6 mm	43
13.15.2	Bæreevnomodel for enkeltstænger Ø6 mm	46
13.15.3	Bæreevnomodel for bøjler Ø8 mm	49
14.	Fastlæggelse af regningsmæssige bæreevner	52
14.1	Beregningsudtryk for bøjler Ø6	52
14.2	Beregningsudtryk for enkeltjern Ø6	52
14.3	Beregningsudtryk for bøjler Ø8	53
15.	Betragtninger vedr. mindste forudsatte deformationer	54
16.	Eftervisning af stød	57
17.	Konklusion	58
18.	Henvisninger	59
Bilag	60	
18.1	Bilag 1 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 1	60
18.2	Bilag 2 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 2	60
18.3	Bilag 3 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 3	60
18.4	Bilag 4 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 4	60
18.5	Bilag 5 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 1 og 2	60
18.6	Bilag 6 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 3	60
18.7	Bilag 7 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 4	60

SYMBOLFORKLARING

Symbolforklaring

Små bogstaver

b	Bias
c	Dæklag
c_{min}	Minimumsdæklag
d	Diameter
f_c	Betonens trykstyrke
f_t	Betonens trækstyrke
$f_{u,30}$	Brudkapacitet ved en deformationskapacitet på 30 mm
$f_{u,30,teori}$	Teoretisk brudkapacitet ved en deformationskapacitet på 30 mm
k_0	Konstant
l_r	Indstøbningslængde (betegnelsen anvendes i DSBY artikel)

Store bogstaver

$F_{u,30,d}$	Regningsmæssig forankringskapacitet
$F_{u,30,k}$	Karakteristisk forankringskapacitet
L_{ind}	Indstøbningslængde
R_{exp}	Bæreevne bestemt ved forsøg (eksperiment)
R_{model}	Teoretisk kapacitet
T	Udtrækningsstyrke
V_δ	Variationskoefficient for modelusikkerhed

Små græske bogstaver

η_1	Faktor
----------	--------

1. SAMMENFATNING

Bulletinen anviser, hvorledes forankringskapaciteten af rundjernsbøjler kan beregnes ud fra empiriske bæreevneformler (fastlagt ved forsøg).

Bæreevneudtryk er fastlagt ud fra normgrundlaget som beskrevet nærmere i afsnit 5, herunder blandt andet en statistisk behandling i overensstemmelse med DS/EN 1990, annek D og dokumentation i overensstemmelse med SBI271 (Eurocode0, 2007; SBI, 2019).

Bæreevneudtrykket er generelt simplificeret således, at det kan anvendes på de mest gængse betonelementer. Begrænsningerne for anvendelse af bæreevneudtrykket fremgår af afsnit 6.

Forsøgene er nærmere beskrevet i afsnit 9-12 i nærværende bulletin. Eftervisningen af den karakteristiske og regningsmæssige bæreevne udføres på baggrund af DS/EN 1990 Annek D ved ekstrapolation af forsøgsresultaterne, idet der ikke er testet til flydning i armeringen.

Bæreevneudtryk for den karakteristiske forankringsstyrke fremgår af afsnit 14.

Det bemærkes, at forsøgene alene omhandler forankring, men der angives i bulletinens afsnit 16 princip for hvorledes stød kan behandles.

2. INDLEDNING

Dette dokument indledes med en beskrivelse af baggrund, formål, grundlag og begrænsninger i afsnit 3-6, hvor rammerne for dokumentet og dets anvendelse fastlægges.

I afsnit 7 følger et resume af kendt viden på området og en vurdering af denne.

I afsnit 8 analyseres forventede kapaciteter og indflydelsen af parametre. I dette afsnit beskrives også, hvad der skal fastlægges ved forsøg og hvilke parametre, der kan regnes dækket af kendt viden.

I afsnit 9-12 gennemgås planlægningen af de fire forsøgsserier, hvorledes forsøgene er planlagt, og hvad målene med de enkelte forsøgsserier har været.

Forsøgsrapporter ligger som bilag, og i afsnit 13 foretages en analyse af forsøgsresultater.

I afsnit 14 sammenfattes undersøgelsens resultater og forudsætninger.

Der indgår en række grafer, som baserer sig på tests, der er navngivet med indeks. For at lette forståelsen ved læsning af bulletinen er der nedenfor angivet betydningen af anvendte indeks.

Forsøg i serierne er generelt navngivet f.eks. "ID 1 (6-2-250-A-Ru)"

- "ID 1" angiver løbenummer
- "6" angiver, at der er tale om Ø6
- "2" angiver, at der er tale om 2 snits bøjler, "1" angiver at der er tale om enkeltjern
- "250" angiver en indstøbningslængde på 250 mm
- "A" er løbenummer for test med den givne diameter
- "Ru" angiver, at armeringens overflade er rustet efter et par dages udendørs eksponering - ingen angivelse betyder, at armeringen er glat uden overfladerust.

3. BAGGRUND

Baggrunden for nærværende bulletin er, at rundjern der leveres fra stålvalseværker i dag leveres med en karakteristisk flydespænding, der er større end 250 MPa.

DS/EN 1992-1-1 er kun gældende for ribbet og svejsbar armering, jf. kapitel 3.2.2(2)P. I det danske annekts DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 supplerende (ikke-modstridende) information 3.2.2(3)P tillades dog, at der anvendes armeringsstål med glat overflade, såfremt den karakteristiske flydespænding ikke overstiger 250 MPa.

Anvendelse af glat armeringsstål, med en karakteristisk flydespænding der er større end 250 MPa, falder således uden for DS/EN 1992-1-1 med tilhørende DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017.

I Bygningsstatistiske meddelelser årgang LXXIII nr. 3 september 2002 (Nielsen & Nielsen, Glatte armeringsstængers vedhæftningsevne til beton, 2002), herefter kaldet DSBY3/2002, er opstillet en bæreevneudtryksmodel, som er verificeret med forsøg.

Bæreevneudtrykket i DSBY3/2002 er for den maksimale forankringsstyrke og der vurderes ikke på sejheden ved udtrækning.

I bulletinen fastlægges en forankringskapacitet, der kan regnes gældende ved plastiske beregninger, og der er opstillet nye beregningsudtryk, som kan regnes gældende ved udtrækning af armeringen.

Beregningsudtryk er udledt empirisk ud fra 4 forsøgsserier. Forsøgsserierne er udført med henblik på at fastlægge kapaciteter, der er relevante for anvendelse af bøjler og enkeljern i elementkanter.

Beregningsudtryk er således gældende for den gængse anvendelse af bøjler som beskrevet i det efterfølgende. Beregningsudtrykkene er ikke generelle og gælder således ikke for alle rundjern.

4. FORMÅL

Formålet med nærværende bulletin er at dokumentere rundjernsbøjlers forankringskapacitet i kanten af betonelementer.

Dokumentationen er udformet i overensstemmelse med DS/EN 1990:2007 Anneks D samt DS/EN 1990 DK NA 2019 (Eurocode0, 2007; Nationalt Anneks E. , 2013). Ligeledes er bulletinen udformet således, at det overholder dokumentationskrav som beskrevet i SBI 271 2. udgave 2019/03/15.



Figur 4-1 Illustration af rundjernsbøjler i kanten af betonelement.

5. GRUNDLAG

Grundlæggende skal dokumentation af konstruktioner være i overensstemmelse med BR18. Generelt henviser BR18 til Eurocodes, men der er mulighed for at fravige, såfremt det dokumenteres, at det sker på forsvarlig vis.

Jf. SBI 271 2. udgave afsnit 1.3.2 gælder følgende vedrørende dokumentation af bæreevne på baggrund af prøvning:

"Prøvning, hvor det vises, at påvirkning < ydeevne, fx materialeegenskaber eller en konstruktionsdels ydeevne. Til grund for tolkning af prøvningsresultater skal ligge en model, som godtgør overensstemmelsen svarende til reglerne i Eurocode 0 (Dansk Standard, 2007a). For selve prøvningerne foreligger en række standarder, der kan anvendes."

Jf. SBI 271 2. udgave afsnit 1.3.3 gælder følgende for dokumentation ved afvigelse fra standarder:

"Dokumentation ved afvigelser fra standarder.

Det fremgår af BR18, § 356, at gældende normer og standarder kan fraviges, hvis det på anden vis sikres og dokumenteres, at en afvigelse er forsvarlig, og der opnås et sikkerhedsniveau, som krævet i Eurocode 0 inklusive nationalt annekst (Dansk Standard 2007a).

Afvigelsen er forsvarlig, hvis konstruktionen opfylder krav til anvendelse og holdbarhed, som angivet i Eurocode 0 inklusive nationalt annekst og Eurocodes 2-9 inklusive nationale annekster i hele konstruktionens levetid.

Det fremgår af afsnit 2.3, Undtagelser, i Bygningsreglementets vejledning om konstruktioner (Trafik-, bygge- og Boligstyrelsen, 2019b), at afvigelse fra standarder som udgangspunkt kræver '(...) at materialestyrke, brudmekaniske modeller og materialeparametre dokumenteres for afvigelsen. Modeller og beregningsregler kan fraviges såfremt en tilsvarende eller højere sikkerhed kan dokumenteres. Materialeparametre kan fraviges såfremt de faktiske materialeparametre kan dokumenteres og resulterer i et tilsvarende eller højere sikkerhedsniveau end den standard, der fraviges.'

Laster skal ved afvigelser dokumenteres ved prøvning eller måling.

Hvis eksisterende normer og standarder afviges, påhviler det den projekterende at dokumentere afvigelsens forsvarlighed, jf. ovenstående. Dette kan ske ved en beregning, en prøvning eller en kombination heraf, og det skal godtgøres ved dokumentation, at den anvendte beregning, prøvning eller kombination heraf ikke giver mindre sikkerhed, anvendelighed og holdbarhed end angivet i Eurocode 0 inklusive nationalt annekst (Dansk Standard 2007a) og Eurocode 2-9 inklusive nationale annekster. Dokumentationen af afvigelsens forsvarlighed skal indgå i den statiske dokumentation for konstruktionen."

samt

"Dokumentation for en beregning, der afviger fra eksisterende normer og standarder, skal omfatte oplysninger om forudsætninger, beskrivelse af statisk model og lastmodel, beskrivelse af materiale- og konstruktionsegenskaber samt en dokumentation af sikkerheden, iht. metoder angivet i Eurocode 0, jf. afsnit 2.3, Statiske beregninger. Eftervisningen kan ske ved brug af sikkerhedsindeks med udgangspunkt i dokumenterede usikkerheder på laster, materialeparametre og beregningsmodeller. Beregningsmetoder bør være dokumenteret ved sammenligning med forsøg.

Dokumentation ved prøvning kan omfatte belastning for fastlæggelse af karakteristiske egenskaber, fx bæreevne, duktilitet, langtidsegenskaber samt egenskaber som funktion af klimapåvirkninger. Prøvning, der lægges til grund for dokumentation, vil almindeligvis skulle ske

til brud eller flydning. Regningsmæssige egenskaber fastlægges på basis af de fastlagte variationskoefficienter, jf. DS/INF 172 (Dansk Standard, 2009)."

Eftervisningen af den karakteristiske og regningsmæssige forankringskapacitet er udført på baggrund af DS/EN 1990:2007+AC:2007+AC:2010+A1:2006, anneks D med tilhørende dansk anneks DS/EN 1990 DK NA:2019 og DS INF 172 (DS/INF, 2009).

6. BEGRÆNSNINGER

I nærværende bulletin udledes der beregningsudtryk for forankringskapacitet af rundjernsbøjler og enkeltjern i betonelementender.

Der er indledningsvist foretaget et valg for hvilke forudsætninger, der er gældende for anvendelsen af disse beregningsudtryk.

Forudsætningerne for anvendelse af beregningsudtryk er:

Betonelement

1. Regningsmæssig betontrykstyrke er min 25MPa.
2. Betonsammensætning: Styrkeklasse C35/45 med maksimal stenstørrelse $d_g=16$ mm. Såfremt der anvendes en højere styrkeklasse, kan udtryk regnes gældende såfremt det kun er C35/45, der tages i regning. Såfremt der anvendes andre betonsammensætninger med anden maksimal stenstørrelse, skal indflydelsen af dette vurderes og tages i betragtning.
3. Udstøbning skal ske på elementfabrik.
4. Minimums dæklag er $c_{min} = 22$ mm.
5. Vægelementtykkelse er minimum 120 mm.
6. Indstøbningslængde
 - Ø6 mm: Fra og med 150 mm til og med 600 mm.
 - Ø8 mm: Fra og med 200 mm til og med 760 mm.
7. Armering i vægelementer opfylder kravene til minimumsarmering iht. DS/EN 1992-1-1 og DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017, kap. 9.6.

Rundjern

8. Rundjern er Ø6 mm eller Ø8 mm.
9. Karakteristiske flydespænding overstiger ikke 400 MPa.
10. Armeringsstål med glat overflade skal overholde kravene i DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 supplerende (ikke-modstridende) information 3.2.1(1)P.
11. Rundjern er uden kroge.
12. Min. afstand mellem bøjler eller enkeltstænger: 150 mm.
13. For bøjler: Indbyrdes afstand mellem bøjleben i samme bøjle er minimum 50 mm og placeret således, at bøjleben ligger på en linje vinkelret på elementoverfladen - se Figur 4-1.
14. Armeringsstivhed som stål ($E_s = 200$ GPa).

Analytiske forudsætninger

15. Duktilitet. De fastlagte forankringsstyrker er bestemt ud fra en maksimal udtrækning af rundjern på 30 mm.
16. Nærværende beregningsudtryk forholder sig udelukkende til brudbæreevner.
17. Max. karakteristisk forankringskraft kan ikke overstige den, der er fastlagt for forkammet armering jf. DS/EN 1992-1-1 (Eurocode2, 2008).

7. BAGGRUNDSVIDEN

7.1 Normmæssige betragtninger

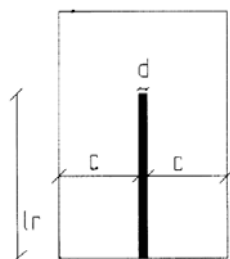
Baggrunden for kravet i DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 (Nationalt Anneks E. , 2017), om at den karakteristiske flydespænding for glat armeringsstål ikke må være større end 250 MPa, vurderes at være den manglende dokumentation af forankringsstyrke og dokumentation for at armeringsstålets forankring i betonen opfylder normens krav til duktilitet.

På baggrund af nye forsøg med forankring af glat armeringsstål i beton dokumenteres i nærværende bulletin, hvordan forankringen af glat armeringsstål Ø6 mm og Ø8 mm kan dokumenteres således, at kravene til duktilitet i DS/EN 1992-1-1 med tilhørende dansk anneks DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 er opfyldt.

7.2 Viden fra andre forsøg

Forankring af glatte armeringsstænger i beton er senest undersøgt af J. B. Nielsen og M. P. Nielsen i forbindelse med først nævntes eksamensprojekt i 2002 ved Danmarks Tekniske Universitet. Forsøgene og resultatet af forsøgene er nærmere beskrevet i Bygningsstatiske meddelelser årgang LXXIII nr. 3 september 2002, Glatte armeringsstængers vedhæftningsevne til beton af J. B. Nielsen og M. P. Nielsen.

De 39 forsøg dannede baggrund for opstillingen af en formel til beregning af glatte armeringsstængers forankringsstyrke.



Figur 7-1 Snit i betoncylinder. l_r er indstøbningslængden, d er armeringens diameter og c er dæklaget (Nielsen & Nielsen, Glatte armeringsstængers vedhæftningsevne til beton, 2002).

For indstøbningslængder $l_r \geq 2c + d$ angiver (Nielsen & Nielsen, Glatte armeringsstængers vedhæftningsevne til beton, 2002) følgende formel for udtræksstyrken T af glat armering i beton med trykstyrken f_c :

$$T = 1.67(2c + d)\pi d \cdot 0.30f_c^{2/3} + 0.22(l_r - (2c + d))d\pi\sqrt{f_c}.$$

For indstøbningslængder $l_r < 2c + d$ angiver (Nielsen & Nielsen, Glatte armeringsstængers vedhæftningsevne til beton, 2002) følgende formel for udtræksstyrken T af glat armering i beton med trykstyrken f_c :

$$T = k_0 l_r \pi d f_t$$

hvor $k_0 = 1.67$ og $f_t = 0.30 \cdot f_c^{2/3}$ (f_c i MPa).

Det konkluderes i DSBY3/2002 at "udtrækningsstyrken for glat armering i beton kan beskrives tilfredsstillende" ved ovenstående formel.

Ovenstående udtryk er dog en fastlæggelse af den maksimale styrke (peak værdi), der opnås ved forsøg. Dette vurderes ikke anvendeligt ved beregninger, hvor plastiske omfordelinger tillades. Dette beskrives yderligere i afsnit 13.7.

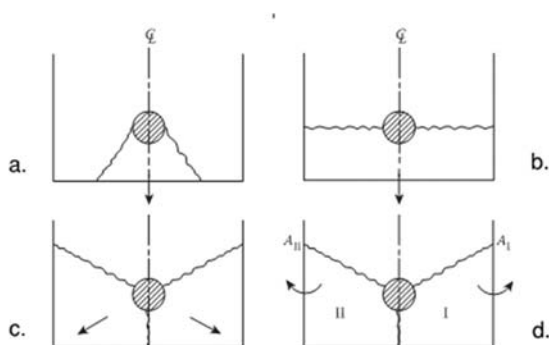
8. ANALYSE AF FORVENTEDE BÆREVNER OG INDFLYDELSE AF PARAMETRE

I dette afsnit beskrives brudformer samt indflydelsen af de parametre, der indgår i bestemmelsen af forankringskapaciteten.

8.1 Brudformer

8.1.1 Brudmekanismer med betonbrud

For forkammet og præget armering vil brudmekanismer, hvor betonen bryder, som vist i nedenstående Figur 8-1, kunne forekomme.



Figur 8-1 Illustration af mekanismer for sidebrud (a) og spaltning (b-d) som vist i (Nielsen & Hoang, Limit Analysis and Concrete Plasticity, 3rd Edition, 2011).

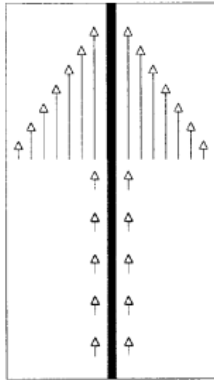
Tilsvarende brudform vil kunne forekomme for rundjern, såfremt dæklaget er tilstrækkeligt lille. Da kammene på den forkammete armering giver anledning til større udadrettet kraft ved forankring, i forhold til glat armering, kan forankringsudtrykket for forkammet armering således simplificeres og konservativt anvendes som en øvre grænse for forankringskapacitet.

For de dæklag og afstande mellem bøjler, der anvendes i praksis vil udtrækningsbrud dog oftest være gældende.

8.1.2 Udtrækningsbrud

Ved udtrækningsbrud forbliver betonen omkring armeringen intakt.

Langs armeringen vil der være enten vedhæftning (kohæsion) eller friktion. Spændingsfordelingen langs armeringen er ikke kendt og vil ændre sig med belastningen under udtrækning/brud.



Figur 8-2 Illustration af vedhæftning og friktion som vist i BSM 2002-3.

Denne brudform er gældende for indstøbte enkeltjern og bøjler med de begrænsninger, der er givet indledningsvis i afsnit 6.

I de efterfølgende afsnit behandles indflydelsen af de forskellige parametre på udtrækningsbrud.

