



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Statiske og dynamiske forsøg med tribuneelement fra Aalborg Stadion

Hansen, Lars Pilegaard; Jönsson, J.

Creative Commons License
Ikke-specificeret

Publication date:
1995

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Hansen, L. P., & Jönsson, J. (1995). *Statiske og dynamiske forsøg med tribuneelement fra Aalborg Stadion*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. R/ Nr. R9501

General rights

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.

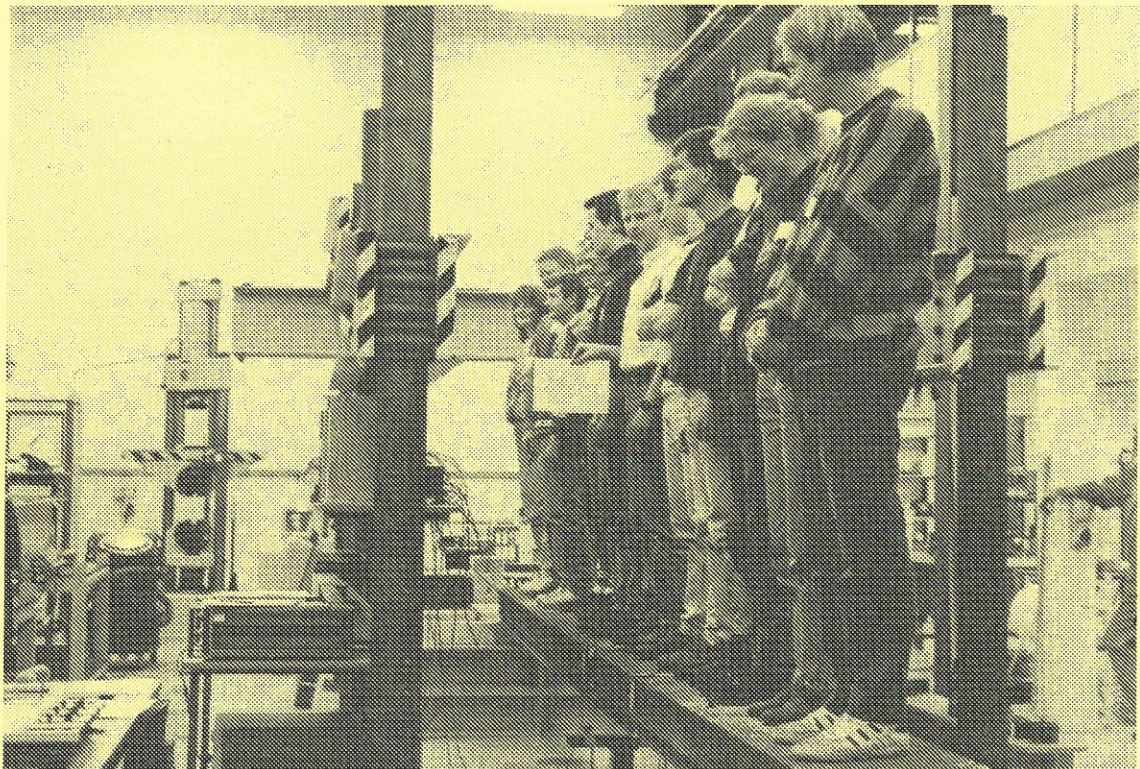
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in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

Take down policy

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

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK

DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITET • AUC • AALBORG • DANMARK



L. PILEGAARD HANSEN & J. JÖNSSON
STATISKE OG DYNAMISKE FORSØG MED TRIBUNEELEMENT FRA
AALBORG STADION
JANUAR 1995

ISSN 0902-7513 R9501

Kort sammenfatning

I denne rapport er beskrevet statiske og dynamiske forsøg med et 6 m langt tribuneelement fra Aalborg Stadion. Forsøgene omfatter bl.a. følgende situationer:

- Situation 1: Der belastes med 12 forsøgspersoner, som **står stille** på tribuneelementet
- Situation 2: Der belastes med 12 forsøgspersoner, som **hopper i takt** på tribuneelementet
- Situation 3: Der belastes med 12 forsøgspersoner, som **hopper i utakt** på tribuneelementet

Forsøgene viser klart, at der er meget stor forskel på disse 3 situationer. Situation 1 er den gunstigste for tribuneelementet og situation 2 er langt den farligste. Dette kan bl.a. udtrykkes ved følgende:

Når de 12 forsøgspersoner står stille på tribuneelementet fås en lodret nedbøjning ved tribuneelementets midte på 4,3 mm, mens den maksimale lodrette nedbøjning når de 12 forsøgspersoner hopper i takt er bestemt til 29 mm, altså en faktor 6,7 større.

Når de 12 forsøgspersoner hopper i utakt er situationen ikke så farlig, idet der for dette tilfælde blev bestemt en lodret nedbøjning på 19 mm, altså en faktor 4,4 større end den tilsvarende statiske.

Ved disse hopforsøg blev tribuneelementet udsat på påvirkninger, som ændrede dets statiske egenskaber. Det blev således konstateret, at når de 12 forsøgspersoner stod stille på tribuneelementet **efter hopforsøgene** var den lodrette nedbøjning nu ændret til 7,7 mm mod 4,3 mm **før hopforsøgene**, altså en forøgelse på 80 %.

Benyttes disse 7,7 mm nedbøjning som referenceværdi fås, at ved hop i takt skal den statiske nedbøjning ganges med en faktor 3,7 ($7,7 \times 3,7 = 29$ mm) og ved hop i utakt med 2,5 ($7,7 \times 2,5 = 19$ mm).

At der er sket en væsentlig ændring af tribuneelementets statiske egenskaber som følge af hopforsøgene kan bl.a. ses af, at når de 12 forsøgspersoner hopper i takt på tribuneelementet fås en armeringstøjning på 1,7 ‰, hvilket svarer til en armeringsspænding på ca. 360 MPa.

Dette er formentlig tæt på armeringens flydespænding. Der blev da også konstateret væsentlig revnedannelse i betonen efter hopforsøgene svarende til et fald i bjælkestivheden.