8.2 Betonelement

8.2.1 Betontrykstyrke, betontrækstyrke og betonstivhed.

Øget betontrykstyrke vil have en positiv indflydelse på den friktion, der kan overføres fra armering til beton.

Ligeledes vil øget betontrækstyrke have positiv indflydelse på den vedhæftning (kohæsion), der kan opnås mellem armering og beton.

Øget betonstivhed vil forventeligt også have en mindre positiv effekt, idet mindre eftergivelse vil medføre større tværsænderinger og dermed større friktion.

Betontrækspænderinger og betonstivhed anses, jf. DS/EN 1992-1-1, for at have sammenhæng med betontrykstyrken. Det anses derfor for rimeligt at vurdere alle ovenstående effekter samlet ud fra betontrykstyrken.

I forhold til begrænsninger angivet i afsnit 6 er målsætningen med denne dokumentation udelukkende at eftervise et beregningsudtryk, der er gældende for en betontrykstyrke på min. 25 MPa. Den positive effekt af en evt. stærkere beton ses der bort fra.

Det bemærkes dog, at det forsøgsteknisk ikke er muligt at teste ved præcis samme betontrykstyrke, hvorfor der foretages en fastlæggelse af betontrykstyrkens indflydelse, men udelukkende for en lille variation af styrken og denne medtages ikke generelt i det endelige forankringsudtryk.

8.2.2 Betonsammensætning

Betonsammensætningen vil forventeligt have en indflydelse, som dog forventes at være af mindre betydning. Jf. DS/EN 1992-1-1 regnes betonsammensætningen ikke for at have betydning for forankring af armering, hverken forkammet eller glat.

De største betydninger vurderes at være indirekte dækket af betontrykstyrken, idet parametre som luftindhold og kitmassetæthed influerer tilsvarende på betontrykstyrken – f.eks. giver større luftindhold mindre styrke og dermed mindre forankring af armering.

For så vidt angår maksimal stenstørrelse, vurderes dette også at have en indflydelse, hvorfor dette medtages som en begrænsning i afsnit 6.

8.3 Udstøbning

Udstøbning af betonelementvægge foretages generelt liggende.

DS/EN 1992-1-1 skelner generelt ikke mellem udstøbningsmetoder, men forudsætter generelt at der sker en tilstrækkelig bearbejdning af beton for at sikre god omstøbning.

Udstøbningsmetoden anses derfor grundlæggende at have en ubetydelig indflydelse og der ses derfor bort fra denne.

Det bemærkes dog, at DS/EN 1992-1-1 skelner mellem "gode" forankringsforhold og "dårlige" forankringsforhold som beskrevet i afsnit 14.

8.4 Dækklag

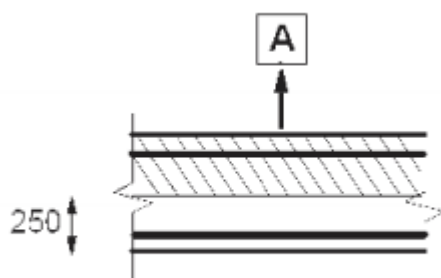
Øget dækklag har generelt en positiv indflydelse på forankringskapaciteten. Dette fremgår bl.a. af BSM 2002-3. Det kan forklares ved, at den omkringliggende beton er mindre eftergivelig, hvorved der kan overføres større forskydningskræfter pga. større tværspændinger.

I forhold til begrænsningen angivet i afsnit 6, opstilles der beregningsudtryk på baggrund af mindste dækklag. Beregningsudtrykkene kan konservativt regnes glædende for større dækklag også.

8.5 Vægelementtykkelse

DS/EN 1992-1-1 skelner i afsnit 8.4.2 mellem "gode" og "dårlige" forankringsforhold.

For plader er det som vist nedenfor.



c) $h > 250$ mm

c) & d) uskraveret område – gode forankringsforhold
skraveret område – dårlige forankringsforhold

Figur 8-3 Illustration af "gode" og "dårlige" forankringsforhold jf. DS/EN 1992-1-1.

Idet vægge støbes liggende, som en plade, skal disses forhold tages i betragtning.

Der er ikke foretaget nogen eftervisning af betydningen af forankringsforholdene, men jf. DS/EN 1992-1-1 afsnit 8.4.2 kan der for forkammet armering tages højde for dette ved at reducere kapaciteten med en faktor $\eta_1 = 0,7$.

Det vurderes, at en sådan reduktion også vil være dækkende for rundjern.

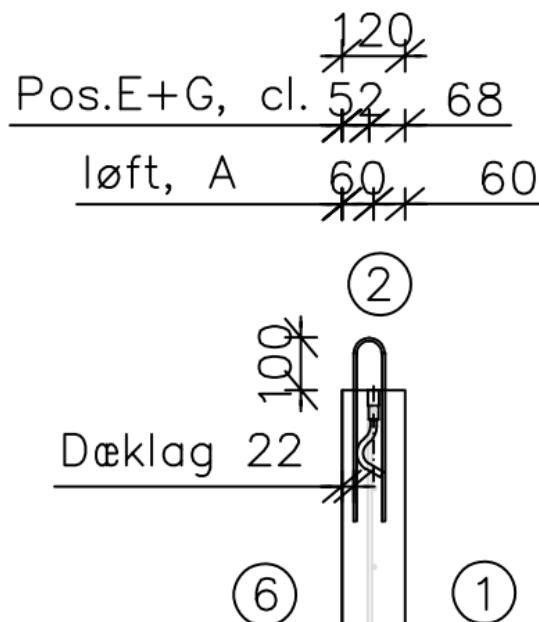
Dette vil i praksis kun være gældende for vægtykkelser med en tykkelse på mere end 250 mm og med rundjern placeret i den "dårlige" zone.

Eksempelvis vil dette ikke have betydning for en 350 mm tyk væg med bøjler bukket om en dorn med diameter på 50 mm og placeret centralt.

8.6 Armering i vægge

Ved forsøg er netarmering Y6/150 i testelementerne placeret som vist nedenfor. Idet rundjern er istøbt med en afstand på 400 mm, vil der være test, hvor afstanden mellem rundjern og vægarmering er relativ kort og test, hvor afstanden er relativ lang.

Det forventes ikke, at der vil være forskel i forankringsstyrken på rundjern indstøbt tæt ved net og på rundjern indstøbt med lang afstand til net. Afstande er ikke registreret.



Figur 8-4 Illustration af forsøgsemne, der viser afstande mellem net og bøjler.

8.7 Indstøbningslængde

Indstøbningslængden har åbenlyst en positiv effekt og er den parameter, der opstilles et beregningsudtryk for.

Idet den egentlige spændingsfordeling mellem beton og armering ikke er kendt, kan der generelt ikke udledes et beregningsudtryk for sammenhængen.

Det er dog forventeligt, at afhængigheden vil være tilnærmelsesvis lineær, svarende til resultaterne ved fastlæggelsen af peak bæreevne i tidligere forsøg.

9. PLANLÆGNING AF FORSØG – FORSØGSSERIE 1

9.1 Indledning

Dette afsnit omhandler planlægning af Forsøgsserie 1.

Afsnittet er opbygget i overensstemmelse med DS/EN 1990:2007 Anneks D.4

9.2 Målsætning og omfang

Formålet med forsøgene er at

1. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet og indstøbningslængder for bøjler, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
2. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet og indstøbningslængder for enkeltjern, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
3. Verificere de forventede brudformer.
4. Verificere den forventede sejhed.
5. Verificere indflydelsen af rundjern med overfladerust.

Begrænsninger

Der udføres et begrænset antal forsøg, hvorved det udelukkende er ovenstående indflydelser, der vurderes på.

Gyldighedsområde

Forsøgene er kun dækkende for elementer, der falder inden for begrænsningerne beskrevet i afsnit 6. Begrænsninger.

9.3 Forudsigelse af forsøgsresultater

Det forventes, at resultater for de enkelte forsøg vil udvise en plastisk opførelse. Arbejdskurver forventes at være lig de der er observeret i DSBY3/2002, med et peak efterfulgt af en tilnærmelsesvis sinusformet arbejdskurve.

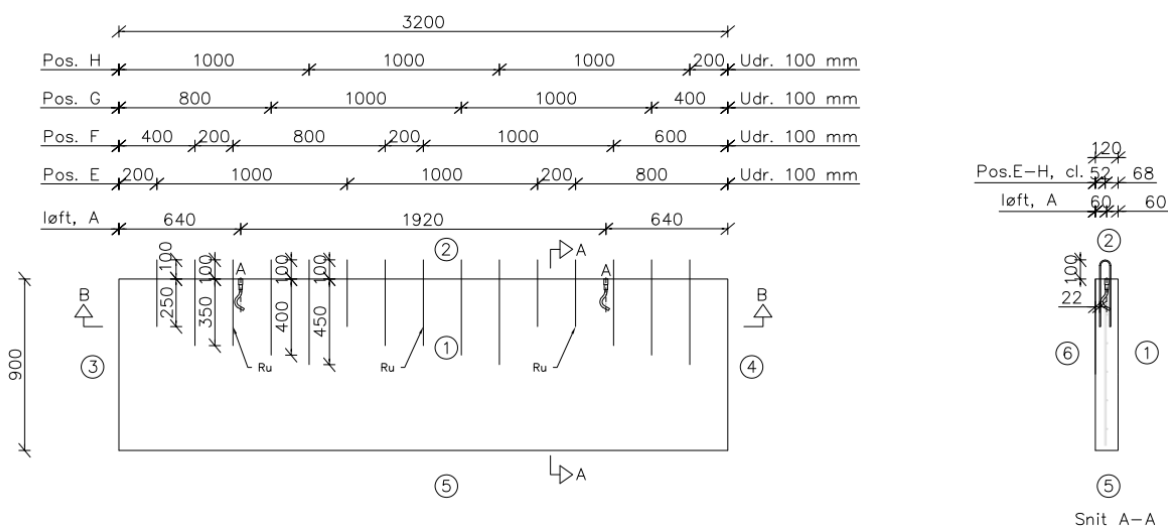
For så vidt angår sammenhænge mellem de enkelte forsøg forventes følgende:

- En tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem indstøbningslængde og kapacitet.
- En sammenhæng mellem betontrykstyrke og forankringskapacitet. Denne tendens er utilsigtet, men forventelig, da ikke alle tests sker ved den tilstræbte betontrykstyrke. Der forventes udelukkende udtrækningsbrud.

9.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning

Specifikationen af forsøgsemner og emneudtagning er nærmere beskrevet i forsøgsrapport.

Overordnet foretages forsøg med indstøbning af U-bøjler i elementside som illustreret nedenfor.



Figur 9-1 Illustration af forsøgsemne.

For forsøgsemnerne gælder:

- Dæklag 22 mm.
- Dorndiameter på bøjler er 50 mm.
- Tilstræbt betonstyrke 25 MPa – der foretages dokumentation af dette med prøvecylindre, hvor styrke/modenhed fastlægges og der foretages modenhedsmåling på testemnet. Ud fra denne fastlægges styrken på testtidspunktet.
- Indstøbningslængder: 250 mm, 350 mm, 400 mm og 450 mm.
- Indstøbningsdele: bøjler og enkeltjern.
- Overflader: ru (med overfladerust) og glat.
- Styrke af bøjler og enkeltjern S355 (jf. bilag ses, at det blev testet til flydespænding 358MPa og brudspænding 546MPa).

9.5 Lastangivelser

Belastninger foretages gradvist med en jævn oplastning med en deformation på ca. 5-10 mm/min. Forsøget foretages med manuel hydraulisk pumpe og forsøget filmes således, at sammenhængende data efterfølgende kan findes ud fra film.



Figur 9-2 Illustration af belastning og dataopsamling via video.

Alle forsøg blev trukket til brud/udtrækning på ca. 50 mm.

Forsøgene er udført ved temperaturer og relativ fugtighed, der svarer til de forhold, som elementerne vil blive udsat for under bygningens drift.

9.6 Forsøgsopstilling

Forsøgsopstilling er nærmere beskrevet i testrapporten.

Overordnet foretages der belastning via åg med hydraulisk cylinder, der placeres oven på forsøgsvæg som vist nedenfor.



Figur 9-3 Illustration af Testrig.

9.7 Vurderinger og rapportering af forsøg

Rapportering af Forsøgsserie 1 fremgår af testrapport i bilag.

Vurdering af forsøgsserier fremgår af den samlede forsøgsanalyse i afsnit 13, hvor begge forsøgsserier er vurderet.

En måling der ikke fremgår af forsøgsrapporterne, er krumningen på de lige stænger. Grundlæggende er bøjlerne lavet ved at udrette coils. Det betyder, at der er en risiko for at udretningen ikke er 100%, hvorved der vil være en lille krumning. Idet udretningen sker på maskiner, der med rimelighed kan antages at foretage det ens hver gang, er der efterfølgende foretaget målinger på tilsvarende bøjler.

Afreportering af denne måling er via mail, der er sendt fra Kvalitetschef, Ole Henriksen 2019 11 27, hvoraf følgende fremgår:

"Hermed et par billeder af rundjernsbøjler, som er lagt mod en ret skinne, hvor jeg har målt med søgeblade.

Jeg har i alt målt 3 bøjler med 2 ben hver. Her fandt jeg kun 2 krumme ben. De krummede under 0,9 mm over en længde på 320 mm."



Figur 9-4 Illustration af krumningsmåling af rundjern.

10. PLANLÆGNING AF FORSØG – FORSØGSSERIE 2

10.1 Indledning

Dette afsnit omhandler planlægning af Forsøgsserie 2.

Nærværende afsnit er opbygget i overensstemmelse med DS/EN 1990:2007 Anneks D.4.

Idet der er en række gentagelser i forhold til Forsøgsserie 1, vil der for gentagelserne blot være henvisning til Forsøgsserie 1.

10.2 Målsætning og omfang

Formålet med forsøgene er at:

1. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet og indstøbningslængder for bøjler, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
2. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet for enkeltjern og indstøbningslængder, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt, at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
3. Verificere de forventede brudformer.
4. Verificere den forventede sejhed.
5. Verificere indflydelsen af rundjern med overfladerust.

Begrænsninger

Se Forsøgsserie 1.

Gyldighedsområde

Se Forsøgsserie 1.

10.3 Forudsigelse af forsøgsresultater

Se Forsøgsserie 1.

10.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning

For forsøgsemnerne gælder:

- Dæklag 22 mm.
- Dorndiameter på bøjler er 50 mm.
- Tilstræbt betonstyrke 25 MPa – der foretages dokumentation af dette med prøvecylindre, hvor styrke/modenhed fastlægges og der foretages modenhedsmåling på testemnet fra denne fastlægges styrken på testtidspunktet.
- Indstøbningslængde: varieret mellem 250 mm og 450 mm.
- Indstøbningsdele: bøjler.
- Overflader: glat.
- Styrke af bøjler og enkeltjern S355 (jf. bilag ses, at det blev testet til flydespænding 358MPa og brudspænding 546MPa).

Se i øvrigt også Forsøgsserie 1.

10.5 Lastangivelser

Se Forsøgsserie 1.

10.6 Forsøgsopstilling

Se Forsøgsserie 1.

10.7 Vurderinger og rapportering af forsøg

Rapportering af Forsøgsserie 2 fremgår af testrapport i bilag.

Vurdering af Forsøgsserie 2 fremgår af den samlede forsøgsanalyse, der fremgår af afsnit 13, hvor begge forsøgsserier er vurderet.

11. PLANLÆGNING AF FORSØG – FORSØGSSERIE 3

11.1 Indledning

Dette afsnit omhandler planlægning af Forsøgsserie 3.

Afsnittet er opbygget i overensstemmelse med DS/EN 1990:2007 Anneks D.4.

Idet der er en række gentagelser i forhold til Forsøgsserie 1, vil der for gentagelserne blot være henvisning til Forsøgsserie 1.

11.2 Målsætning og omfang

Formålet med forsøgene er at:

1. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet for bøjler - denne gang Ø8 - og indstøbningslængder, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt, at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
2. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet for enkeltjern og indstøbningslængder, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt, at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
3. Verificere de forventede brudformer.
4. Verificere den forventede sejhed.

Begrænsninger

Se Forsøgsserie 1.

Gyldighedsområde

Se Forsøgsserie 1.

11.3 Forudsigelse af forsøgsresultater

Se Forsøgsserie 1.

11.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning

For forsøgsemnerne gælder:

- Dæklag 22 mm.
- Dorndiameter på bøjler er 50 mm.
- Tilstræbt betonstyrke 25 MPa – der foretages dokumentation af dette med prøvecylindre, hvor styrke/modenhed fastlægges og der foretages modenhedsmåling på testemnet. Fra denne fastlægges styrken på testtidspunktet.
- Indstøbningslængde: varieret mellem 300 mm, 400 mm og 500 mm.
- Indstøbningsdele: bøjler.
- Overflader: glat.
- Styrke af bøjler og enkeltjern S355 (jf. bilag ses, at det blev testet til flydespænding 358MPa og brudspænding 546MPa).

Se i øvrigt også Forsøgsserie 1

11.5 Lastangivelser

Se Forsøgsserie 1

11.6 Forsøgsopstilling

Se Forsøgsserie 1

11.7 Vurderinger og rapportering af forsøg

Rapportering af Forsøgsserie 3 fremgår af testrapport i bilag.

Vurdering af Forsøgsserie 3 fremgår af den samlede forsøgsanalyse, der fremgår af afsnit 13, hvor begge forsøgsserier er vurderet.

12. PLANLÆGNING AF FORSØG – FORSØGSSERIE 4

12.1 Indledning

Dette afsnit omhandler planlægning af Forsøgsserie 4.

Afsnittet er opbygget i overensstemmelse med DS/EN 1990:2007 Anneks D.4.

Idet der er en række gentagelser i forhold til Forsøgsserie 1, vil der for gentagelserne blot være henvisning til Forsøgsserie 1.

12.2 Målsætning og omfang

Formålet med forsøgene er at:

1. Fastlægge indflydelsen af tilbagebukning af rundjern, således at den ligger op af siden i elementformen og efterfølgende udrettes inden udtrækning.
2. Fastlægge indflydelsen af en forbelastning med 20 cykler svarende til ca. 85% af $f_{t,30}$.
3. Derudover indgår data sammen med data for Forsøgsserie 1,2,3 til at:
 - a. Fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet for enkeltjern og indstøbningslængder, hvor alle andre parametre som udgangspunkt fastholdes, idet det dog er erkendt, at styrken vil variere, da forsøgene udføres over tid.
 - b. Verificere de forventede brudformer.
 - c. Verificere den forventede sejhed.

Begrænsninger

Se Forsøgsserie 1.

Gyldighedsområde

Se Forsøgsserie 1.

12.3 Forudsigelse af forsøgsresultater

Se Forsøgsserie 1.

12.4 Specifikation af forsøgsemner og emneudtagning

For forsøgsemnerne gælder:

- Dæklag 22 mm.
- Dorndiameter på bøjler er 50 mm.
- Tilstræbt betonstyrke 25 MPa – Der foretages dokumentation af dette med prøvecylindre hvor styrke/modenhed fastlægges og der foretages modenhedsmåling på testemnet fra denne fastlægges styrken på testtidspunktet.
- Indstøbningslængde: varieret mellem 250 mm og 450 mm.
- Indstøbningsdele: bøjler.
- Overflader: glat.
- Styrke af bøjler og enkeltjern S355 (jf. bilag ses, at det blev testet til flydespænding 358MPa og brudspænding 546MPa).

Se i øvrigt også Forsøgsserie 1.

12.5 Lastangivelser

Se Forsøgsserie 1.

12.6 Forsøgsopstilling

Se Forsøgsserie 1.