Der er i rapporten yderligere beskrevet en række forsøg til belysning af tribuneelementets statiske og dynamiske egenskaber.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	Indledning	1
2.	Tribuneelement, oversigt over forsøg, forsøgsopstillinger og instrumentering	1
3.	Udførte forsøg	8
3.1	Statiske forsøg med enkeltkraft på tribunelement før dynamiske forsøg	8
3.2	Statiske forsøg med personlast før dynamiske forsøg	12
3.3	Dynamiske forsøg med ubelastet tribunelement	16
3.4	Dynamiske forsøg med tribunelement belastet med personlast	19
3.4.1	Impulsbelastning på belastet tribunelement	19
3.4.2	Hoppende personlast på tribunelement	23
3.5	Dynamisk forsøg med ubelastet tribunelement efter at dette har været udsat for hoppende personer	29
3.6	Statiske forsøg med personlast efter dynamiske forsøg	32
3.7	Statiske forsøg med enkeltkraft på tribunelement efter dynamiske forsøg	34
4.	Sammenfatning	37
4.1	Statiske forsøg med enkeltkraft ved midte af tribunelement ...	37
4.2	Statiske forsøg med personlast	38
4.3	Dynamiske forsøg med ubelastet tribunelement og impulsbelastning på belastet tribunelement	39
4.4	Dynamiske forsøg med hoppende personlast	40
4.5	Kort sammendrag	47

BILAG

Bilag A:	Tegning af tribunelement
Bilag B:	Forsøgsresultater fra statisk forsøg med enkeltkraft (AAB002)
Bilag C:	Forsøgsresultater fra statisk forsøg med enkeltkraft (AAB003)
Bilag D:	Forsøgsresultater fra statisk forsøg med personlast (AAB201)
Bilag E:	Forsøgsresultater for statisk forsøg med enkeltkraft (AAB501)
Bilag F:	Kort redegørelse for beat fænomen
Bilag G:	Forsøgsresultater med 3 personer, som hopper i takt (AAB204)
Bilag H:	Forsøgsresultater med 3 personer, som hopper i utakt (AAB205)
Bilag I:	Forsøgsresultater med 5 personer, som hopper i takt (AAB206)
Bilag J:	Forsøgsresultater med 5 personer, som hopper i utakt (AAB207)
Bilag K:	Forsøgsresultater med 7 personer, som hopper i takt (AAB208)
Bilag L:	Forsøgsresultater med 7 personer, som hopper i utakt (AAB209)
Bilag M:	Forsøgsresultater med 12 personer, som hopper i takt (AAB212)
Bilag N:	Forsøgsresultater med 12 personer, som hopper i utakt (AAB213)

1. INDLEDNING

For Aalborg Kommune, Kulturforvaltningen, Godthåbsgade 8, 9400 Nørresundby (AK) har Laboratoriet for Bærende Konstruktioner, Institutet for Bygningsteknik, Aalborg Universitet, Sohngårdsholmsvej 57, 9000 Aalborg (LBK) i december 1994 udført statiske og dynamiske forsøg med et 6 m langt tribuneelement af armeret beton. Tribuneelementet har været placeret på ståtribunen på Aalborg Stadion og er leveret til LBK, hvorefter det har været placeret i laboratoriet under indendørs forhold.

Afprøvningen af tribuneelementet er udført i samarbejde med Vinther Buus, Rådgivende Ingeniørfirma A/S, Gasværksvej 24, Postbox 650, 9100 Aalborg (VB).

Tribuneelementet, forsøgsopstillinger, instrumentering samt en oversigt over de udførte forsøg er beskrevet i *kapitel 2*.

I *kapitel 3* er de enkelte forsøg nøjere beskrevet og de vigtigste forsøgsresultater anført hovedsagelig i form af kurver. I bilagene er endvidere mange forsøgsresultater vist.

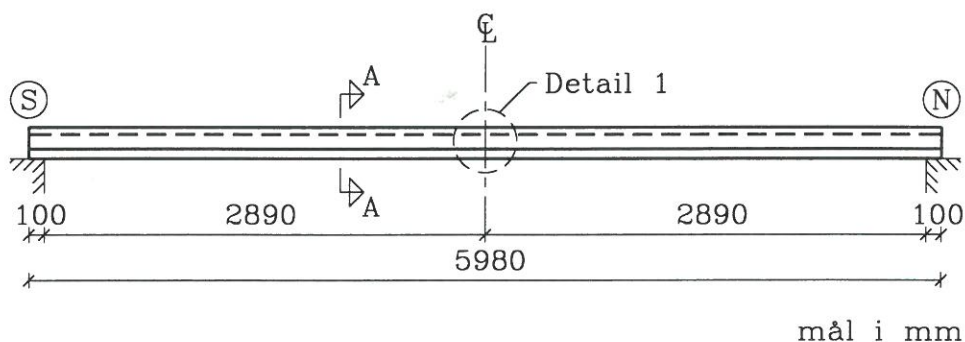
En sammenfatning af de udførte forsøg er anført i *kapitel 4*.

2. TRIBUNEELEMENT, OVERSICHT OVER FORSØG, FORSØGS-OPSTILLINGER OG INSTRUMENTERING

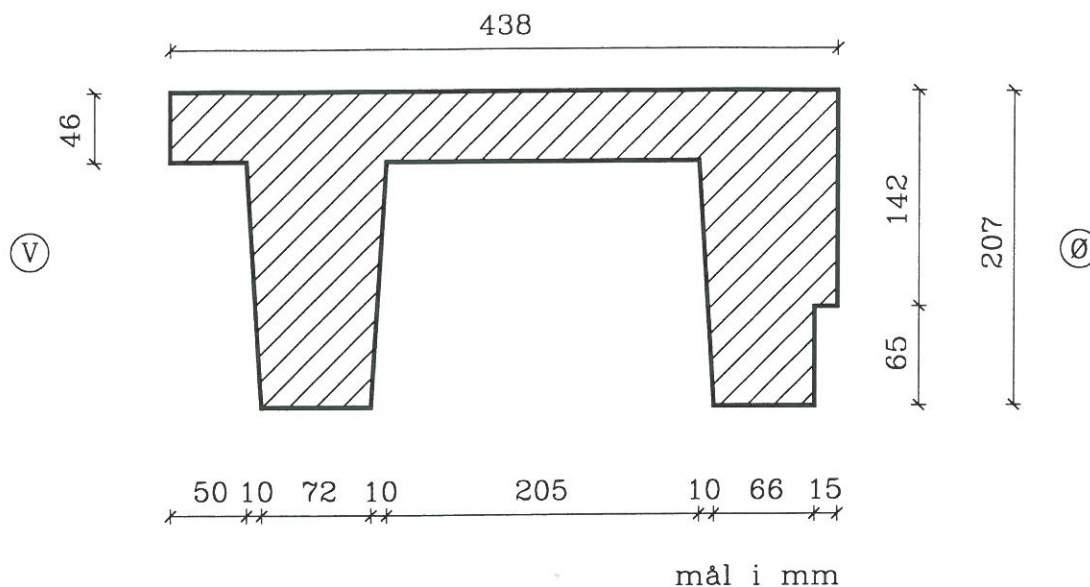
En tegning af tribuneelementerne fra projekteringstidspunktet (1960) er vist i bilag A.

Det leverede tribuneelement er opmålt og resultatet heraf ses på figur 2.1 og 2.2.

Figur 2.1 viser endvidere hvorledes tribuneelementet blev understøttet ved både de statiske og de dynamiske forsøg, nemlig over en strækning i elementets længderetning på 100 mm. Det skal i den forbindelse anføres, at det leverede element på grund af uregelmæssig betonoverflade i bunden ikke blev understøttet over samtlige 100 mm.



Figur 2.1 Tribuneelement. 1:50



Figur 2.2 Betontværsnit. Snit A-A, 1:5

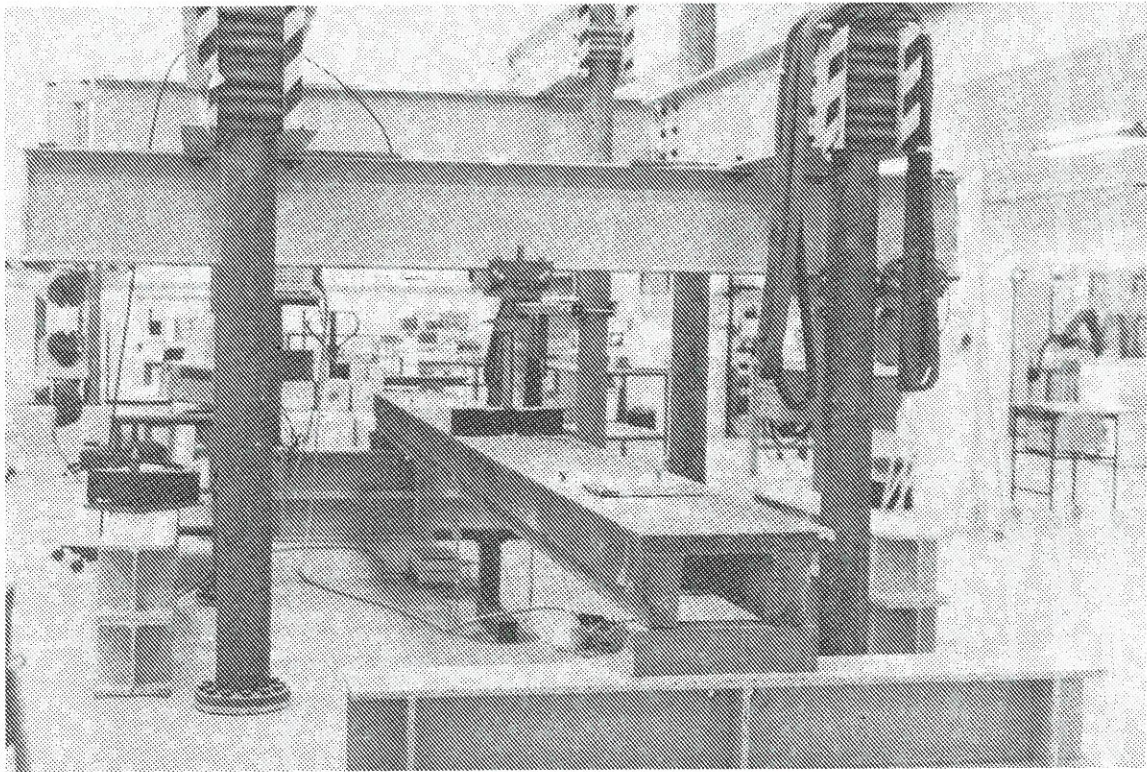
Der blev udført følgende forsøg, som beskrives nøjere i kapitel 3:

1. Statiske forsøg med tribuneelementet belastet med en enkeltkraft i midten udført før de dynamiske forsøg.
2. Statiske forsøg med tribuneelementet belastet med personlast fordelt hen over elementet udført før de dynamiske forsøg.
3. Dynamiske forsøg udført på ubelastet tribuneelement.
4. Dynamiske forsøg udført på tribuneelementet med personlast fordelt hen over elementet.
5. Dynamiske forsøg udført på ubelastet tribuneelement (efter pkt. 4).
6. Statiske forsøg med tribuneelementet belastet med en enkeltkraft i midten udført efter de dynamiske forsøg.

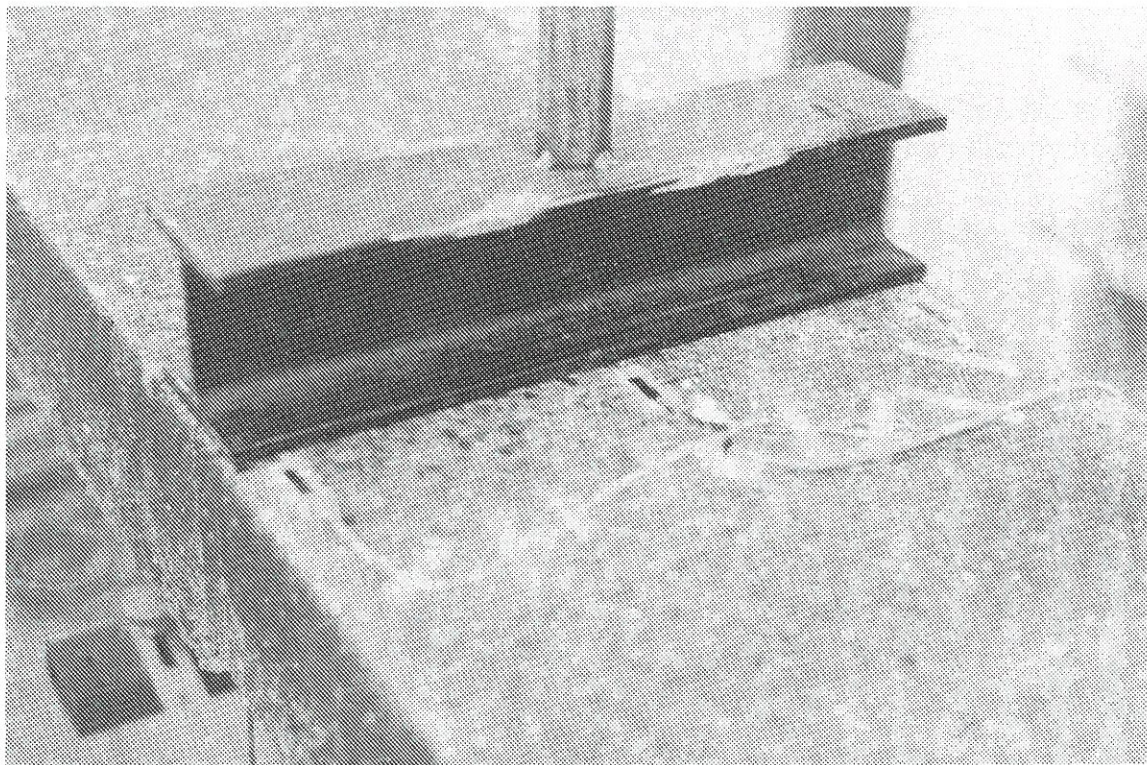
Det leverede tribunelement blev vejjet og vægten bestemt til 6650 N, som under forudsætning af ensformig fordeling svarer til 1112 N/m.