12.7 Vurderinger og rapportering af forsøg

Rapportering af Forsøgsserie 4 fremgår af testrapport i bilag.

Vurdering af Forsøgsserie 4 fremgår af den samlede forsøgsanalyse, der fremgår af afsnit 13, hvor begge forsøgsserier er vurderet.

13. FORSØGSANALYSE

I nærværende afsnit beskrives det, der kan udledes på baggrund af de fire forsøgsserier.

Overordnet indeholder Forsøgsserie 1 en række forsøg, der afklarer indflydelsen af

- Betydningen af ruhed.
- Forskellen mellem bøjler og enkeltjern.
- Afklaring af lineær sammenhæng mellem indstøbningslængder og kapacitet.

I Forsøgsserie 2 er der fokus på at udbygge forsøgsdata med henblik på at etablere en større datamængde for bedre statistisk, at kunne fastlægge en sammenhæng mellem indstøbningslængde og kapacitet i betonelementer med en betontrykstyrke på 25 MPa.

I Forsøgsserie 3 er der lavet forsøg med Ø8 mm bøjler for at fastlægge sammenhæng mellem forankringskapacitet og indstøbningslængde.

I Forsøgsserie 4 er der lavet forsøg med 8 mm bøjler for at afklare effekten af udretning af bøjler og effekten af en cyklisk forhåndsbelastning.

Ved behandlingen af resultaterne er der taget hensyn til variationen af betonstyrken i forsøgsemnerne.

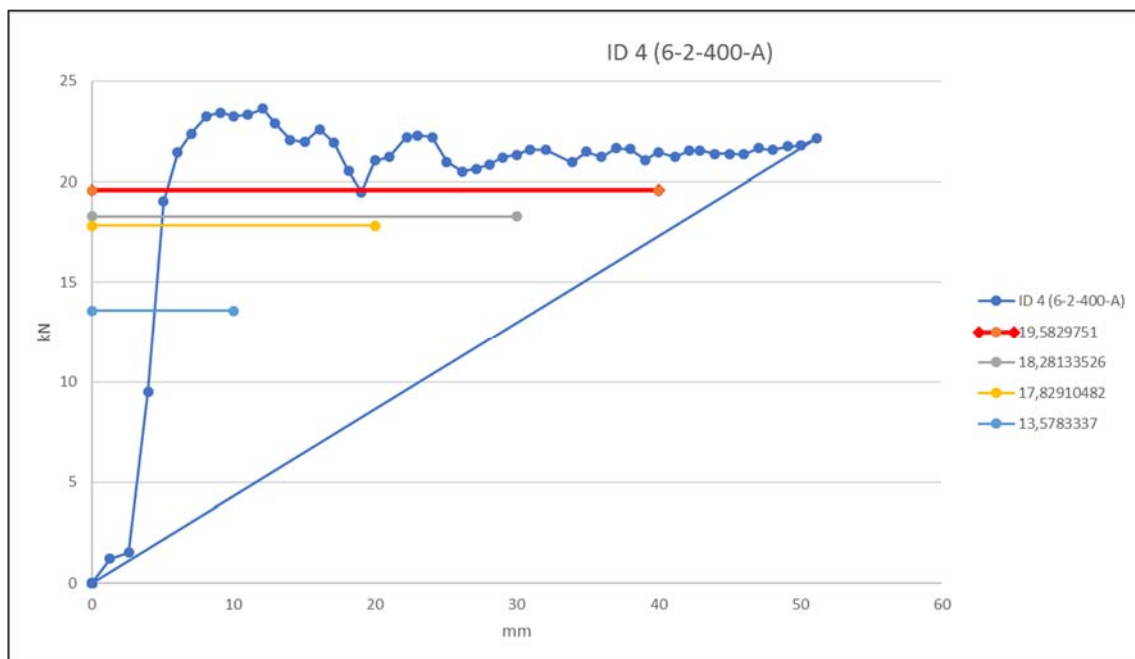
13.1 Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 1

13.1.1 Offset

Der er ved enkelte forsøg målinger, der viser meget lille kraftforøgelse ved de indledende 2-3 mm deformation. Dette kunne tyde på, at den målte deformation i dette måleområde er et udtryk for, at forsøgsoptillingen har "givet sig" og der reelt ikke er en deformation af rundjernet – et offset.

Dette er muligvis gældende ved forsøg 4 og 18.

Indflydelsen på kapaciteten udregnet ud fra 30 mm deformation er meget begrænset. Da det er konservativt at se bort fra dette offset, vælges dette.



Figur 13-1 Illustration af arbejdskurve (urdtrækraft som funktion af flytning) for ID4. Det bemærkes at denne arbejdskurve er for hele bøjlen, dvs. værdien for det enkelt "ben" i bøjlen skal findes ved at dele med 2.

13.1.2 Test med rig tæt ved kanten

I Forsøgsserie 1 gjaldt det for test ID1 og ID15, at disse var støbt med 400 mm afstand til kant. For ID16 gjaldt det, at denne var støbt med 200 mm til kant.

Dette betød, at teststøbet ikke kunne hvile af på sædvanlig vis, men der måtte indskydes I-profiler som vist på illustration nedenfor.

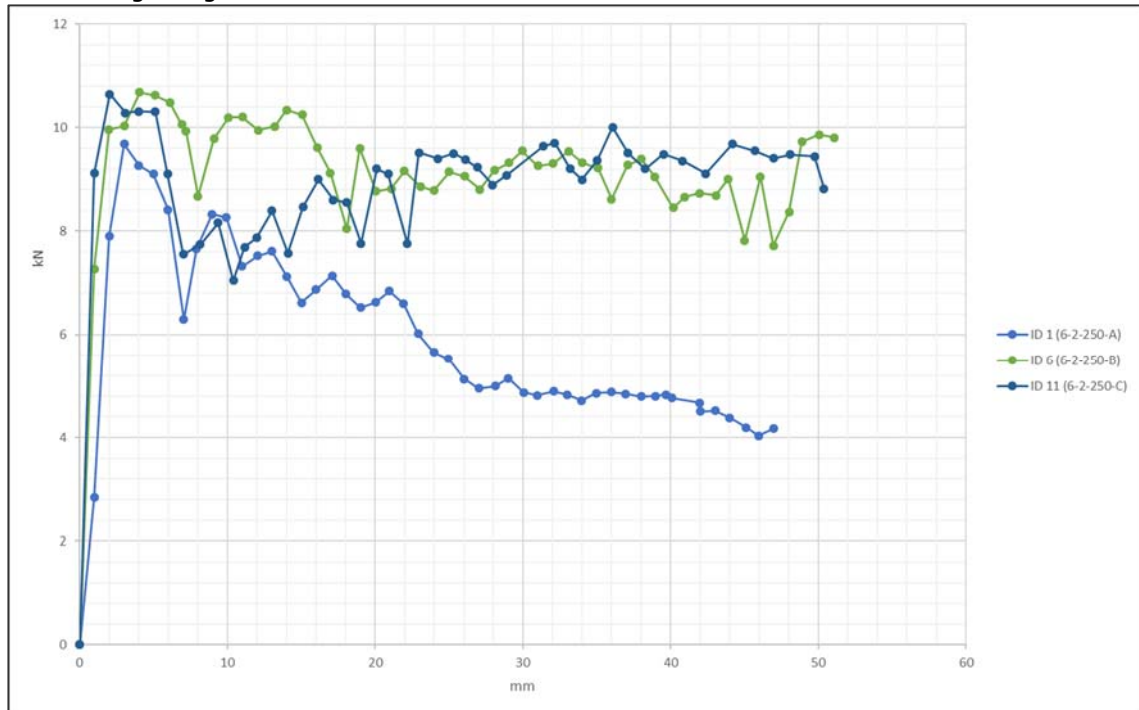


Figur 13-2 Illustration af arbejdskurve fra ID5.

Konsekvensen af dette var, at der er mindre afstand mellem modhold og bøjler.

Som udgangspunkt var modhold lavet i så stor afstand fra tests, at spændinger ved modhold kunne anses for at være uden betydning.

Betragtes arbejdskurven for ID1 i sammenligning med øvrige tests med denne indstøbningslængde ses nedenstående.

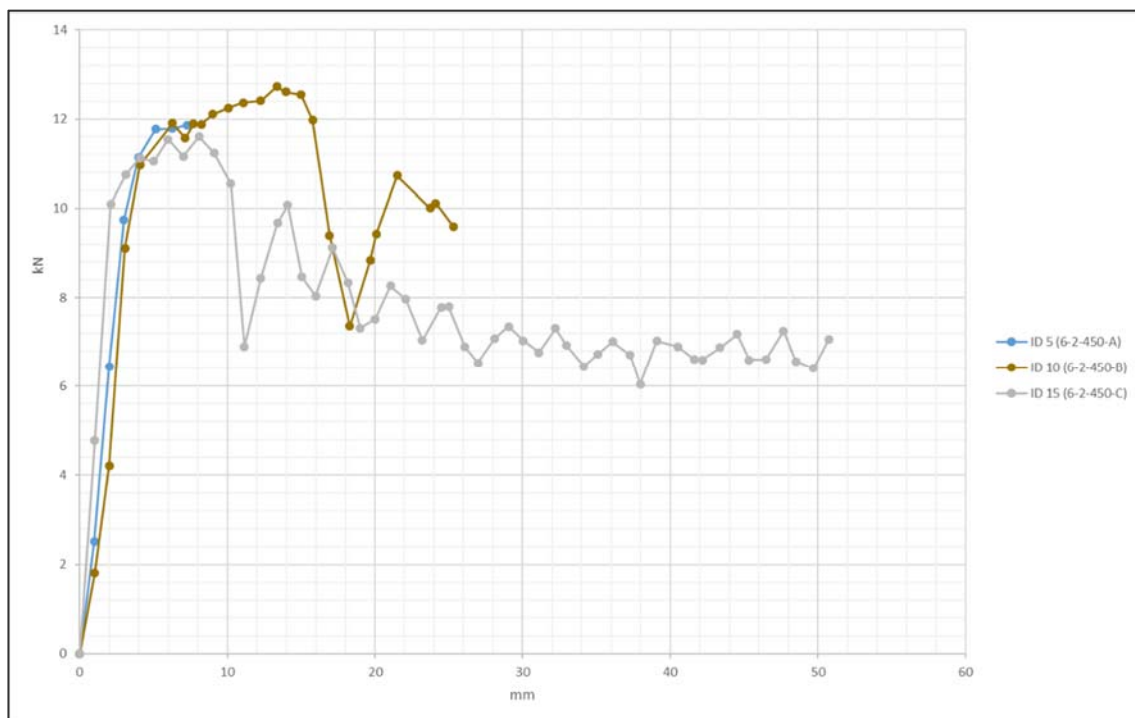


Figur 13-3 Illustration af arbejdskurve fro ID1 sammenlignet med øvrige test med samme indstøbningslængde.

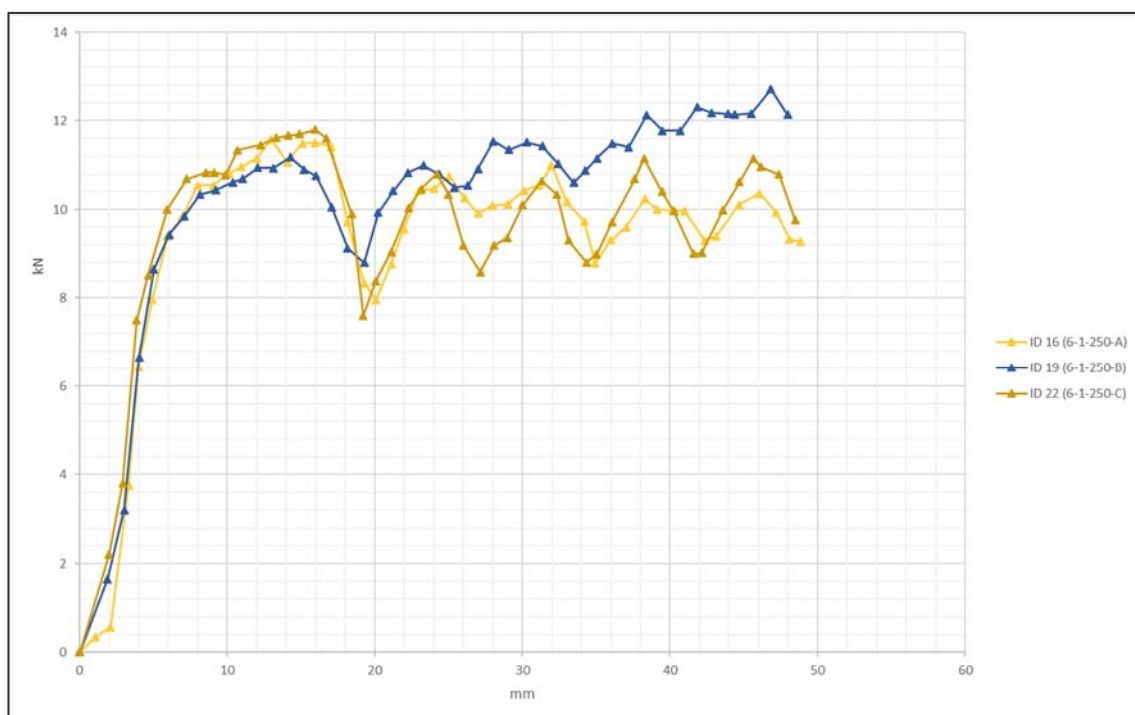
Som det fremgår, er der tilsyneladende en lille smule negativ indflydelse af den ændrede understøtning (trykstyrken er næsten ens ID1:25,8 MPa, ID6:28,2 MPa, ID11:28,9 MPa).

Tilsvarende sammenligninger er undersøgt for ID15 og ID16 og gengivet nedenfor. For ID15 er sammenligningsgrundlaget sparsomt, idet der ikke er fulde arbejdskurver for de to andre tests. Det er på den baggrund valgt at se bort fra ID15.

For ID16 synes der ikke at være nogen forskel på denne og tests der er sammenlignelige.



Figur 13-4 Illustration af arbejdskurve fro ID15 sammenlignet med øvrige tests med samme indstøbningslængde.



Figur 13-5 Illustration af arbejdskurve fro ID16 sammenlignet med øvrige tests med samme indstøbningslængde.

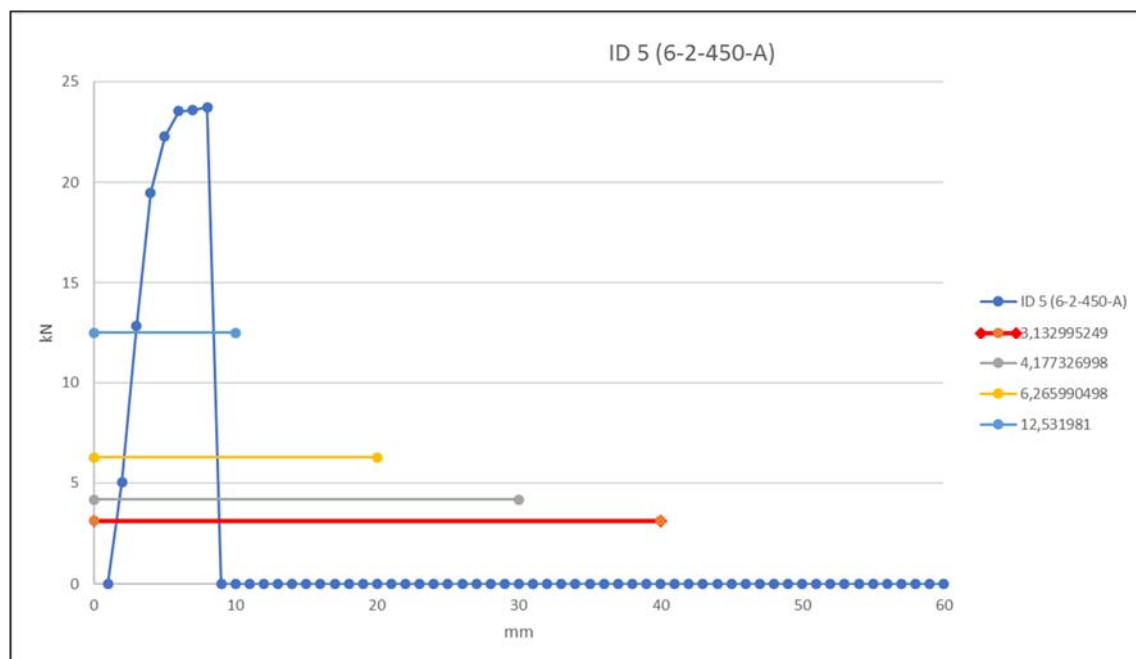
Ud fra ovenstående vurderes det, at der er en lille negativ indflydelse af de ændrede modholdsforhold. Indflydelsens størrelse taget i betragtning og det faktum, at det er konservativt at se bort fra denne, medfører at det vurderes rimeligt at negligere en sådan indflydelse.

13.1.3 Frasortering

13.1.3.1 Manglende data

For test ID5 og ID10 gælder, at der ikke er data, som dækker helt op til en deformation på 30 mm. Dette skyldes ikke brud, men at videoen, der blev lavet af forsøgene, var af en sådan karakter, at man ikke kunne aflæse måleuret.

Det er derfor valgt at se bort fra disse målinger i de videre analyser.



Figur 13-6 Illustration af arbejdskurve fra ID5. Det bemærkes, at denne arbejdskurve er for hele bøjlen, dvs. værdien for det enkelt "ben" i bøjlen skal findes ved at dele med 2.

13.2 Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 2

13.2.1 Offset

Der gælder samme forhold som ved Forsøgsserie 1.

13.2.2 Frasortering

13.2.2.1 Manglende data

For test ID 8 gælder det, at der ikke er data, som dækker helt op til en deformation på 30 mm. Dette skyldes ikke brud, men at videoen, der blev lavet af forsøgene, er af en sådan karakter, at man ikke kunne aflæse måleuret.

Det er derfor valgt at se bort fra disse målinger i de videre analyser.

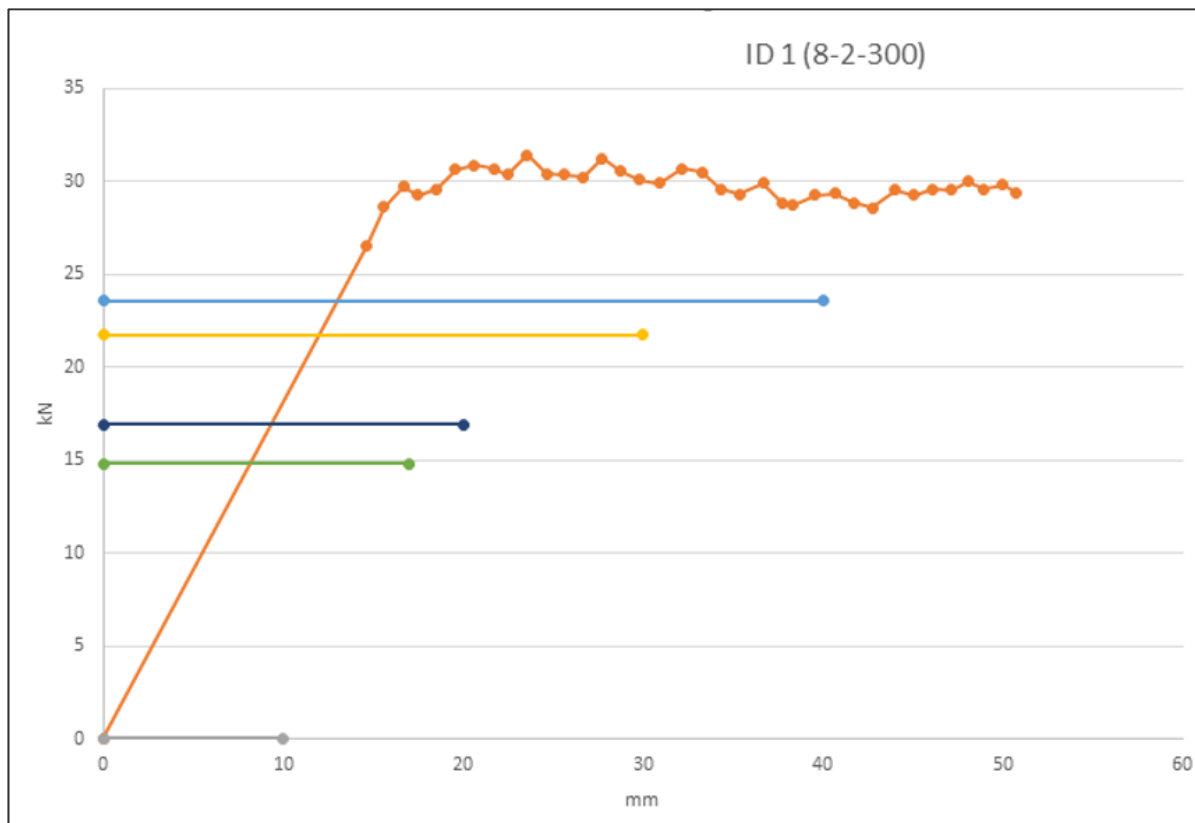
13.3 Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 3

13.3.1 Offset

Der gælder samme forhold som ved Forsøgsserie 1.

13.3.2 Frasortering

I testserie 3 er der ved det første forsøg ikke registreret målinger for de første 15 mm. På baggrund af dette udelukkes denne test.



Figur 13-7 Illustration af arbejdskurve fra ID1 forsøgsserie 3. Det bemærkes, at denne arbejdskurve er for hele bøjlen, dvs. værdien for det enkelt "ben" i bøjlen skal findes ved at dele med 2.

13.4 Vurdering af fejlkilder og udelukkelse af tests fra Forsøgsserie 4

13.4.1 Offset

Der gælder samme forhold som ved Forsøgsserie 1.

13.4.2 Frasortering

Der foretages ingen frasorteringer.

13.5 Forskel mellem forankring af bøjler Ø6 mm og enkeltjern Ø6 mm

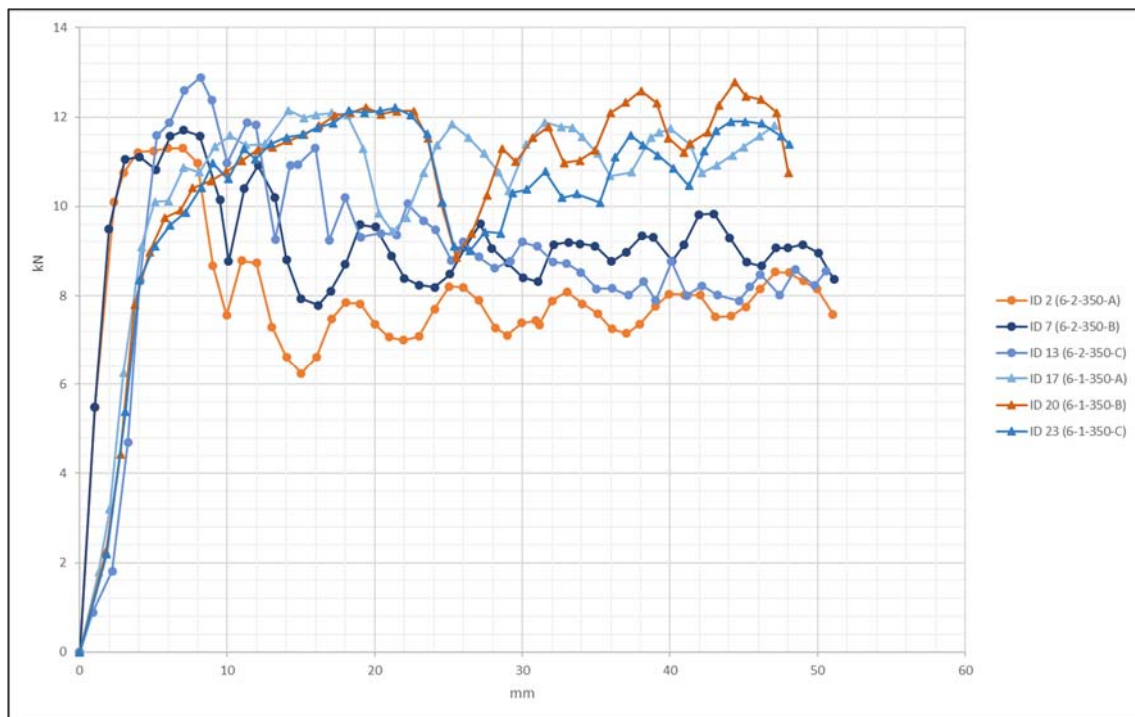
Ved sammenligning af arbejdskurver for enkeltjern Ø6 mm og bøjler Ø6 mm, med samme indstøbningslængder og tilnærmelsesvis samme betonstyrker, fremgår det umiddelbart, at der er forskel på arbejdskurver for de to typer indstøbning.

Som det er illustreret nedenfor for indstøbningslængden 350 mm, er der en større forankringsstyrke for et enkeltjern end for en bøjle.

En umiddelbar forklaring på dette kan være, at det ved test af en bøjle forudsættes, at der testes hvad der svarer til to enkeltjern på en gang, hvorved der statistisk vil findes lavere styrke.

At dømme ud fra arbejdskurvernes forløb vurderes bøjler og enkeltjern at have forskellige forløb, hvor peaket er senere for enkeltjern og med en mere "blød" kurve indledningsvis.

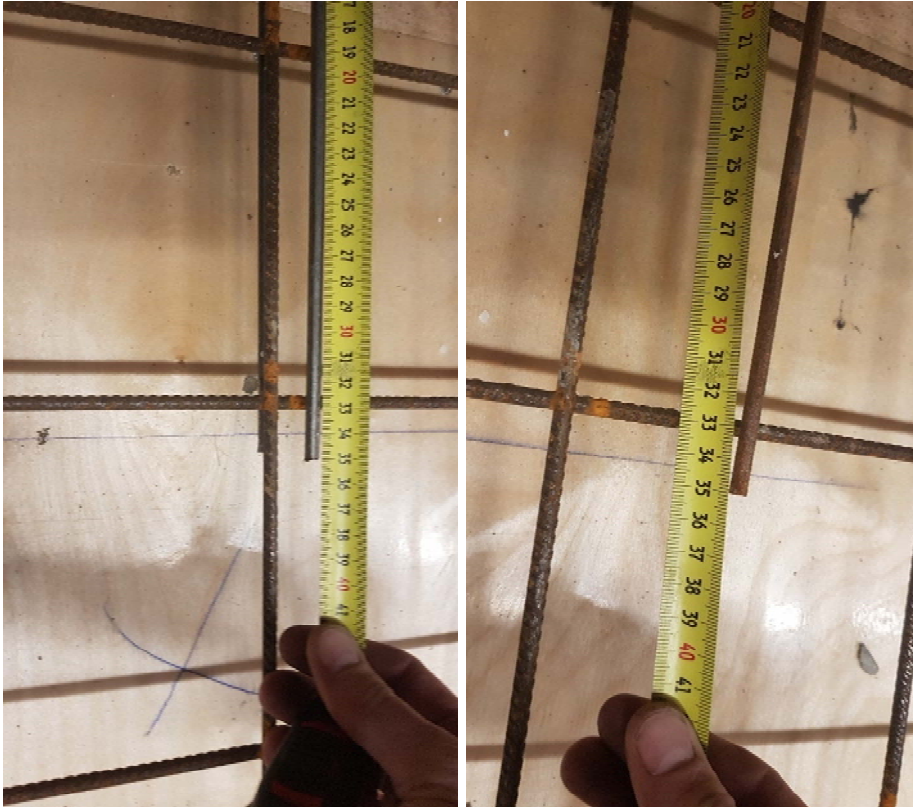
Det vurderes med udgangspunkt i ovenstående, at der er en forskel på forankringen af hhv. bøjler Ø6 mm og enkeltjern Ø 6 mm og at disse skal behandles hver for sig.



Figur 13-8 Illustration af arbejdskurve for ID2, 7, 13, 17, 20 og 23 (fra Forsøgsserie 1). Arbejdskurven viser kraften i hver bøjleben.

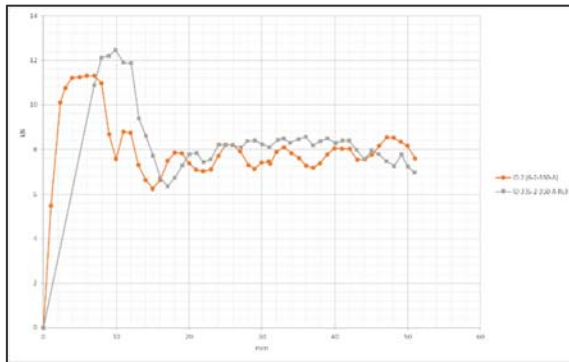
13.6 Indflydelse af ruhed

I Forsøgsserie 1 er der lavet forsøg med bøjler uden overfladerust og bøjler med overfladerust. Overfladens beskaffenhed er beskrevet i testrapport og er illustreret nedenfor. Generelt er der tale om hhv. glatte rene bøjler uden overfladerust og bøjler med overfladerust, som det opstår, når armeringen opbevares i det fri.

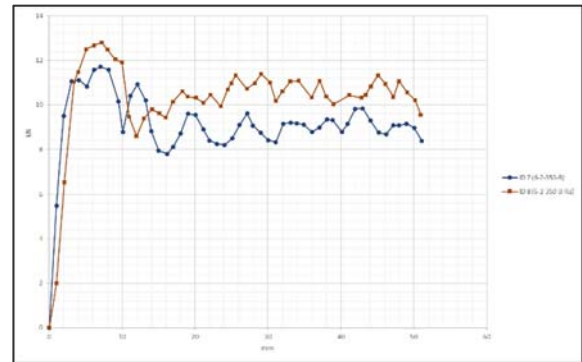


Figur 13-9 Illustration af ID7 og ID8 med hhv. glat og ru armering.

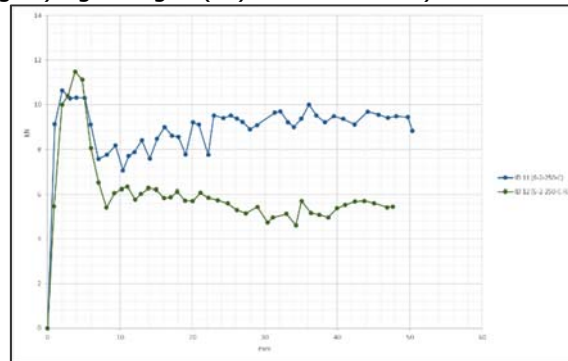
Ved Forsøgsserie 1 blev der planlagt forsøg, hvor de to typer testes umiddelbart efter hinanden. De tre sammenligninger er gengivet nedenfor.



a) ID2 orange (glat) og ID3 grå (ru)



b) ID7 brun (glat) og ID8 blå (ru)



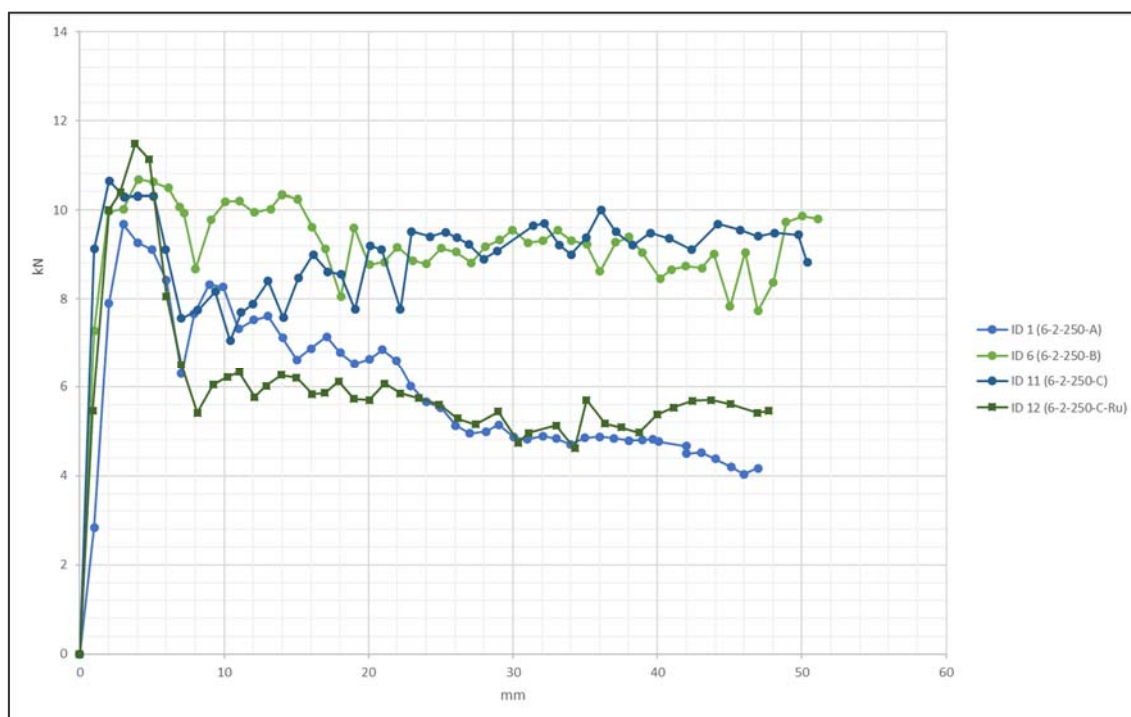
c) ID11 blå (glat) og ID12 grøn (ru)

Figur 13-10 Illustration af ID2/ID3, ID7/ID8 og ID11/ID12 arbejdskurver med hhv. glat og ru armering. Samtlige arbejdskurver kan genfindes i større udgave i bilag.

Som det ses af ovenstående Figur 13-10, gælder det for samtlige, at peak værdier er højere for ru end for glat armering.

For arbejdskurverne generelt gælder, at tests med ru armering ligger højere end tests med glat armering med indstøbningslængder på 350 mm, mens tests for indstøbningslængden på 250 mm (ID11 og ID12) ligger lavere efter peak for ru armering end for glat armering.

Sammenlignes arbejdskurven for den ru indstøbning ved 250 mm med de øvrige med denne indstøbningslængde, synes ID12 (ru) at have forløb svarende til ID1 (glat). Selvom de begge ligger lavere end ID11 og ID6 (begge glatte), vurderes det, at indflydelsen af ruheden for denne indstøbningslængde ligger inden for den afvigelse, der kan forventes ved forsøg.



Figur 13-11 Illustration af arbejdskurver for ID1, ID6, ID11 og ID12 hhv. glat og ru armering.

Med baggrund i ovenstående vurderes det, at en "ru overflade" med rimelighed kan antages at have en positiv indflydelse på kapaciteterne.

Det er derfor rimeligt at foretage tests med glat armering.

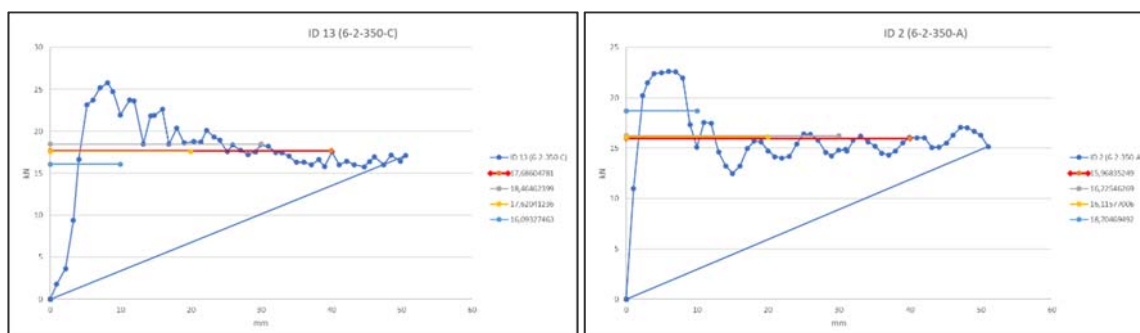
Der ses i det efterfølgende bort fra tests med ru armering i forbindelse med udledning af kapaciteter for bøjler.

13.7 Duktilitet og fastsættelse af brudkapacitet

For samtlige arbejdskurver gælder, at de udviser stor sejhed. Samtlige forsøg er stoppet ved en deformation på ca. 50 mm. Der er dog en forskel i hvordan arbejdskurvernes form er.

Generelt deformeres op til en peak værdi. Herefter er der et forløb med svingende bæreevne og flere "lokale" toppe. I mange tilfælde er de efterfølgende svingninger nærmest sinusformet med aftagende amplitude og med aftagende gennemsnitsværdi.

Nedenfor er illustreret eksempler på to arbejdskurver for samme indstøbningslængde på 350 mm.



Figur 13-12 Illustration af arbejdskurver for ID2 og ID13. Det bemærkes at denne arbejdskurve er for hele bøjlen, dvs. værdien for det enkelt "ben" i bøjlen skal findes ved at dele med 2

Fastlæggelsen af kapaciteten sker ud fra en fastsat maksimal deformation på 30 mm.

I illustrationen ovenfor er vist hvorledes, der ved valg af en anden maksimal deformation, ville være fundet en anden kapacitet. Som det fremgår, ville kapaciteten ud fra en maksimal deformation på 10 mm have givet anledning til højere værdier i nogle forsøg og lavere værdier i andre forsøg.

Ved beregninger på konstruktioner hvor der anvendes plastiske omfordelinger, skal det sikres at der er den fornødne duktilitet og deformationskapacitet i de elementer der indgår. Valget af en deformationskapacitet på 30 mm er foretaget ud fra en overordnet vurdering af tilstrækkelig deformationskapacitet for gængse konstruktioner. Det skal vurderes i den konkrete projektering om dette er tilstrækkeligt, og forudsætningen er derfor skrevet ind som en begrænsning i afsnit 6.

Brudværdien fundet som en middelværdi ud fra en energibetragtning over 30 mm betegnes herefter $f_{u,30}$.

13.8 Fastlæggelse af brudkapacitet for de enkelte forsøg

Fastlæggelse af brudkapaciteten for de enkelte forsøg er der redegjort for i bilag 1.

Generelt er denne fastlagt ud fra en energibetragtning, hvor der er midlet over 30 mm, som er den valgte deformationskapacitet.