De statiske forsøg svarende til pkt. 1. og 6. ovenfor blev udført ved anvendelse af en hydraulisk presse, LUCAS 50 kN, som gennem en cirkulærcylindrisk aksel \varnothing 40 mm overførte kraften til et HEB 100 stålprofil over hele tribuneelementets bredde i bjælkemidtpunktet.

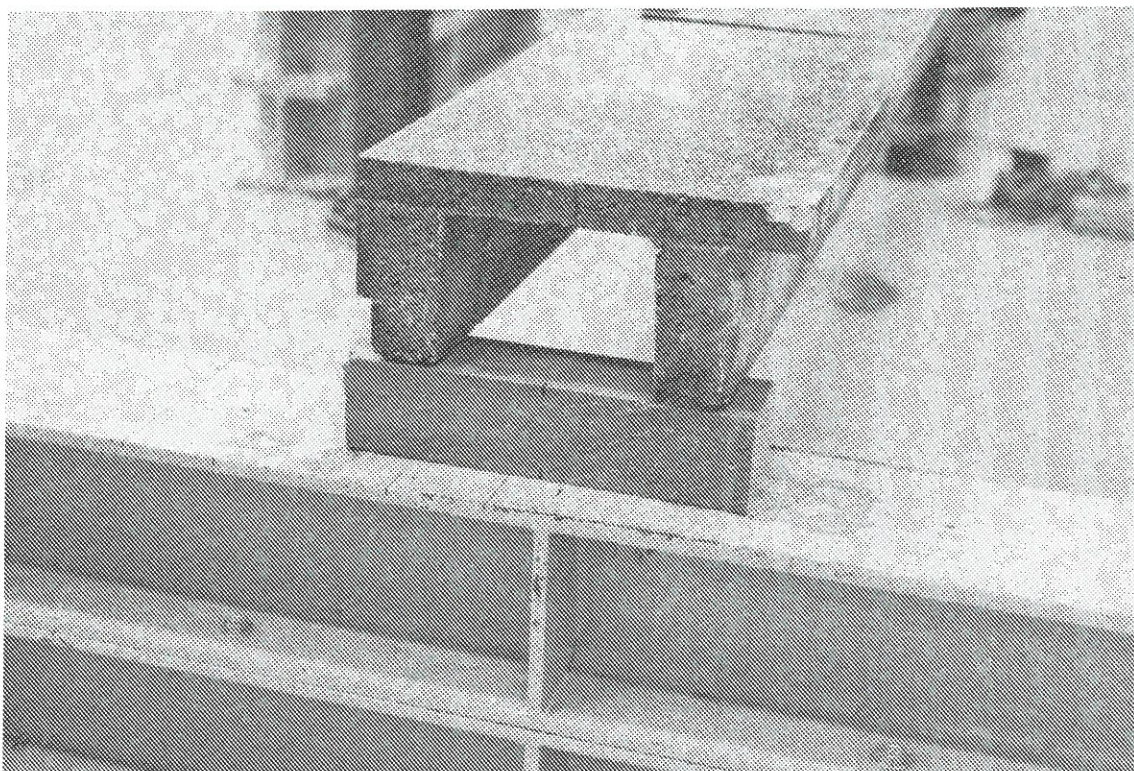
Et foto af forsøgsopstillingen ved disse statiske forsøg er vist i figur 2.3, og et detail foto af kraftpåførslen er vist i figur 2.4. Figur 2.5 viser et detail foto af understøtningen.



Figur 2.3 Foto af tribunelement til statiske forsøg



Figur 2.4 Foto af kraftoverførsel til tribunelement ved statiske forsøg



Figur 2.5 Foto af understøtning for tribuneelement

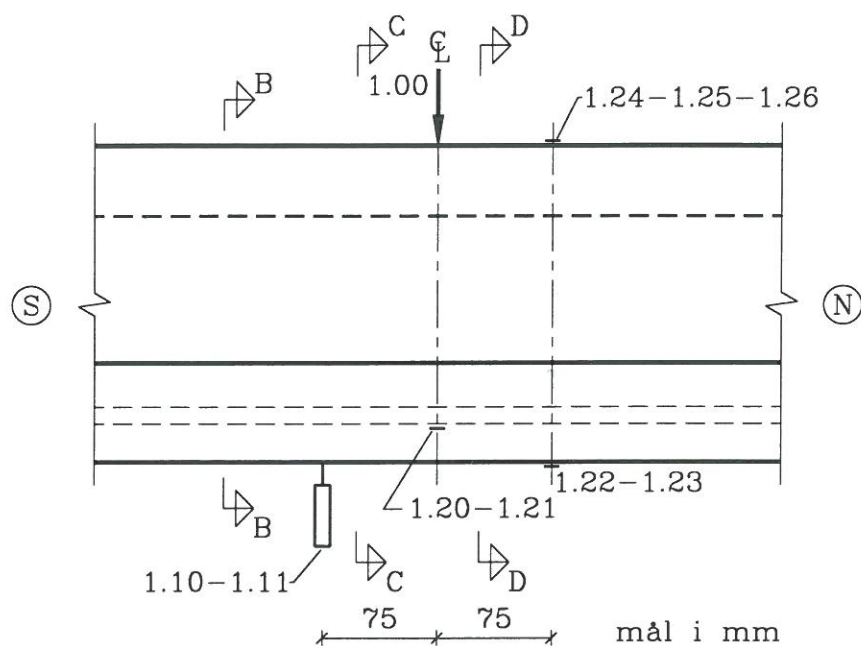
Ved de øvrige statiske og dynamiske forsøg blev samme forsøgsopstilling benyttet dog undtaget belastningsarrangementet med påførsel af enkeltkraft ved tribuneelementets midte.