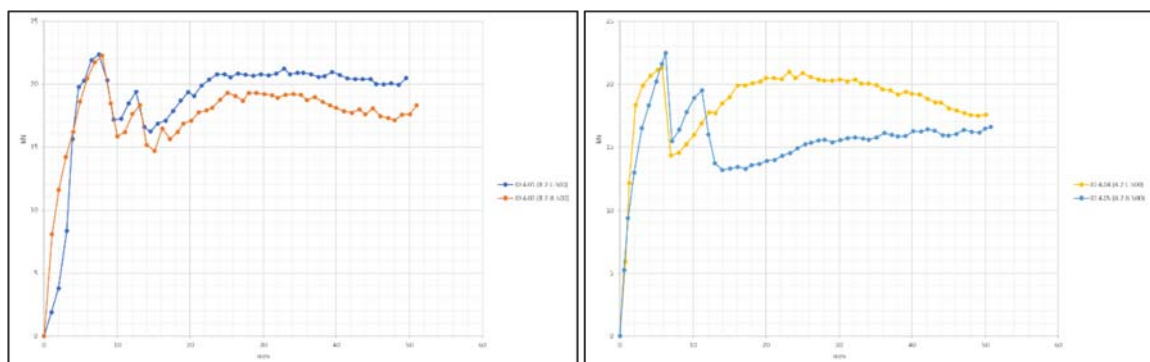
13.9 Indflydelse af bøjning og tilbagebøjning

I Forsøgsserie 4 blev der lavet forsøg med lige indstøbte bøjler og med lige indstøbte bøjler der var bukket 90 grader langs formsiden og som efterfølgende blev udrettet inden forsøg (herefter benævnt "Bøjet").

Formålet med at lave forsøg med de "Bøjet" var at simulere de forhold og produktionsteknikker der anvendes normalt ved elementproduktion (simpel udretning med hammer).

Nærmere beskrivelse ses i forsøgsrapporten hvor rækkefølgen på forsøg også fremgår. Forsøgene er udført umiddelbart efter hinanden således, at forsøg 1 er lige indstøbte bøjler, forsøg 2 er "bøjet" indstøbte bøjler og forsøg 3 er cyklisk belastede bøjler. Herved er tidsforskellen mellem forsøg minimeret og det vurderes, at der ved sammenligning kan ses bort fra styrkeforøgelsen.

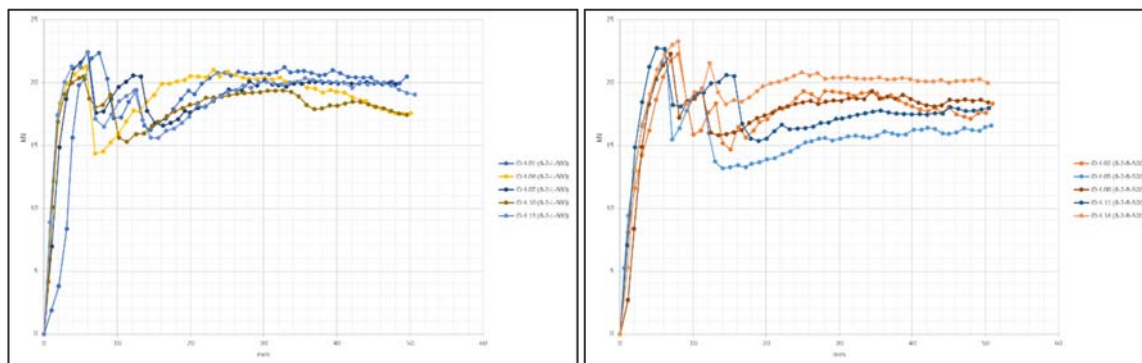
I nedenstående figur ses en sammenligning mellem de to første sæt af lige og "bøjet" stænger (test 1(lige) vs test 2(bøjet) og test 4(lige) vs test 5(bøjet)).



Figur 13-13 Illustration af arbejdskurver for ID4.01, 4.02, 4.04 og 4.05 (ID4.04. (8-2-L-500) betyder at det er serie 4, test nr 04, 8 mm rundjern, 2snit=bøjle, Lige og 500 mm indstøbning). Arbejdskurver viser kraften i hvert bøjleben. Samtlige arbejdskurver kan genfindes i større udgave i bilag.

13.10 Øvrige sammenligninger ses i Bilag 5 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 1 og 2

Nedenfor er vist graf med samtlige forsøg med "lige" sammenholdt med graf med samtlige forsøg med "bøjet".



Figur 13-14 Illustration af arbejdscurver for hhv lige og bøjet stænger (Lige tv. ID 4.01, 4.04, 4.07, 4.10, 4.13 og bøjet th. ID 4.02, 4.05, 4.08, 4.11, 4.14). Arbejdscurver viser kraften i hvert bøjleben. Samtlige arbejdscurver kan genfindes i større udgave i bilag.

Som det er illustreret ovenfor, er der ikke umiddelbart forskel på forløbet af arbejdskurverne.

Nedenfor er forholdet mellem brudværdien for en given deformation for "bøjet" stænger udregnet i forholdt til tilsvarende brudværdi for en lige stang. Eksempelvis er brudværdien ved 10 mm, $f_{u,10}$, for test 1, der er en lige stang, sammenlignet med brudværdien for test 2 der er en bøjet og det er fundet af forholdet er 108 %. Det vil sige, at test 2 (bøjet) i dette tilfælde giver en højere værdi.

		$f_{u,10}$	$f_{u,17}$	$f_{u,20}$	$f_{u,30}$	$f_{u,40}$
Bøjet/Lige	2/1	108%	101%	98%	95%	97%
	5/4	98%	94%	88%	83%	80%
	8/7	104%	109%	101%	100%	100%
	11/10	98%	103%	103%	105%	104%
	14/13	98%	103%	103%	105%	104%
	Middel	103%	101%	96%	92%	92%

Som det fremgår ovenfor giver dette forhold, der svinger mellem 80-109%. For $f_{u,30}$ er middelværdien af forholdene 92%, 2 sammenligninger giver forhold mere end 100%, 1 giver 100% og 2 under 100%.

Det vurderes ud fra ovenstående, at der ikke er nogen bemærkelsesværdig forskel mellem resultaterne fra forsøg med lige og "bøjet" stænger og der med rimelighed kan ses bort fra indflydelsen af dette.

13.11 Indflydelse af cyklisk belastning

I Forsøgsserie 4 blev der lavet forsøg med lige indstøbte bøjler og med lige indstøbte bøjler der blev testet cyklisk inden de blev testet til brud (efterfølgende betegnet som cyklisk).

Formålet med at lave forsøg med "cyklisk" var at simulere de forhold en konstruktion tilnærmelsesvis udsættes for i en levetid, med fokus på, at vurdere om påvirkninger svækker forankringsbæreevnen.

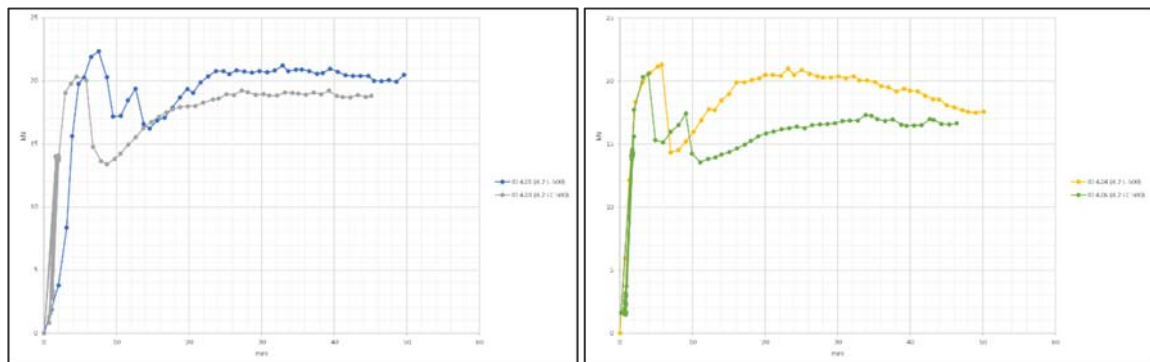
Det er forudsat, at påvirkninger gennem bygningens levetid tilnærmelsesvis kan ækvivaleres med 20 cykler af 85% af brudværdien fastlagt som $f_{u,30}$.

Forudsat at der er tale om belastninger hidrørende fra vind vil karakteristisk påvirkning af en konstruktion vil være betydeligt lavere end 85%, men antallet af påvirkninger også betydeligt højere.

Det bemærkes, at der således er tale om en simulering af de gentagende/cykliske belastninger der hidrører fra vind, men ikke fra andre cykliske belastninger.

Nærmere beskrivelse ses i forsøgsrapporten hvor rækkefølgen på forsøg også fremgår. Forsøgene er udført umiddelbart efter hinanden således at forsøg 1 er lige indstøbt bøjle, forsøg 2 er "bøjet" bøjler og forsøg 3 er cyklisk belastet. Herved er tidsforskellen mellem forsøg minimeret og det vurderes at der ved sammenligning kan ses bort fra styrkeforøgelsen.

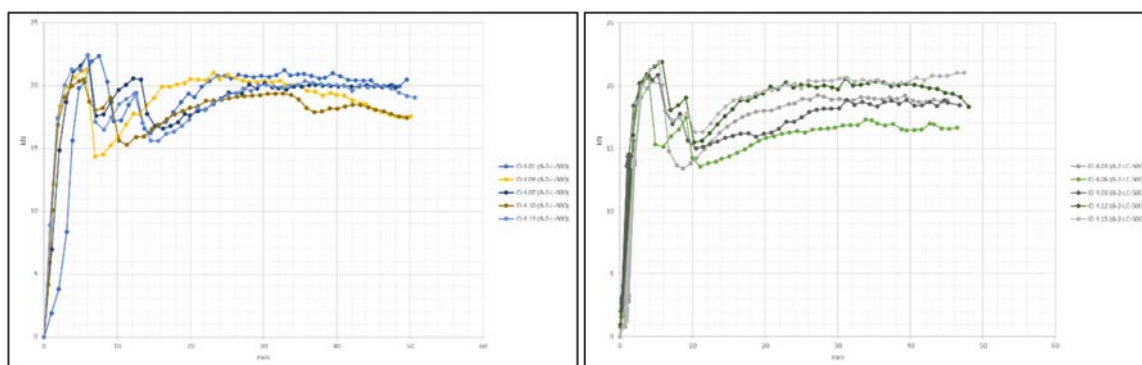
I nedenstående figur ses en sammenligning mellem de to første sæt af lige og bøjet stænger (test 1(lige) vs test 3(cyklisk) og test 4(lige) vs test 6(cyklisk)).



Figur 13-15 Illustration af arbejdskurver for ID4.01, 4.03, 4.04 og 4.06 (ID4.04. (8-2-L-500) betyder at det er serie 4, test nr 04, 8 mm rundjern, 2snit=bøjle, Lige og 500 mm indstøbning). Arbejdskurver viser kraften i hvert bøjleben.

13.12 Øvrige sammenligninger ses i Bilag 5 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 1 og 2

Nedenfor er vist graf med samtlige forsøg med "lige" sammenholdt med graf med samtlige forsøg med "cyklisk".



Figur 13-16 Illustration af arbejdskurver for hhv. lige og cyklisk påvirket stænger. (Lige tv. ID 4.01, 4.04, 4.07, 4.10, 4.13 og bøjet th. ID 4.03, 4.06, 4.09, 4.12, 4.15). Arbejdskurver viser kraften i hvert bøjleben. Samtlige arbejdskurver kan genfindes i større udgave i bilag.

Som det er illustreret ovenfor, er der ikke umiddelbart forskel på forløbet af arbejdskurverne bortset fra de cykliske op-/nedlastninger. Det efterfølgende forløb synes at være tilnærmelsesvis ens. For såvidt angår peak værdien er den ved samtlige sammenligninger af forsøg lidt lavere – ca. 94% og dette kunne indikere, at der er en lille svækkelse af peak værdien.

Nedenfor er forholdet mellem brudværdien for en given deformation for "bøjede" stænger udregnet i forhold til tilsvarende brudværdi for en lige stang. Eksempelvis er brudværdien ved 10 mm $f_{u,10}$ for test 1, der er en lige stang, sammenlignet med brudværdien for test 2, der er en "bøjet" stang og det er fundet af forholdet er 108%. Det vil sige, at test 2 ("bøjet") i dette tilfælde giver en højere værdi.

		$f_{u,10}$	$f_{u,17}$	$f_{u,20}$	$f_{u,30}$	$f_{u,40}$
Cyklisk/Lige	3/1	107%	99%	98%	93%	94%
	6/4	105%	89%	86%	86%	83%
	9/7	104%	94%	92%	92%	94%
	12/10	98%	97%	100%	101%	102%
	15/13	98%	97%	100%	101%	102%
	Middel	105%	94%	92%	90%	90%

Som det fremgår ovenfor, giver dette f_u forhold, der svinger mellem 83-107%. For $f_{u,30}$ er middelværdien af forholdene 90%. To sammenligninger giver forhold mere end 100% og tre under 100%.

Som nævnt ovenfor kunne forsøgene indikere, at der er en svag sænkning af peak værdien. Spredningen på forsøgene samt det forhold, at $f_{u,10}$ generelt er højere for cyklisk belastet forsøg, leder dog til den vurdering, at det ikke er signifikant afvigelse og kan tilskrives spredning. Det vurderes ud fra ovenstående, at der ikke er nogen bemærkelsesværdig forskel mellem resultaterne fra forsøg med lige og bøjet stang og der med rimelighed kan ses bort fra indflydelsen af dette.

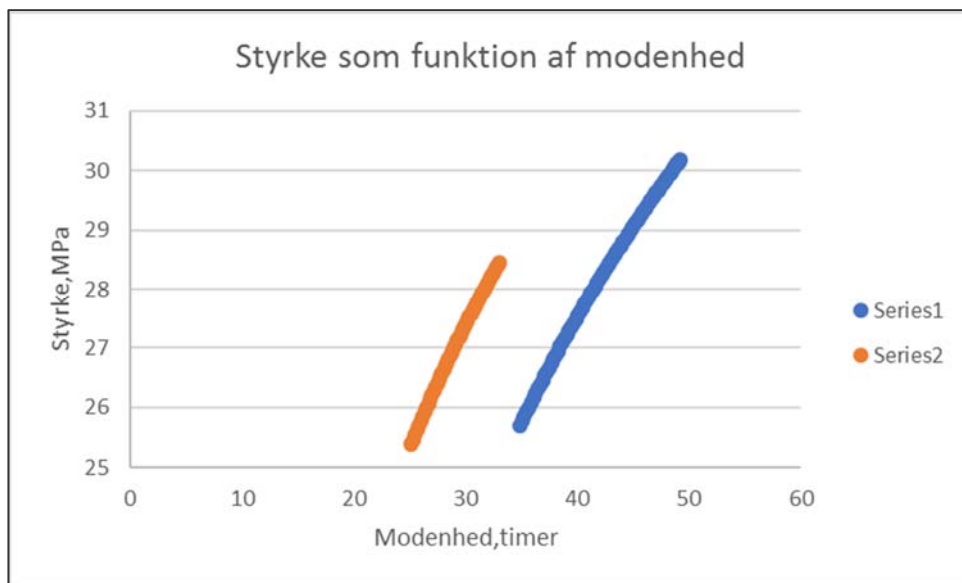
13.13 Fastlæggelse af betonstyrker for de enkelte tests

For de enkelte tests er der angivet modenheden på testtidspunktet for forsøget. Dette er målt som beskrevet i testrapporterne.

I forbindelse med tests er der støbt prøvecylindre med modenhedsmålere, disse cylindre er lageret sammen med testemnerne. Det har dog vist sig, at modenhedskurven for prøvecylindre og testemner ikke er ens til trods for de tilstræbte ens lagringsforhold.

Testcylindrene er anvendt til at fastlægge en kurve for styrkens afhængighed af modenheden. Dette er beskrevet i testrapporten.

I testrapporter er der opgivet grafer (og Excelark) for styrkens afhængighed af modenheden. For forsøgsserierne er der efterfølgende udledt polynomier, der beskriver styrken som funktion af modenheden.



Figur 13-17 Illustration af styrke som funktion af modenhed for hhv. Forsøgsserie 1 (Blå) og Forsøgsserie 2 (Rød).

Modenhed og styrker for de enkelte tests er opgivet i bilag.

13.14 Sammenfatning af testresultater der anvendes til kapacitetsfastlæggelse
Nedenfor er listet de testværdier, der er anvendt for hhv. bøjler og enkeltstænger i den videre udledning af bæreevneudtryk.

	Test ID	f_c	Indstøbningslængde	$f_{u,30}$
			mm	kN
Serie 1	ID 1 (6-2-250-A)	25,9	250	6,54
	ID 6 (6-2-250-B)	28,2	250	9,31
	ID 11 (6-2-250-C)	28,9	250	8,33
	ID 2 (6-2-350-A)	26,6	350	8,11
	ID 7 (6-2-350-B)	28,3	350	8,96
	ID 13 (6-2-350-C)	30,3	350	9,23
	ID 4 (6-2-400-A)	27,2	400	9,14
	ID 19 (6-2-400-B)	28,6	400	10,15
	ID 14 (6-2-400-C)	29,2	400	10,36
Serie 2	ID 1 (6-2-250)	26,9	250	8,09
	ID 2 (6-2-400)	27,0	400	10,52
	ID 3 (6-2-250)	27,2	250	8,18
	ID 4 (6-2-400)	27,3	400	9,46
	ID 5 (6-2-250)	27,4	250	7,33
	ID 6 (6-2-400)	27,5	400	9,17
	ID 7 (6-2-250)	27,6	250	8,11
	ID 9 (6-2-250)	27,8	250	9,04
	ID 10 (6-2-400)	28,0	400	10,08
	ID 11 (6-2-250)	28,1	250	7,39
	ID 12 (6-2-400)	28,1	400	9,29
	ID 13 (6-2-250)	28,2	250	8,89
	ID 14 (6-2-400)	28,2	400	10,01
	ID 15 (6-2-250)	28,3	250	7,12
	ID 16 (6-1-400)	28,4	400	8,46

Figur 13-18 Tabel der angiver forsøgsdata, der anvendes ved modelfastlæggelse og fastlæggelse af karakteristiske værdier for bøjler med Ø6 mm.

Test ID	f_c	Indstøbningslængde	$f_{u,30}$
		mm	kN
6-1-250-A	29,6	250	8,677813
6-1-250-B	29,8	250	8,917271
6-1-250-C	30,0	250	9,221996
6-1-350-A	29,6	350	9,767224
6-1-350-B	29,9	350	9,763965
6-1-350-C	30,1	350	9,546381
6-1-400-A	29,8	400	9,144038
6-1-400-B	30,0	400	9,797822
6-1-400-C	30,2	400	9,871539

Figur 13-19 Tabel der angiver forsøgsdata, der anvendes ved modelfastlæggelse og fastlæggelse af karakteristiske værdier for enkeltjern Ø6 mm.

	Test ID	f_c	Indstøbningslængde	$f_{u,30}$
			mm	kN
Serie 3	ID 2 (8-2-400)	28,2	400	13,88
	ID 3 (8-2-500)	28,3	500	14,32
	ID 4 (8-2-300)	28,4	300	14,22
	ID 5 (8-2-400)	27,0	400	13,59
	ID 6 (8-2-500)	27,1	500	14,46
	ID 7 (8-2-300)	27,2	300	14,72
	ID 8 (8-2-400)	27,4	400	12,22
	ID 9 (8-2-500)	27,4	500	15,68
	ID 10 (8-2-300)	27,6	300	14,43
	ID 11 (8-2-400)	27,7	400	14,05
	ID 12 (8-2-500)	27,8	500	14,61
	ID 13 (8-2-300)	27,8	300	13,13
	ID 14 (8-2-400)	27,9	400	12,98
	ID 15 (8-2-500)	28,0	500	15,73
	ID 16 (8-2-400)	28,1	400	13,38
	Serie 2	ID 4.01 (8-2-L-500)	23,8	500
ID 4.04 (8-2-L-500)		25,4	500	17,79
ID 4.07 (8-2-L-500)		26,5	500	17,44
ID 4.10 (8-2-L-500)		27,5	500	17,15
ID 4.13 (8-2-L-500)		28,1	500	17,40

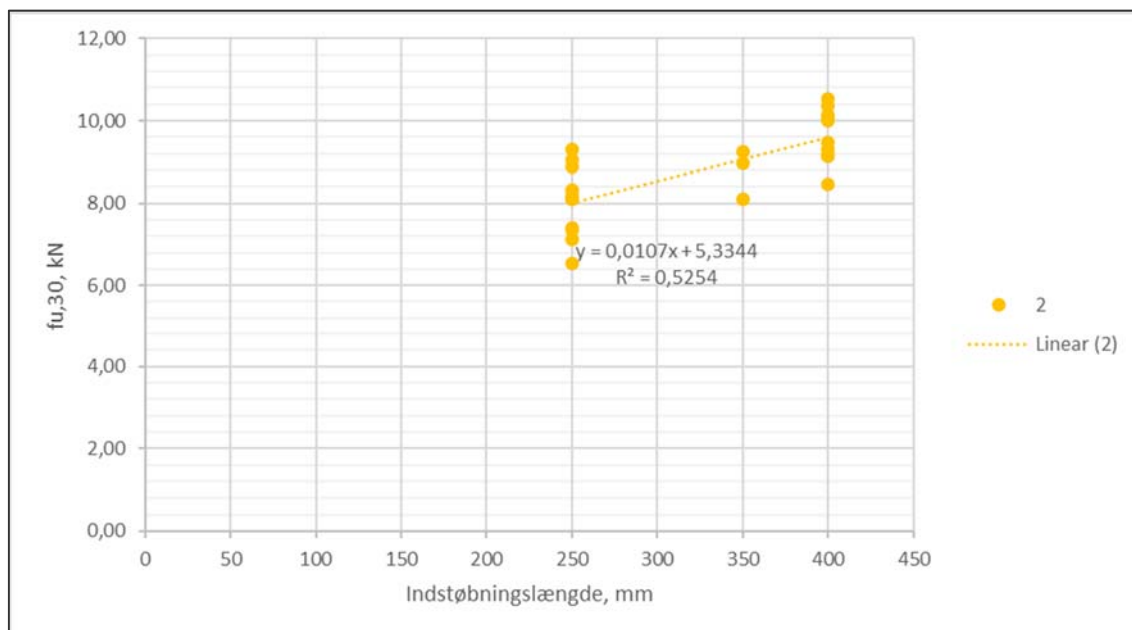
Figur 13-20 Tabel der angiver forsøgsdata, der anvendes ved modelfastlæggelse og fastlæggelse af karakteristiske værdier for bøjler Ø8mm.

13.15 Fastlæggelse af bæreevnomodeller

For at kunne fastlægge en karakteristisk styrke, er det indledningsvist nødvendigt at fastlægge et beregningsudtryk, der anses for gældende for de testede emner. Dette er gjort for hhv. bøjler og enkeltstænger i det efterfølgende.

13.15.1 Bæreevnomodel for bøjler Ø6 mm

Den umiddelbare sammenhæng mellem indstøbningslængder og kapaciteter $f_{u,30}$ fremgår af grafen nedenfor.



Figur 13-21 Illustration af $f_{u,30}$ resultater som funktion af indstøbningslængden.

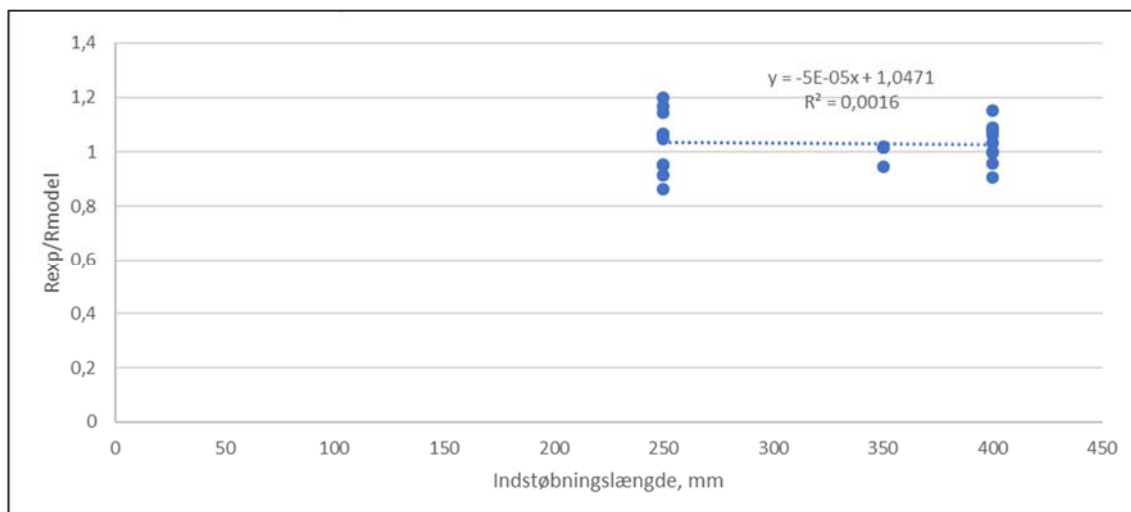
Af ovenstående er der ikke taget hensyn til betydningen af betontrykkstyrkens variation.

Det antages, at der kan korrigeres for betonens trykstyrke ved de forskellige forsøg ved at korrigerer med faktoren $1,0 \cdot f_c / 25$ MPa. Herved er betontrykkstyrken 25 MPa referencestyrken. Den teoretiske kapacitet (R_{model}) fastlægges som:

$$f_{u,30,teori} = 0,009 \cdot L_{ind} \cdot 1,0 \cdot f_c / 25 \text{ MPa} + 5,24 \text{ kN} \quad \text{Hvor } L_{ind} \text{ er indstøbningslængden i mm.}$$

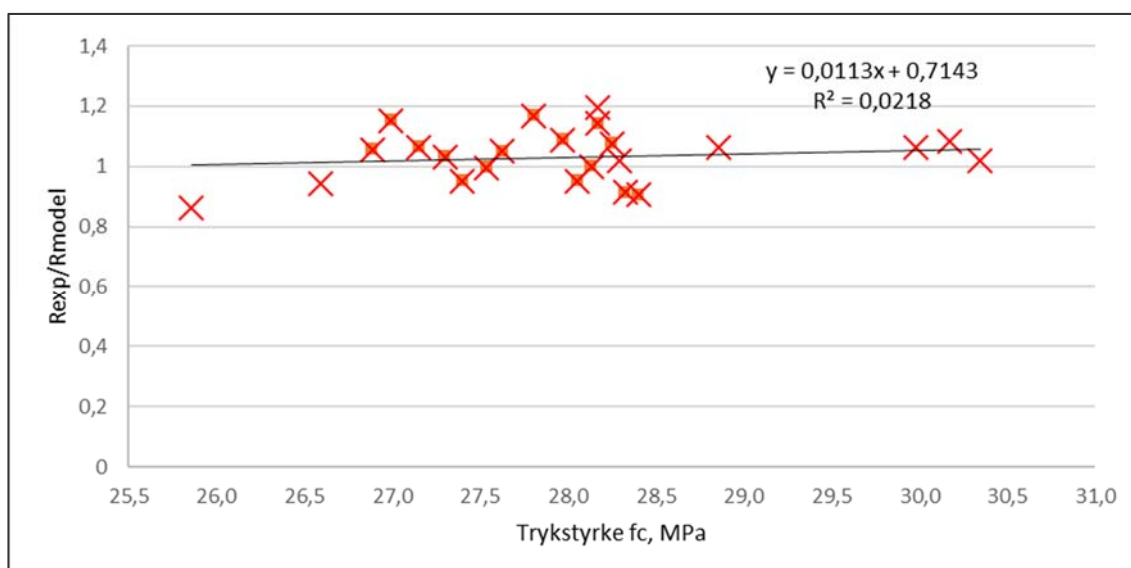
Som det fremgår, er hældningen (0,009) i ovenstående model ikke den samme som den hældning, der umiddelbart findes ved sammenligning med indstøbningslængden (se figur ovenfor). Betragter man sammenhængen mellem forholdet R_{exp}/R_{model} (kapacitet fundet ud fra forsøg over kapacitet fundet fra model og indstøbningslængden, ses at modellen stemmer overens med forsøg, jf. nedenstående Figur 13-22.)

Det ses af tendenslinjen, der er vandret, at modellens værdier i forhold til forsøgsresultaterne (R_{exp}/R_{model}) er konstant i forhold til indstøbningslængden og dermed passer for små, som store indstøbningslængder. Dette er vigtigt ved anvendelse af modellen med indstøbningslængder ud over det område, der foreligger tests for.



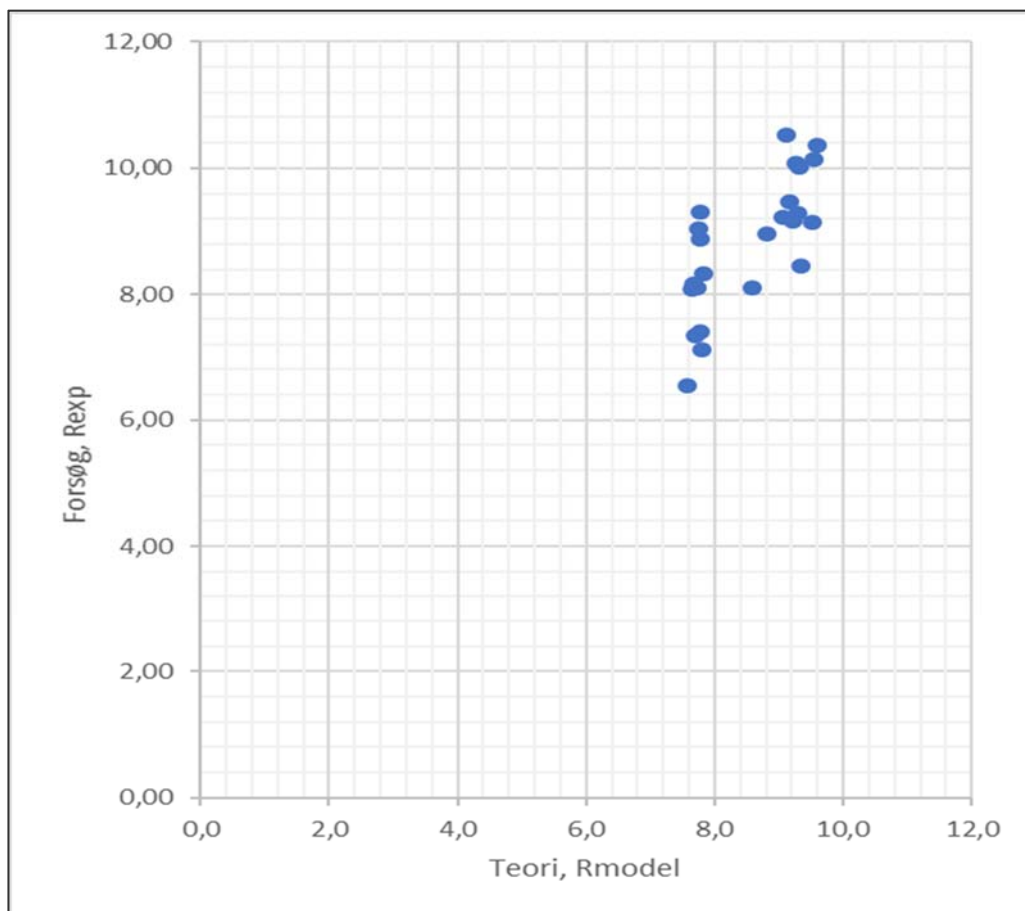
Figur 13-22 Illustration af forholdet R_{exp}/R_{model} som funktion af indstøbningslængden.

Betragter man sammenhængen mellem forholdet R_{exp}/R_{model} og betontrykkstyrken ses det, at der næsten ingen sammenhæng er, dvs. at modellen stemmer overens med forsøget. Det ses, at modellen også stemmer rimeligt godt overens for de tilfælde, hvor styrkerne er store og hvor korrektionsfaktoren dermed er store. Dette betyder, at korrektionerne er fornuftige. Det ses, at tendenslinjen stort set rammer 1 for de 25 MPa, som betyder at modellen rammer rimeligt ved de 25MPa.



Figur 13-23 Illustration af forholdet R_{exp}/R_{model} som funktion af betontrykkstyrken. Rene X er Forsøgsserie 1 mens X og lille firkant er Forsøgsserie 2.

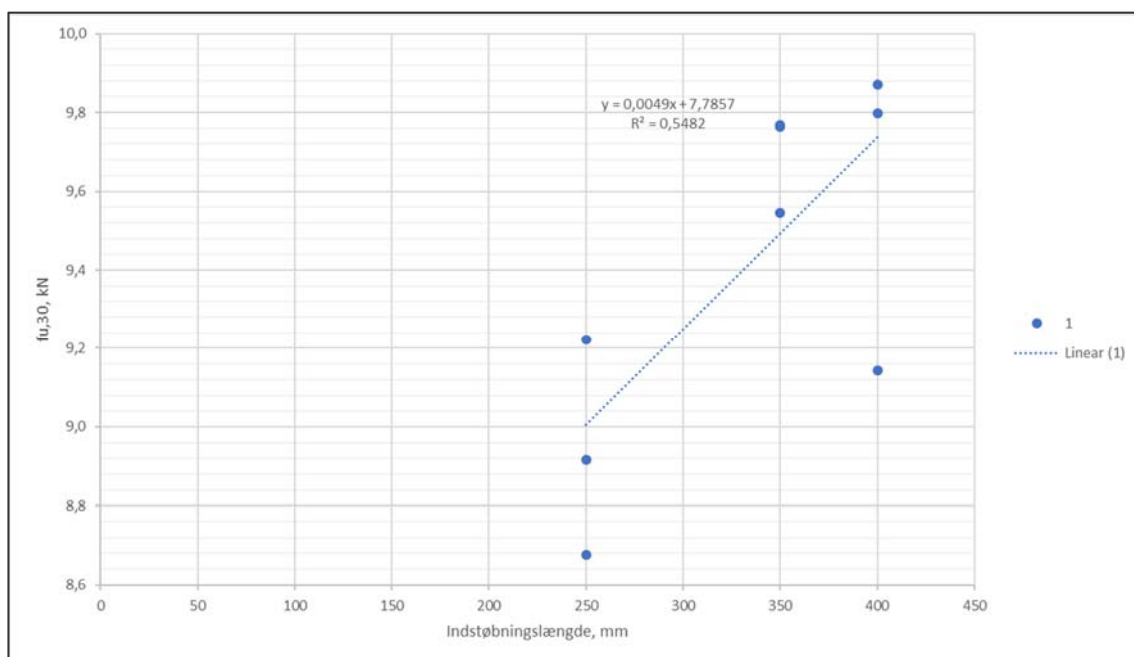
Sammenhængen mellem model og forsøgsresultater er angivet nedenfor.



Figur 13-24 Illustration af sammenhæng mellem R_{model} og R_{exp} .

13.15.2 Bæreevne model for enkeltstænger Ø6 mm

Den umiddelbare sammenhæng mellem indstøbningslængder og kapaciteter $f_{u,30}$ fremgår af grafen nedenfor.



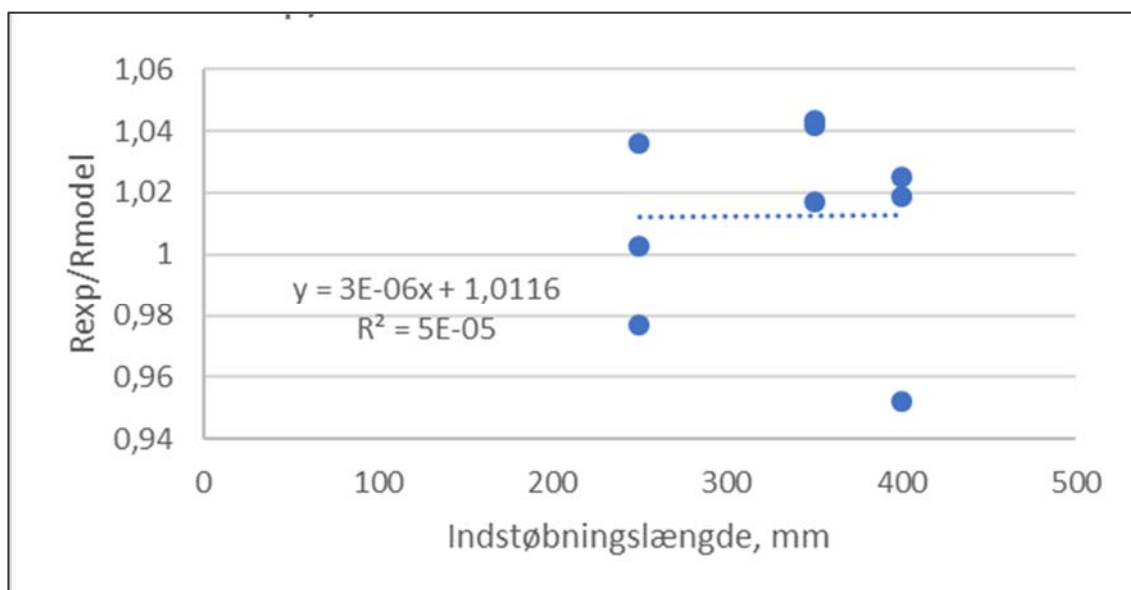
Figur 13-25 Illustration af $f_{u,30}$ resultater som funktion af indstøbningslængden.

Betydningen af betontrykkstyrkens variation fremgår ikke af ovenstående.

Som ved forsøget med bøjler, korrigeres her for betonens trykstyrke ved de forskellige forsøg ved at korrigerer med faktoren $1,0 \cdot f_c / 25 \text{MPa}$. Herved er betontrykkstyrken 25MPa referencestykken. Den teoretiske kapacitet (R_{model}) fastlægges som:

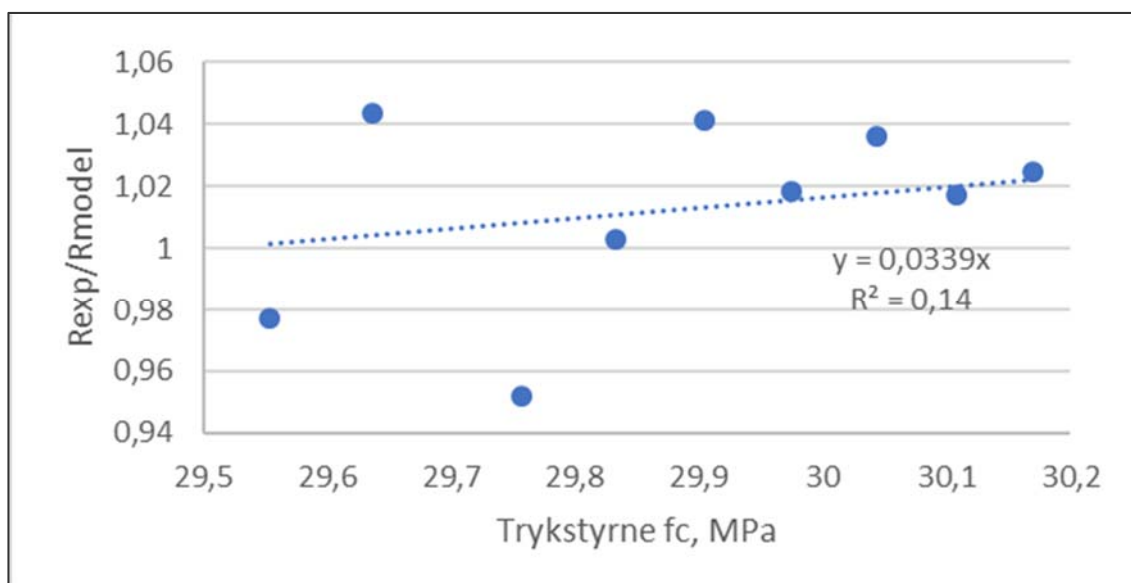
$$f_{u,30,\text{teori}} = 0,004 \cdot L_{\text{ind}} \cdot 1,0 \cdot f_c / 25 \text{MPa} + 7,7 \text{kN} \quad \text{Hvor } L_{\text{ind}} \text{ er indstøbningslængden i mm}$$

Som det fremgår er hældningen (0,004) i ovenstående model ikke den samme som den hældning, der umiddelbart findes ved sammenligning med indstøbningslængden (se figur ovenfor). Betragter man sammenhængen mellem forholdet $R_{\text{exp}}/R_{\text{model}}$ og indstøbningslængden ses det, at der næsten ingen sammenhæng er, dvs. at modellen stemmer overens med forsøg. Det ses af tendenslinjen, der er vandret, at modellens meget lille afvigelse er konstant i forhold til indstøbningslængden og dermed passer den lige godt for små som store indstøbningslængder. Dette er vigtigt ved anvendelse af modellen med indstøbningslængder udover det område, der foreligger test for.