Til måling af tribuneelementets respons over for de påvirkninger det udsættes for er anordnet en række transducere, som via et dataopsamlingsystem registrerer elementets respons.

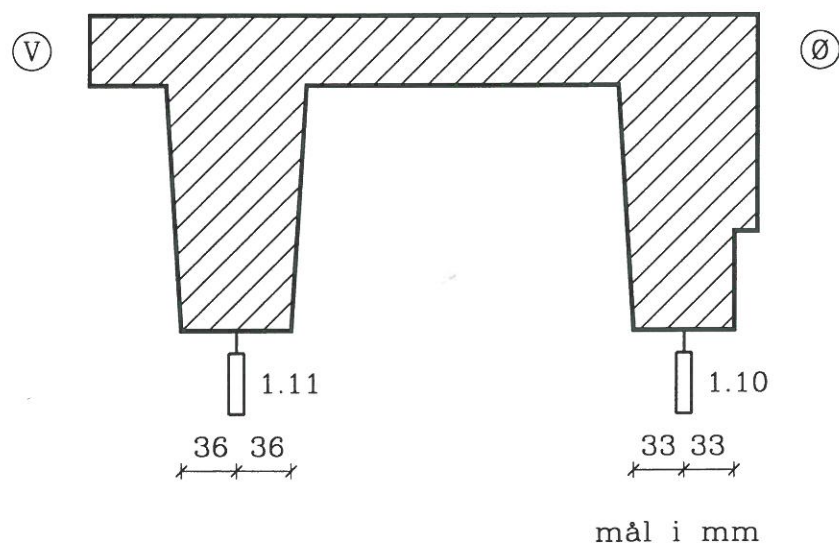
For *de statiske forsøgs* vedkommende er der placeret følgende transducere med kanalnumre svarende til det, der benyttes for dataopsamlingsystemet, se endvidere figur 2.6, 2.7, 2.8 og 2.9, som nøjere angiver placeringen af transducerne:

- * Til måling af den påførte kraft fra den hydrauliske cylinder er benyttet en krafttransducer, fabrikat HBM, 50 kN, type C4. Kanal 1.00.
- * Til måling af lodrette flytninger er benyttet 2 stk. induktive flytningstransducere, fabrikat HBM, W20TK. Kanal 1.10 og 1.11. Se figur 2.7.
- * Til måling af tøjningen i længdearmeringen er monteret 1 stk. straingages, fabrikat HBM, type 6/120LY11 på hvert armeringsjern. Straingagene er monteret svarende til en Wheatstone kvart bro. For at kunne montere straingagene var det nødvendigt at borthugge lidt beton, se også figur 2.10. På denne figur kan de 2 induktive flytningsmålere også ses. Se også figur 2.8.
- * Til måling af tøjningen på betonoverfladen er i bjælkeunderside monteret 2 stk. straingages, fabrikat HBM, type 20/120 LY41. Straingagene er monteret svarende til en Wheatstone kvart bro. Kanal 1.22 og 1.23. Se også figur 2.9.

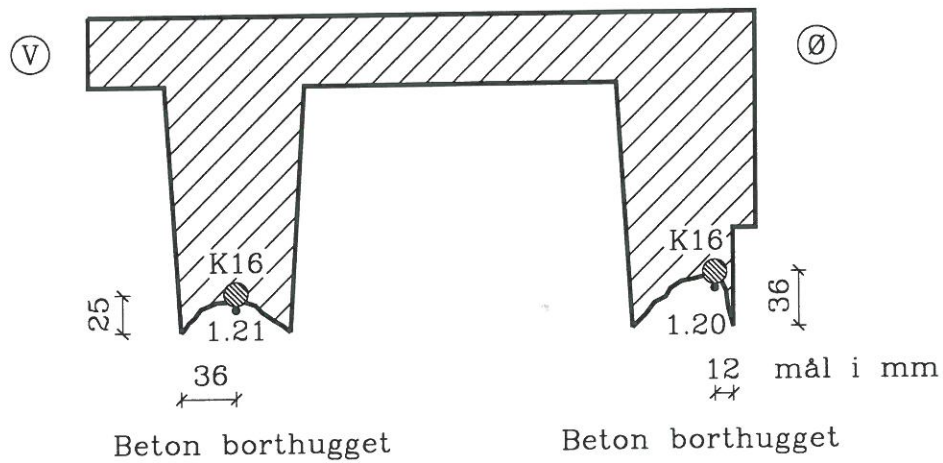
På bjælkeoversiden er monteret 3 stk. straingages, fabrikat HBM, type 20/120LY41. Straingagene er monteret svarende til en Wheatstone kvartbro. Kanal 1.24, 1.25 og 1.26. Se også figur 2.9 og figur 2.4, hvor sidstnævnte viser et foto af straingagene på oversiden.