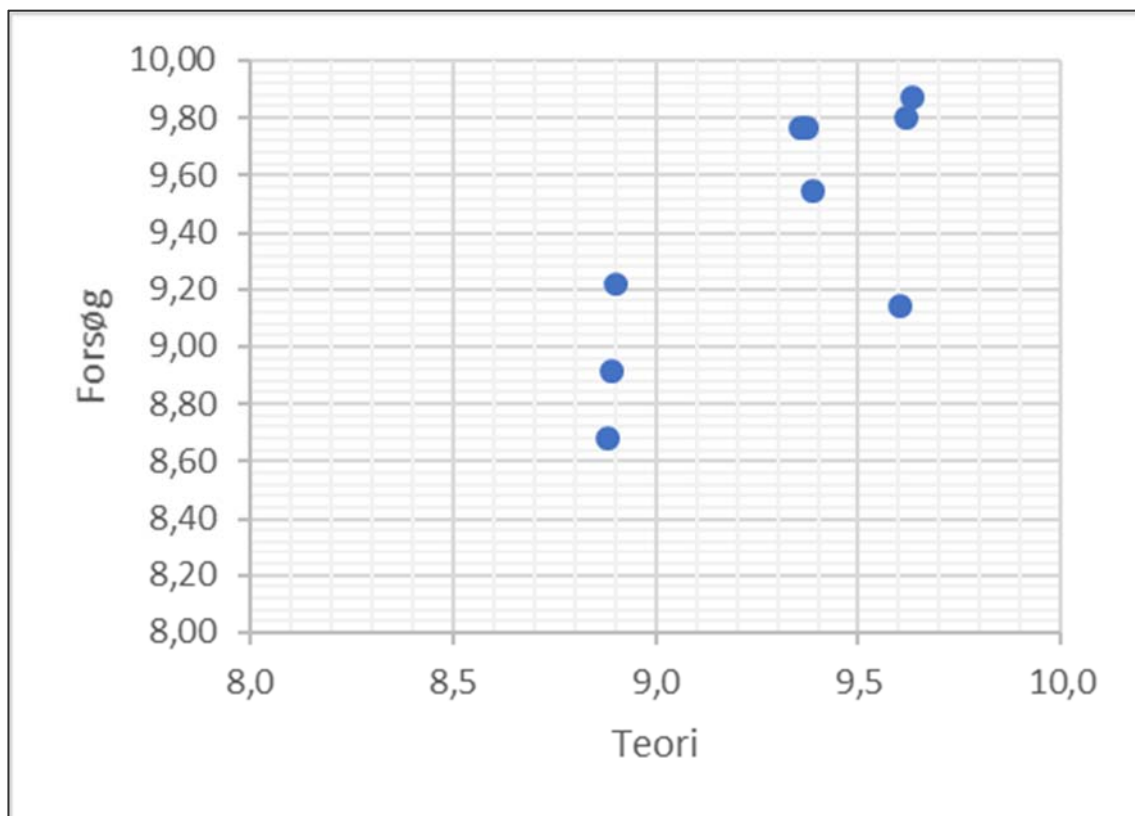
Figur 13-26 Illustration af forholdet R_{exp}/R_{model} som funktion af indstøbningslængden.

Betragter man sammenhængen mellem forholdet R_{exp}/R_{model} del og betontrykstyrken ses det, at der er en lille sammenhæng, dvs. at modellen ikke helt stemmer overens med forsøg. Set i forhold til sammenhængen, der er konstateret for bøjler, hvor korrektionsfaktoren for styrken er den samme, vurderes det at give fysisk mening at fastholde samme korrektionsfaktor. Derudover bemærkes det, at afvigelserne er relativt små, hvorfor det vurderes rimeligt at fastholde modellen.



Figur 13-27 Illustration af forholdet R_{exp}/R_{model} (kapacitet fundet ud fra model over kapacitet fundet ved forsøg) som funktion af betontrykstyrken.

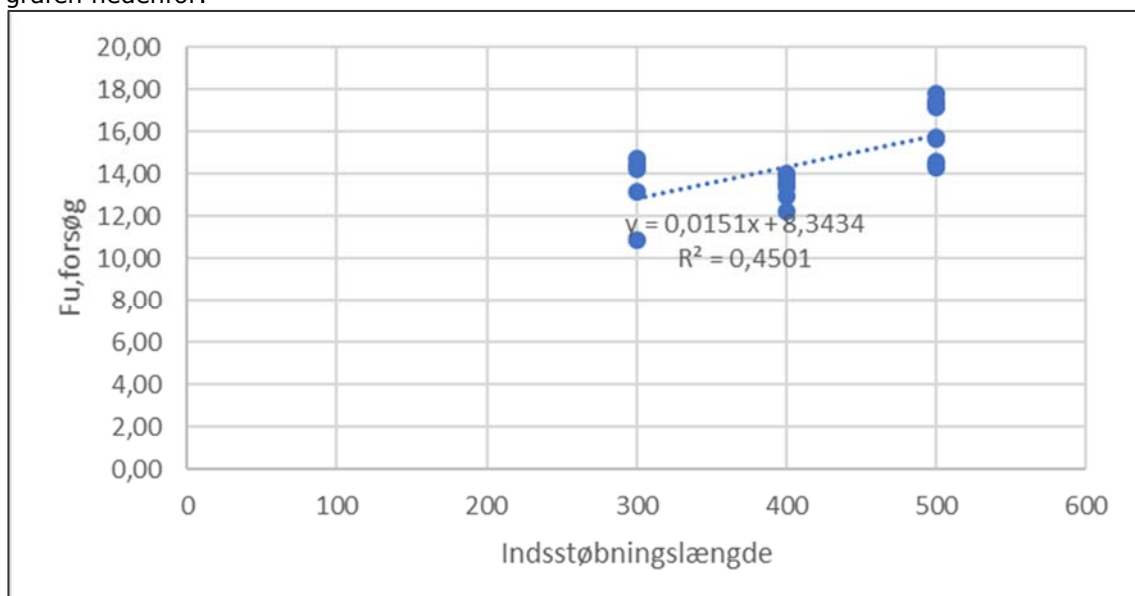
Sammenhængen mellem model og forsøgsresultater er angivet nedenfor.



Figur 13-28 Illustration af sammenhæng mellem R_{model} og R_{exp} .

13.15.3 Bæreevne model for bøjler Ø8 mm

Den umiddelbare sammenhæng mellem indstøbningslængder og kapaciteter $f_{u,30}$ fremgår af grafen nedenfor.



Figur 13-29 Illustration af $f_{u,30}$ resultater som funktion af indstøbningslængden.

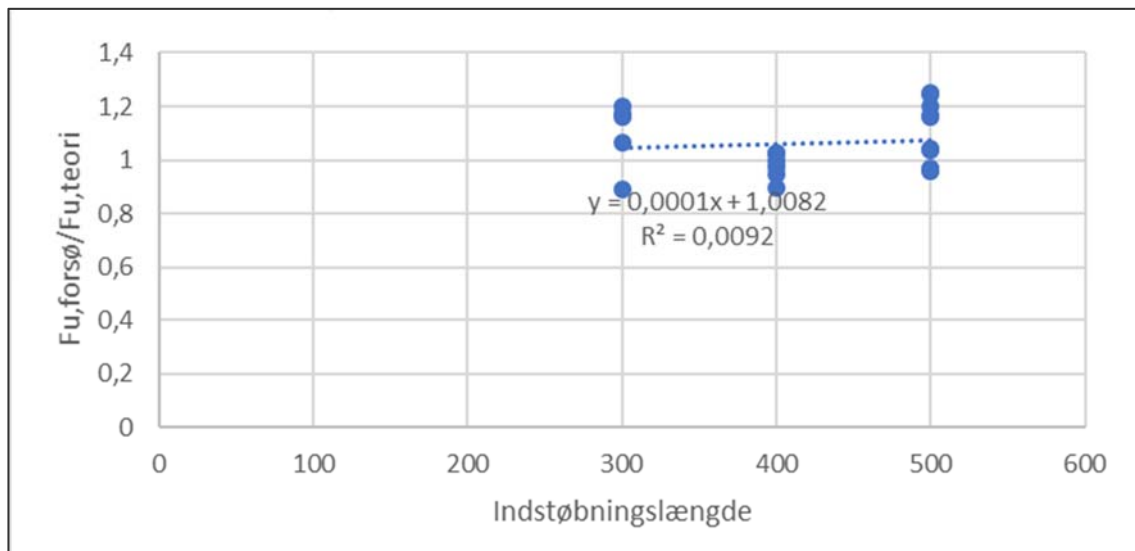
Betydningen af betontrykkstyrkens variation fremgår ikke af ovenstående.

Som ved forsøget med bøjler korrigeres for betonens trykstyrke ved de forskellige forsøg ved at korrigere med faktoren $1,0 \cdot f_c / 25 \text{MPa}$. Herved er betontrykstyrken 25 MPa referencestykken. Den teoretiske kapacitet (R_{model}) fastlægges som:

$$f_{u,30,\text{teori}} = 0,012 \cdot L_{\text{ind}} \cdot 1,0 \cdot f_c / 25 \text{MPa} + 8,15 \text{kN} \quad \text{Hvor } L_{\text{ind}} \text{ er indstøbningslængden i mm.}$$

Som det fremgår, er hældningen i ovenstående model ikke den samme som den hældning, der umiddelbart findes ved sammenligning med indstøbningslængden (se figur ovenfor). Betragter man sammenhængen mellem forholdet $R_{\text{exp}}/R_{\text{model}}$ og indstøbningslængden, ses det, at der næsten ingen sammenhæng er, dvs. at modellen stemmer overens med forsøg.

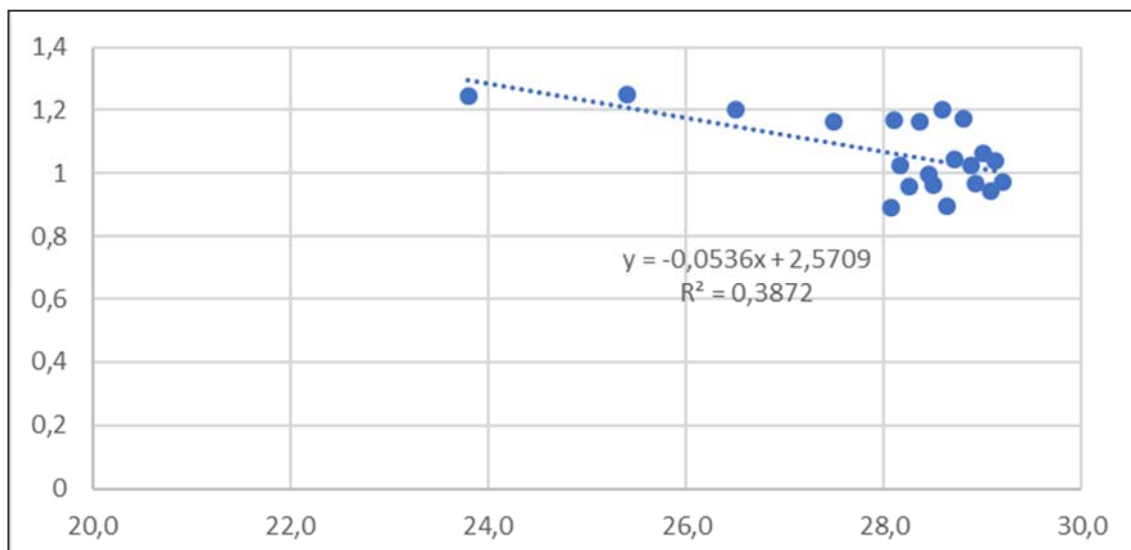
Det ses af tendenslinjen, der er vandret, at modellens meget lille afvigelse er konstant i forhold til indstøbningslængden og dermed passer den lige godt for små som store indstøbningslængder. Dette er vigtigt ved anvendelse af modellen med indstøbningslængder ud og det område der foreligger test for.



Figur 13-30 Illustration af forholdet $R_{\text{exp}}/R_{\text{model}}$ som funktion af indstøbningslængden.

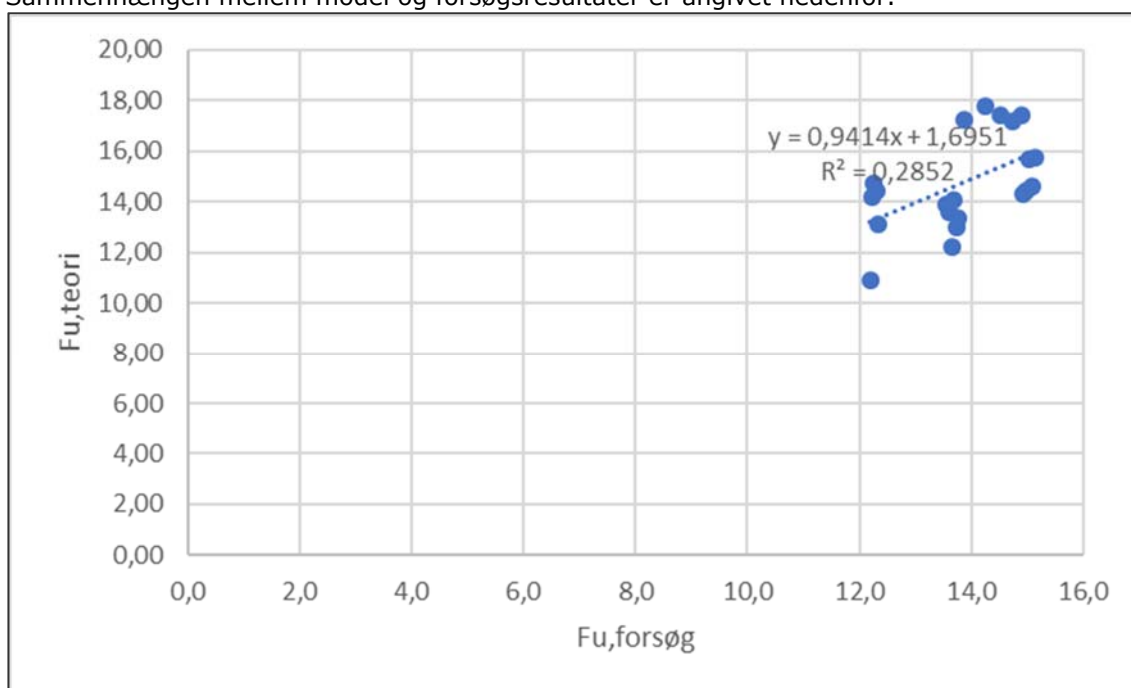
Betragter man sammenhængen mellem forholdet $R_{\text{exp}}/R_{\text{model}}$ del og betontrykstyrken, ses det, at der er en lille sammenhæng, dvs. at modellen ikke helt stemmer overens med forsøg.

Set i forhold til sammenhængen, der er konstateret for bøjler, hvor korrektionsfaktoren for styrken er den samme, vurderes det at give fysisk mening at fastholde samme korrektionsfaktor. Derudover bemærkes det, at afvigelse er relativt små, hvorfor det vurderes rimeligt at fastholde modellen.



Figur 13-31 Illustration af forholdet R_{exp}/R_{model} (kapacitet fundet ud fra model over kapacitet fundet ved forsøg) som funktion af betontrykkstyrken.

Sammenhængen mellem model og forsøgsresultater er angivet nedenfor.



Figur 13-32 Illustration af sammenhæng mellem R_{model} og R_{exp} .

14. FASTLÆGGELSE AF REGNINGSMÆSSIGE BÆREEVNER

Fastlæggelse af modelusikkerhed er foretaget ud fra DS/EN 1990:2007 Anneks D og partialkoefficienter er herefter bestemt med udgangspunkt i DS INF 172 og anneks F i DK NA EN1990.

En nærmere redegørelse for dette fremgår af Bilag 8 Statisk analyse og bæreevnomodeller for rundjern.

14.1 Beregningsudtryk for bøjler Ø6

Følgende hovedpunkter fremgår af bilag for bøjler Ø6 med $f_{u,30}$:

Bias $b = 1.04$ [formel (D.7) i EN1990]

Variationskoefficient for modelusikkerhed $V_{\delta} = 0.082$ [formel (D.13) i EN1990]

Variationskoefficient for beton trykstyrke fastsættes til 0.16 (se DS INF 172 – baggrundsdokument for Nationale Annekser, [2]).

Karakteristisk værdi for beton trykstyrke vælges til 35 MPa.

Delpartialkoefficient $\gamma_m = 1.26$ (Anneks F i DK NA EN1990, med $V_m = 0.16$)

Delpartialkoefficient $\gamma_2 = 1.08$ (Anneks F i DK NA EN1990, med $V_{\delta} = 0.082$)

og dermed

Materiale partialkoefficient $\gamma_M = 1.36$ (Anneks F i DK NA EN1990) – sejt brud).

Som det fremgår af Bilag 8 Statisk analyse og bæreevnomodeller for rundjern. medfører dette følgende udtryk for en regningsmæssige bæreevne.

Karakteristisk forankringskapacitet:

$$F_{u,30,k} = 0,013 L_{ind} + 4,9 \text{ kN (i kN)}$$

Hvor L_{ind} er indstøbningslængden i mm.

Regningsmæssig forankringskapacitet:

$$F_{u,30,d} = F_{u,30,k} / 1,36$$

Hvis forankring sker i forankringsmæssige "dårlige" forhold iht. DS/EN 1992-1-1 skal der reduceres med faktor 0,7.

14.2 Beregningsudtryk for enkeljern Ø6

Følgende hovedpunkter fremgår af bilag for bøjler:

Bias $b = 1.01$ [formel (D.7) i EN1990]

Variationskoefficient for modelusikkerhed $V_{\delta} = 0.029$ [formel (D.13) i EN1990]

Variationskoefficient for beton trykstyrke fastsættes til 0.16 (se DS INF 172 – baggrundsdokument for Nationale Annekser, [2])

Karakteristisk værdi for beton trykstyrke vælges til 35 MPa.

Delpartialkoefficient $\gamma_m = 1.26$ (Anneks F i DK NA EN1990, med $V_m = 0.16$)

Delpartialkoefficient $\gamma_2 = 1.03$ (Anneks F i DK NA EN1990, med $V_{\delta} = 0.029$)

og dermed

Materiale partialkoefficient $\gamma_M = 1.30$ (Anneks F i DK NA EN1990) – sejt brud).