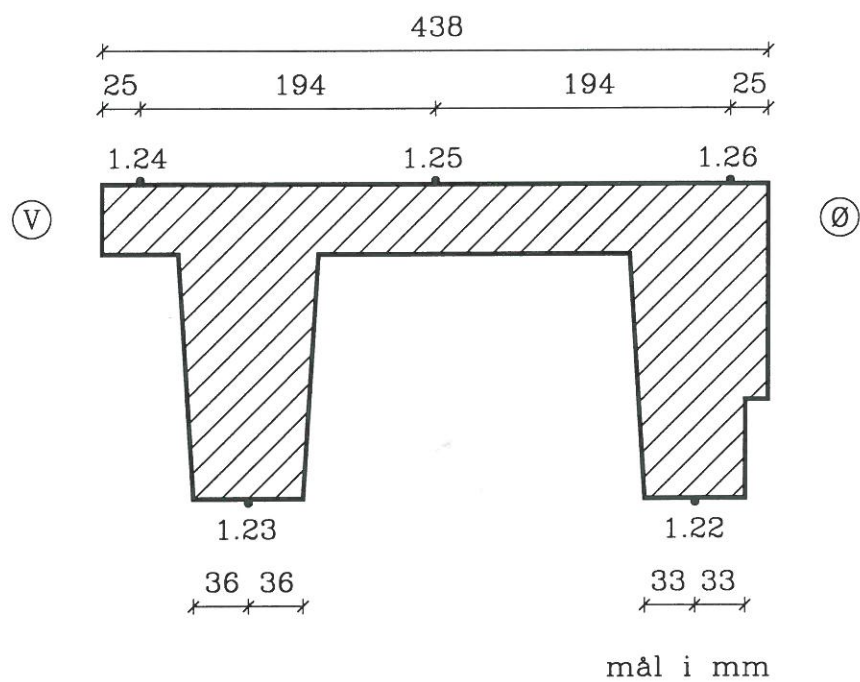
Figur 2.6 Detail 1. Transducerplacering. 1:5



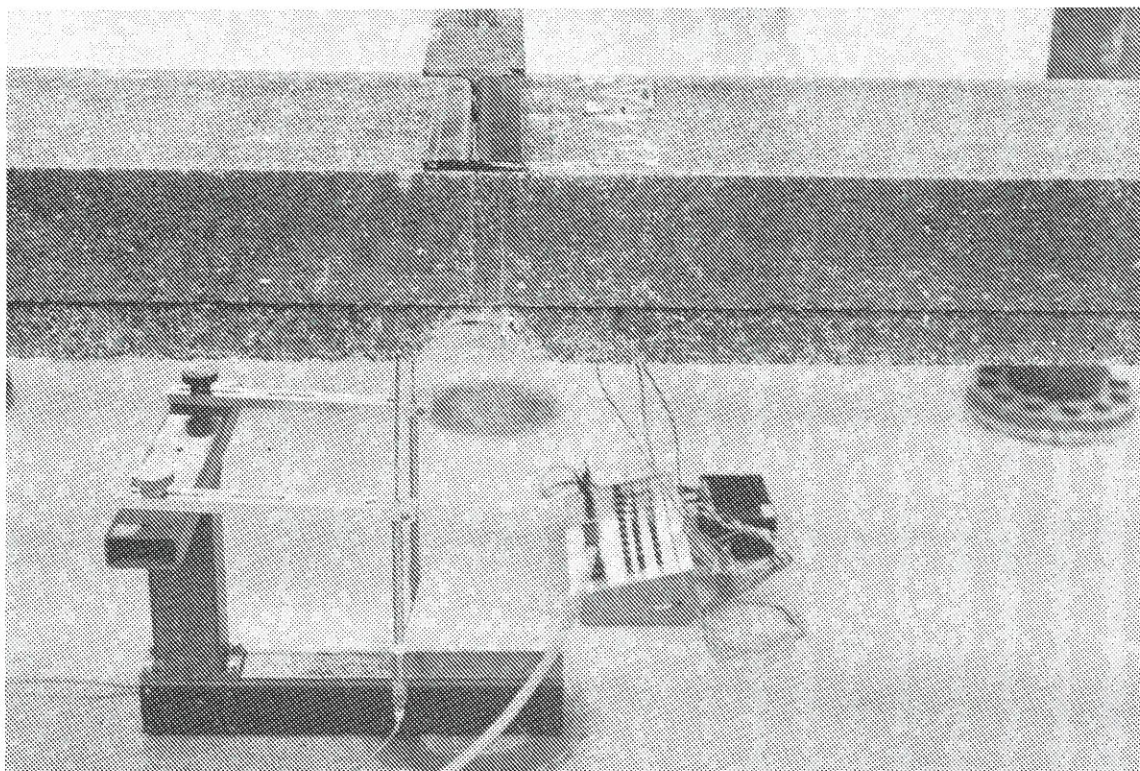
Figur 2.7 Snit B-B. Placering af induktive flytningstransducere. 1:5



Figur 2.8 **Snit C-C. Placering af langsgående straingages på længdearmring. 1:5**



Figur 2.9 **Snit D-D. Placering af langsgående straingages på betonoverflade. 1:5**



Figur 2.10 Foto af induktive flytningstransducere og borthugget beton

For *de dynamiske forsøgs* vedkommende er nogle af forannævnte transducere også benyttet tillige med 2 accelerometre, fabrikat Brüel & Kjær, type 4370, med en ladningsforstærker, fabrikat Brüel & Kjær, type 2635. Accelerometrene er placeret med lodret akse og måler således lodrette accelerationer. Ved anvendelse af 2 gange elektrisk integration i ladningsforstærkeren er det muligt at få accelerationssignalet omformet til et flytningssignal. Det ene accelerometer var placeret i tribuneelementets midtpunkt og det andet i midtlinien 1 m fra midten.

Der blev benyttet 2 forskellige slags dataopsamlingssystemer.

Til *de statiske forsøg med enkeltkraft* blev benyttet dataopsamlingssystemet HBM, UGR60 med moduler 3201, 3202 og 3208. Dataopsamlingen er PC styret med standardprogrammet ugiebe.

Til *de statiske forsøg med personlast og de dynamiske forsøg* blev benyttet dataopsamlingssystemet, HBM DMC9012A med moduler DMV30 og DMV50. Dataopsamlingen af de tidsvarierende signaler foregår *simultant*. Dataopsamlingen er PC styret med standardprogrammet dmcbe.

3. UDFØRTE FORSØG

Der skal i dette kapitel nærmere redegøres for de udførte forsøg ligesom resultaterne herfra skal præsenteres. Som anført i kapitel 2 er der udført 6 typer forsøg, nemlig 3 sæt statiske forsøg og 3 sæt dynamiske forsøg.

3.1 Statiske forsøg med enkeltkraft på tribunelement før dynamiske forsøg

Som det første forsøg blev tribunelementet udsat for en statisk påvirkning svarende til en enkeltkraft ved bjælkemidten. Udgangssituationen var tribunelementet påvirket af sin egen vægt. Dette bidrag indgår således ikke i de viste resultater.