Som det fremgår af Bilag 8 Statisk analyse og bæreevne modeller for rundjern. medfører dette følgende udtryk for en regningsmæssige bæreevne.

Karakteristisk forankringskapacitet:

$$F_{u,30,k} = 0,0058 L_{ind} + 7,5 \text{ kN (i kN)}$$

Hvor L_{ind} er indstøbningslængden i mm

Regningsmæssig forankringskapacitet:

$$F_{u,30,d} = F_{u,30,k} / 1,30$$

Hvis forankring sker i forankringsmæssige "dårlige" forhold iht. DS/EN 1992-1-1 skal der reduceres med faktor 0,7.

14.3 Beregningsudtryk for bøjler Ø8

Følgende hovedpunkter fremgår af bilag for bøjler Ø8 med $f_{u,30}$:

Bias $b = 1.08$ [formel (D.7) i EN1990]

Variationskoefficient for modelusikkerhed $V_\delta = 0.096$ [formel (D.13) i EN1990]

Variationskoefficient for beton trykstyrke fastsættes til 0.16 (se DS INF 172 – baggrundsdokument for Nationale Annekser, [2])

Karakteristisk værdi for beton trykstyrke vælges til 35 MPa.

Delpartialkoefficient $\gamma_m = 1.26$ (Anneks F i DK NA EN1990, med $V_m = 0.16$)

Delpartialkoefficient $\gamma_2 = 1.096$ (Anneks F i DK NA EN1990, med $V_\delta = 0.096$)

og dermed

Materiale partialkoefficient $\gamma_M = 1.38$ (Anneks F i DK NA EN1990) – sejt brud).

Som det fremgår af Bilag 8 Statisk analyse og bæreevne modeller for rundjern. medfører dette følgende udtryk for en regningsmæssige bæreevne.

Karakteristisk forankringskapacitet:

$$F_{u,30,k} = 0,017 L_{ind} + 7,6 \text{ kN (i kN)}$$

Hvor L_{ind} er indstøbningslængden i mm

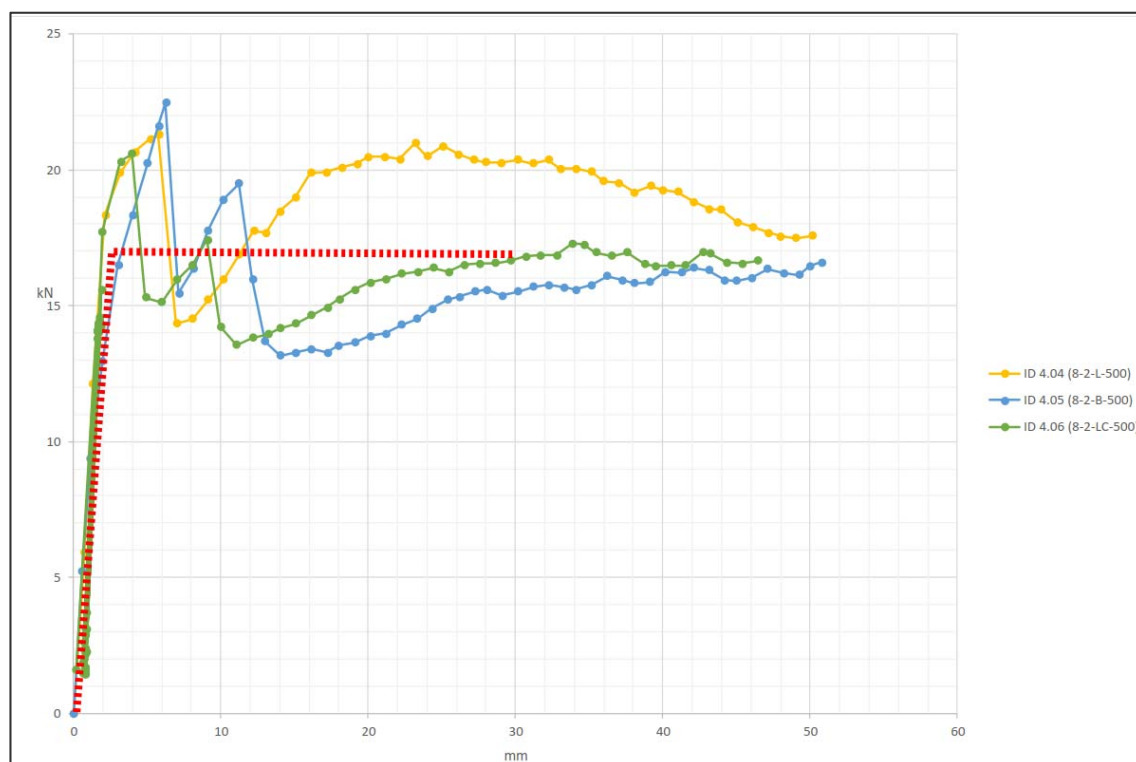
Regningsmæssig forankringskapacitet:

$$F_{u,30,d} = F_{u,30,k} / 1,38$$

Hvis forankring sker i forankringsmæssige "dårlige" forhold iht. DS/EN 1992-1-1 skal der reduceres med faktor 0,7.

15. BETRAGTNINGER VEDR. MINDSTE FORUDSATTE DEFORMATIONER

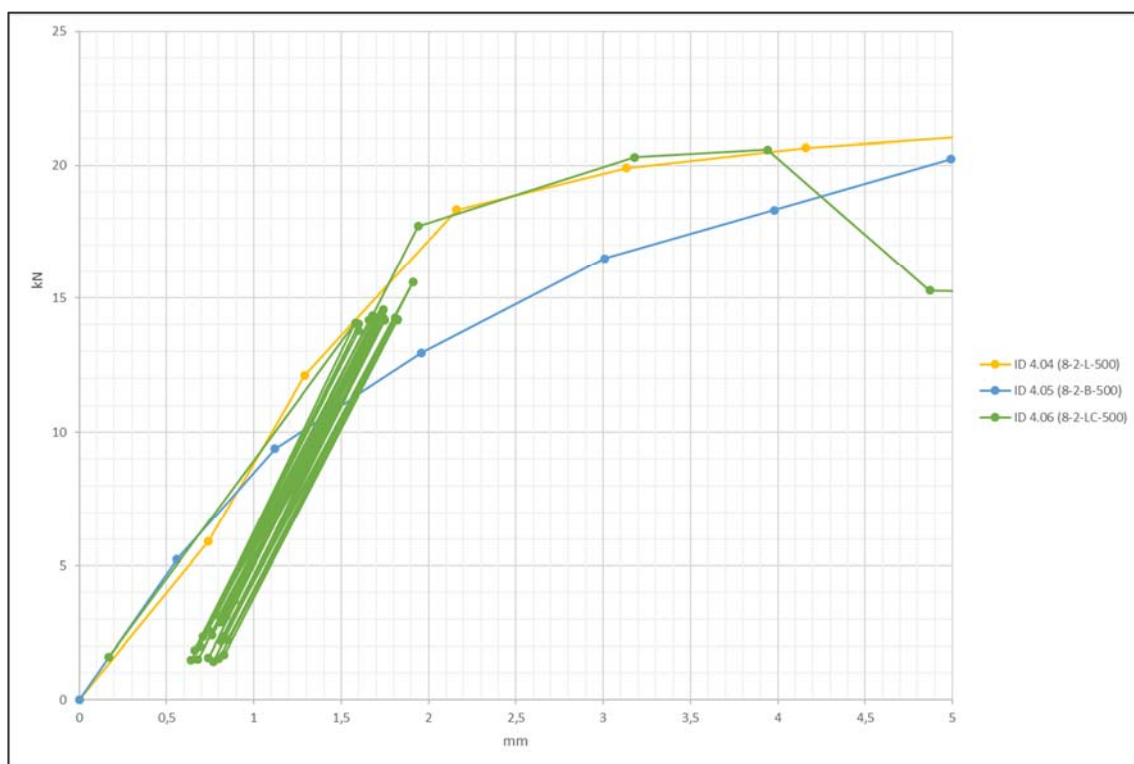
For at få et estimat over den nødvendige deformation, der skal til for at mobilisere den nødvendige forankringsstyrke, giver det mening indledningsvis at idealisere arbejdskurverne til en elastisk plastisk kurve som simplificeret illustreret nedenfor med stiplede røde linjer.



Figur 15-1 Illustration af idealiseret elastisk – plastisk arbejdskurve for Ø8 mm. Arbejdskurverne viser kraften i hvert bøjlebe.

Fastlæggelsen af knæpunkt på en sådan arbejdskurve er forbundet med en del usikkerhed idet målinger vil være influeret af de tilpasninger, der sker når forsøgsopstillingen belastes. Det gælder blandt andet armeringens tilpasning mod dorn, riggens vederlag mod forsøgsemnet osv. Ved de cykliske belastninger får man målinger, hvor der genbelastes og hvor disse effekter minimeres. Derfor er det relevant at se på disse, idet der ved en normal samling vil ske omstøbning af armeringen, der derved eliminerer tilpasninger.

Eksempel på en cyklisk belastning ses nedenfor (zoom af grafen ovenfor).



Figur 15-2 Illustration af cykliske arbejdskurve til fastlæggelse af idealiseret elastisk del af arbejdskurve for Ø8 mm.

Som det fremgår ovenfor, sker der en stigning på ca. 12 kN i et Ø8 over en deformation på ca. 1 mm ved de cykliske belastninger. Forud for det sker der en deformation svarende til ca. 0,5 mm og en del af dette skyldes formentlig slip i forsøgsopstillingen, men en del kan også skyldes irreversible deformationer, som eksempelvis slip langs dele af armeringsstangen.

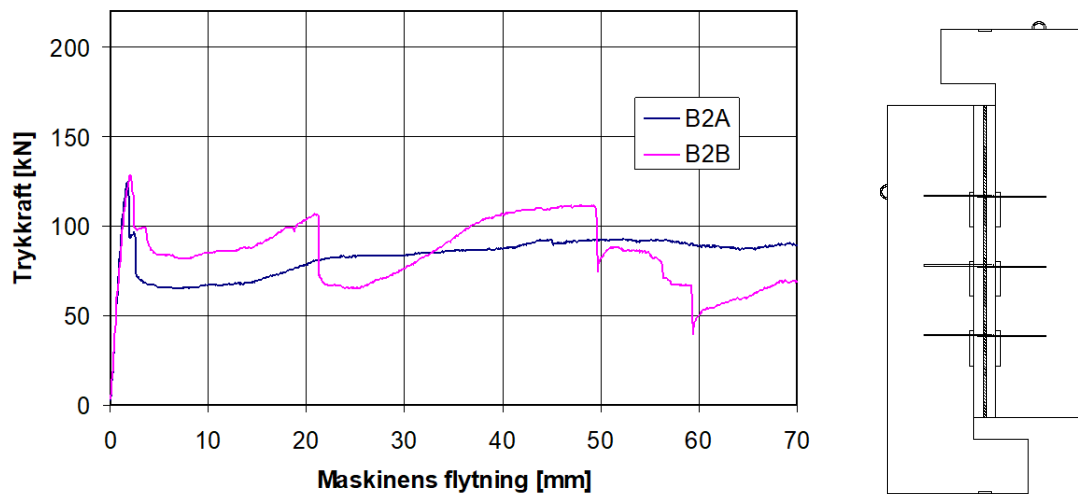
De elastiske deformationer for den del af Ø8 bøjlen, der ikke er indstøbt (ca. 100 mm) vil få en elastisk deformation på ca. 0,1 mm og det er således klart, at de elastiske deformationer, der observeres ved cykliske forsøg, ikke alene skyldes dette. Elastiske deformationer fra selve forsøgsriggen vil også have betydning, men er ukendte.

Egentlig fastlæggelse af den idealiserede del af en arbejdskurve er ikke foretaget, men det vurderes, at der med rimelighed kan regnes med, at knæpunktet findes ved ca. 0,5-2 mm ved en omstøbt armeringsstang. Det forudsættes ved denne betragtning, at der alene ses på deformationer af den indstøbte armeringsstang, dvs. kun den del der er indstøbt i element.

Ved en forskydnings-samling mellem elementer vil forskydningsdeformationen være styret af forholdet mellem lodrette og vandrette bevægelser. En generel metode til fastlæggelse af disse findes ikke.

Der er lavet forskydningsforsøg (push off), hvor rundjern blev anvendt som armering i en wireboks og i den forbindelse blev flytninger målt. Eksempel fra et sådant forsøg er gengivet nedenfor.

Kraften som funktion af flytningen B2A og B2B



Figur 15-3 Illustration af arbejdskurve for push off forsøg med rundjern fra Andersen, H. B., & Poulsen, D. G. (2000).

Selvom en forskydningsamling kan være udformet med fortandinger i stedet for bokse, vurderes det, at være et rimeligt udtryk for den tilnærmede forskydningsdeformation, der sædvanligvis vil ske ved en fortandet samling med rundjern. Fortandingernes størrelse, antal osv. vil naturligvis have en indflydelse på kurven og særlig "peaket" på den første del og bør derfor vurderes ved store afvigelser.

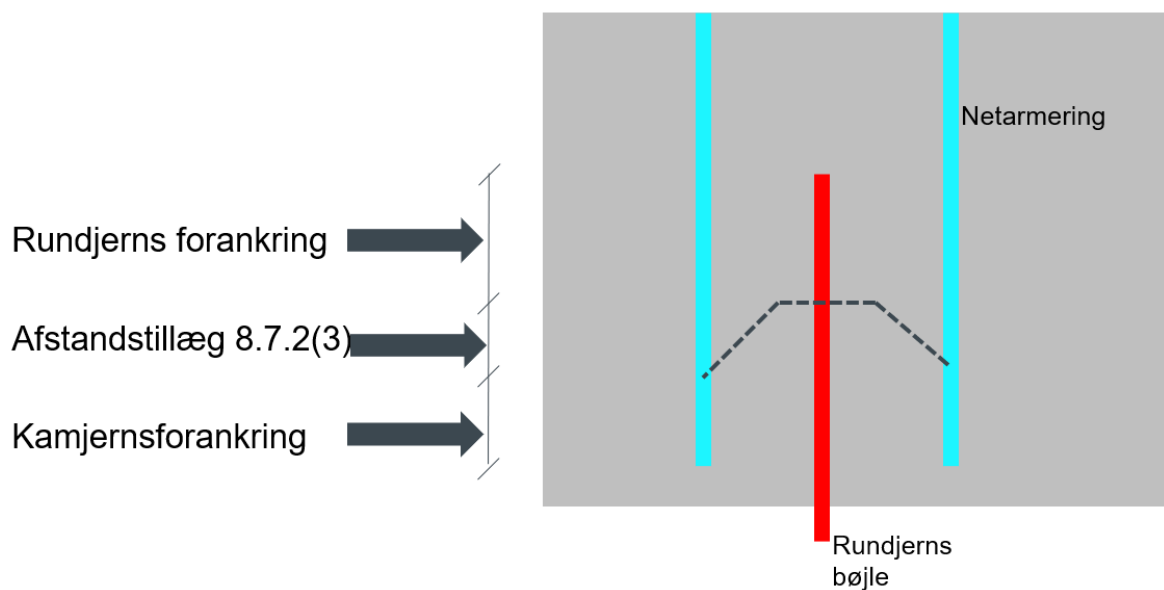
For langt de fleste konstruktioner vil det dog være tilstrækkeligt at sikre, at samlingen som hele vil kunne regnes virksom ved små deformationer, som eksempelvis ovenfor, hvor en bæreevne svarende til det plastiske niveau opnås inden for 2-3 mm forskydningsdeformation.

16. EFTERVISNING AF STØD

Stød til armering skal som udgangspunkt dokumenteres i henhold til DS/EN 1992-1-1:2008+AC:2010+A1:2015 med tilhørende dansk anneks DS/EN 1992-1-1 DK NA:2017 (Eurocode2, 2008; Nationalt Anneks E. , 2017).

Idet forankringen nu er fastlagt iht. forsøg skal stød beregnes med udgangspunkt i normens anvisninger.

Der anvendes nedenstående simplificerede tilgang til udregning af stødlængden.



Stødlængden bestemmes simplificeret som en sum af:

- Rundjerns forankringslængde (fastlagt i denne bulletin).
- Afstandstillæg som fastlagt i DS/EN 1992-1-1 8.7.2(3).
- Forankringslængden for den armering der stødes til (som oftest forkammet armering).

Det bemærkes, at der i DS EN 1992-1-1 DK NA indgår en faktor η for udregning af længder og denne er hhv. 1 og 2 for hhv. forankring og stød.

Såfremt glat armering skulle stødes med glat armering og dette blev udregnet efter princip som beskrevet ovenfor ville dette betyde, at stødlængden ville blive to gange forankringslængden. Dette stemmer overens med princippet for η fra DS EN 1992-1-1 DK NA.

17. KONKLUSION

Det kan konkluderes, at rundjern generelt godt kan anvendes med større materialestyrke end hvad der er foreskrevet i DS/EN 1992-1-1.

Ud fra forsøgsserier er det i nærværende bulletin vist, hvorledes bæreevnen kan fastlægges under hensyntagen til forudsatte maksimale deformationskapacitet.

Forudsætninger for anvendelse er opsummeret i afsnit 6 Begrænsninger.

Regningsmæssige bæreevneformler fremgår af afsnit 14 Fastlæggelse af regningsmæssige bæreevner.

Eftervisning af stød skal foretages efter princip som angivet i afsnit 16 Eftervisning af stød.

18. HENVISNINGER

- Andersen, H. B., & Poulsen, D. G. (2000). *Liner anvendt i præfabrikerede betonelementer*. Kbh: Dtu.
- DS/INF, 1. (2009). *Baggrundsundersøgelser i forbindelse med udarbejdelse af Nationale Annekser til EN 1990 og EN 1991 - Sikkerhedsformat, lastkombinationer, partialkoefficienter, udmattelse, snelast, vindlast, mm*. Dansk Standard.
- Eurocode0. (2007). *DS/EN 1990 Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner*. Dansk Standard.
- Eurocode2. (2008). *Ds/EN1992-1-1 Betonkonstruktioner - Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner*. Dansk Standard.
- Nationalt Anneks, E. (2013). *DS/EN1990 DK NA:2013 - Nationalt Anneks til Eurocode 0: Projektering for bærende konstruktioner*. Dansk Standard.
- Nationalt Anneks, E. (2017). *DS/EN1992-1-1 DK NA:2017 - Nationalts Anneks til Eurocode 2: Betonkonstruktioner - Del1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner*. Dansk Standard.
- Nielsen, M. P., & Hoang, L. C. (2011). *Limit Analysis and Concrete Plasticity, 3rd Edition*. CRC Press.
- Nielsen, M. P., & Nielsen, J. B. (2002). *Glatte armeringsstængers vedhæftningsevne til beton*. København: Dansk Selskab for bygningsstatik.
- SBi, 2. (2019). *SBI-anvisning 271 - Dokumentations og kontrol af bærende konstruktioner, 2. udgave*. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

BILAG

- 18.1 Bilag 1 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 1
- 18.2 Bilag 2 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 2
- 18.3 Bilag 3 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 3
- 18.4 Bilag 4 Forsøgsrapport for Forsøgsserie 4
- 18.5 Bilag 5 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 1 og 2
- 18.6 Bilag 6 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 3
- 18.7 Bilag 7 Databehandling af forsøgsdata Forsøgsserie 4
- 18.8 Bilag 8 Statisk analyse og bæreevnomodeller for rundjern.