Ved anvendelse af den hydrauliske presse blev der påført en enkeltkraft fra 0 til ca. 6 kN i spring på ca. 1 kN. Ved hvert nyt lasttrin blev der foretaget en aflæsning af transducerne. Derpå blev der foretaget en aflastning til ca. 3 kN, foretaget en aflæsning og herefter aflastning helt til 0 og aflæsning igen.

Dette forsøg blev gentaget 3 gange (Datafiler: AAB001, AAB002 og AAB003).

Resultaterne fra det første forsøg (AAB001) er vist i det følgende, mens resultaterne fra de to øvrige forsøg er vist i bilag B og C, hvortil der henvises.

Udover de her viste kurver findes en udførlig edb udskrift af bearbejdede data fra hvert statisk forsøg med enkeltkraft. Disse udskrifter er ikke medtaget her i rapporten, men opbevares hos VB.

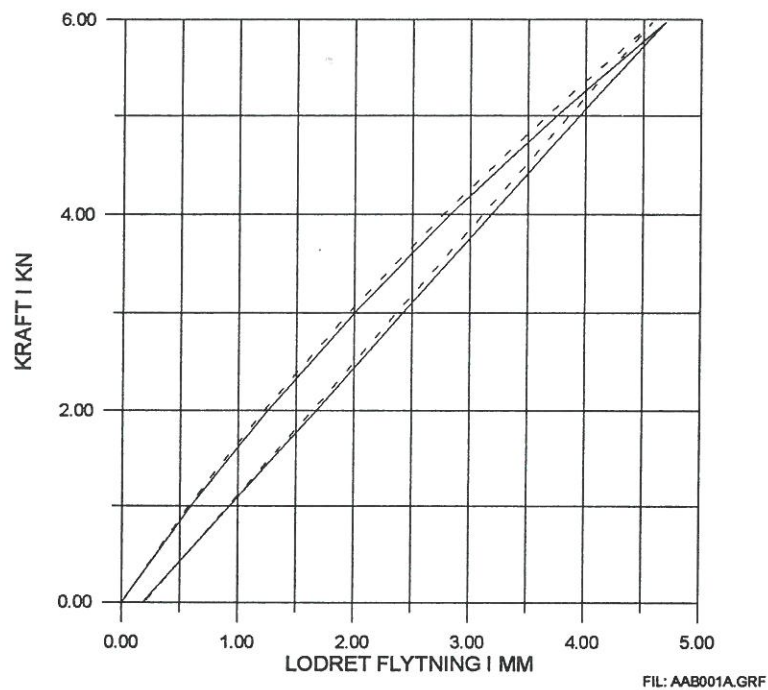
De betontøjninger, der blev målt i tribunelementets trækside (underside), se figur 2.9 er ikke medtaget, idet de ikke udviser karakteristiske egenskaber for tribunelementets virkemåde.

De målte flytninger er angivet i mm og regnet positive nedad, den målte kraft er i kN og de målte tøjninger er i $\mu\text{m}/\text{m}$, også kaldet mikrostrain som er 10^{-6} . Tøjninger er regnet positive svarende til forlængelse (dvs ved de her refererede statiske forsøg bliver armeringstøjningerne positive og betontøjningerne i tribunelementets overside negative).

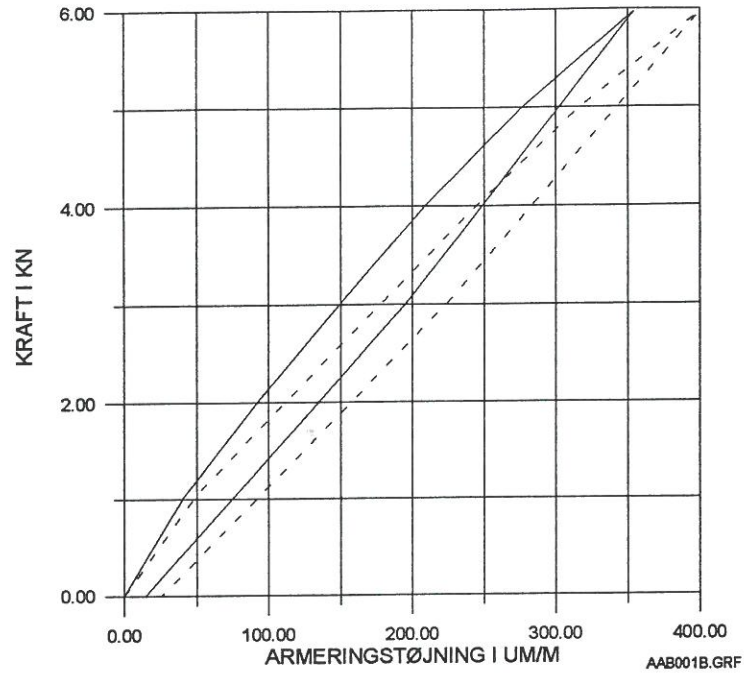
Udover de viste kurver er bøjningsstivheden EI af tribunelementet bestemt ud fra sammenhængen mellem den lodrette enkeltkraft og de målte lodrette flytninger. Ved denne bestemmelse af bøjningsstivheden er gennemsnittet af de to målte lodrette flytninger benyttet. Bøjningsstivheden er bestemt på grundlag af sekanthældningen svarende til de anvendte lastniveauer og det er ved beregningen forudsat, at bøjningsstivheden er konstant langs tribunelementets længdeakse. Resultaterne fremgår af tabel 3.1.1

Følgende signaturer er benyttet for kurverne:

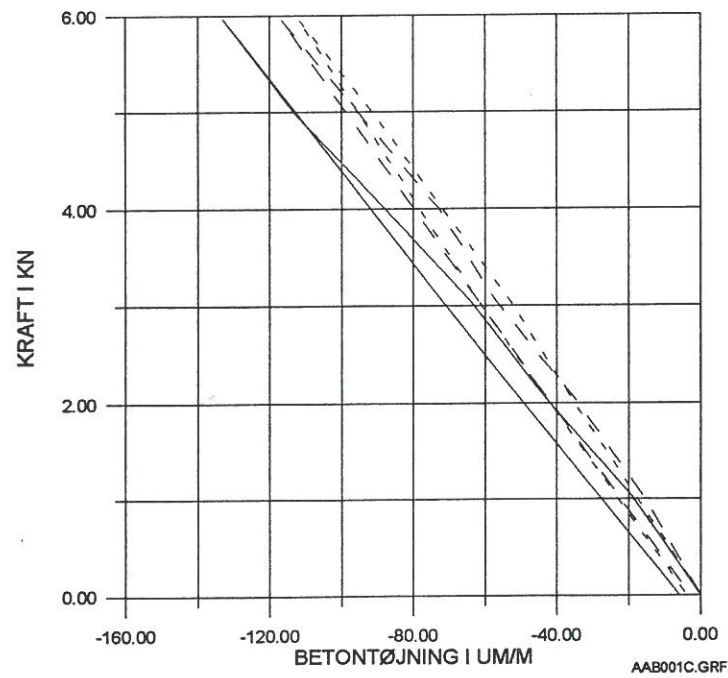
Flytning, kanal 1.10:	Fuldt optrukket linie
Flytning, kanal 1.11:	Kort punkteret linie
Tøjning for armering, kanal 1.20:	Fuldt optrukket linie
Tøjning for armering, kanal 1.21:	Kort stiplede linie
Tøjning for beton, kanal 1.24:	Fuldt optrukket linie
Tøjning for beton, kanal 1.25:	Kort punkteret linie
Tøjning for beton, kanal 1.26:	Lang punkteret linie



Figur 3.1.1 Påført enkeltkraft som funktion af lodrette flytninger



Figur 3.1.2 Påført enkeltkraft som funktion af tøjning i armering

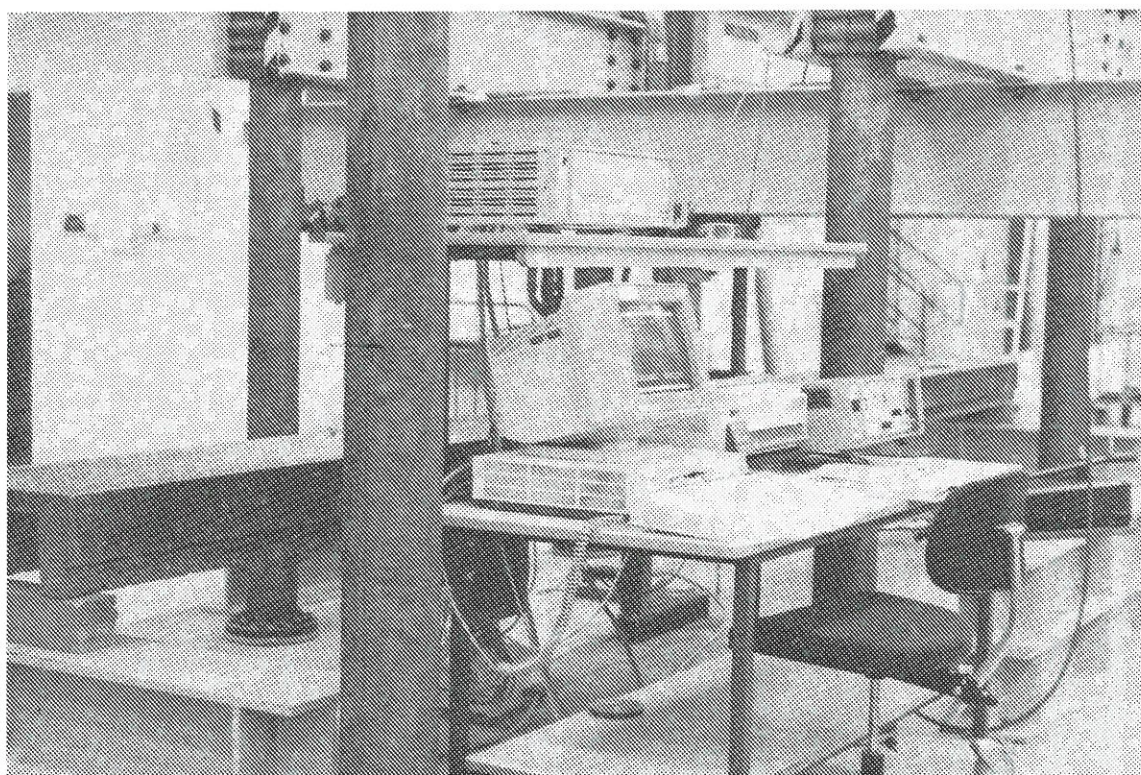


Figur 3.1.3 Påført enkeltkraft som funktion af tøjninger i betonoverside

Lastniveauer i kN	EI i kNm ² for forsøg 1(AAB001)	EI i kNm ² for forsøg 2(AAB002)	EI i kNm ² for forsøg 3(AAB003)
0 - 1	7294	7363	7266
0 - 2	6849	7002	6860
0 - 3	6423	6507	6380
0 - 4	6050	5757	5953
0 - 5	5710	5543	5673
0 - 6	5450	5689	5492

Tabel 3.1.1 **Oversigt over bøjningsstivheder EI bestemt som sekanthældninger fra kurverne over påført kraft som funktion af lodret flytning**

Dataopsamlingsystemet ved de statiske forsøg med enkeltkraft er vist i figur 3.1.4.



Figur 3.1.4 **Dataopsamlingsystem ved statiske forsøg med enkeltkraft**

3.2 Statiske forsøg med personlast før dynamiske forsøg

Efter forsøgene med påvirkningen med en enkeltkraft som beskrevet i afsnit 3.1 blev tribuneelementet påvirket med lasten fra 12 personer, som nærmere beskrevet i det følgende.

Inden forsøget blev samtlige personer nummereret fra 1 til 12 og vejjet. Resultatet heraf fremgår af tabel 3.2.1.

No.	12	10	8	6	4	2	1	3	5	7	9	11
kg	67	72	50	93	71	80	73	79	74	65	61	80

Tabel 3.2.1 Vægt i kg for forsøgspersoner

Den anførte placering for numrene på personerne i tabel 3.2.1 svarer til den placering personerne havde på tribuneelementet forstået på den måde, at først belastede person no. 1 tribuneelementet nær elementets midtpunkt, herefter person no.2 lidt til venstre for midten, så person no. 3 lidt til højre for midten og så fremdeles.

Den totale vægt af de 12 personer er 865 kg svarende til 8486 N. Regnes personerne ensformigt fordelt over tribuneelementets længde på 6 m fås en ensformigt fordelt belastning på 1414 N/m.

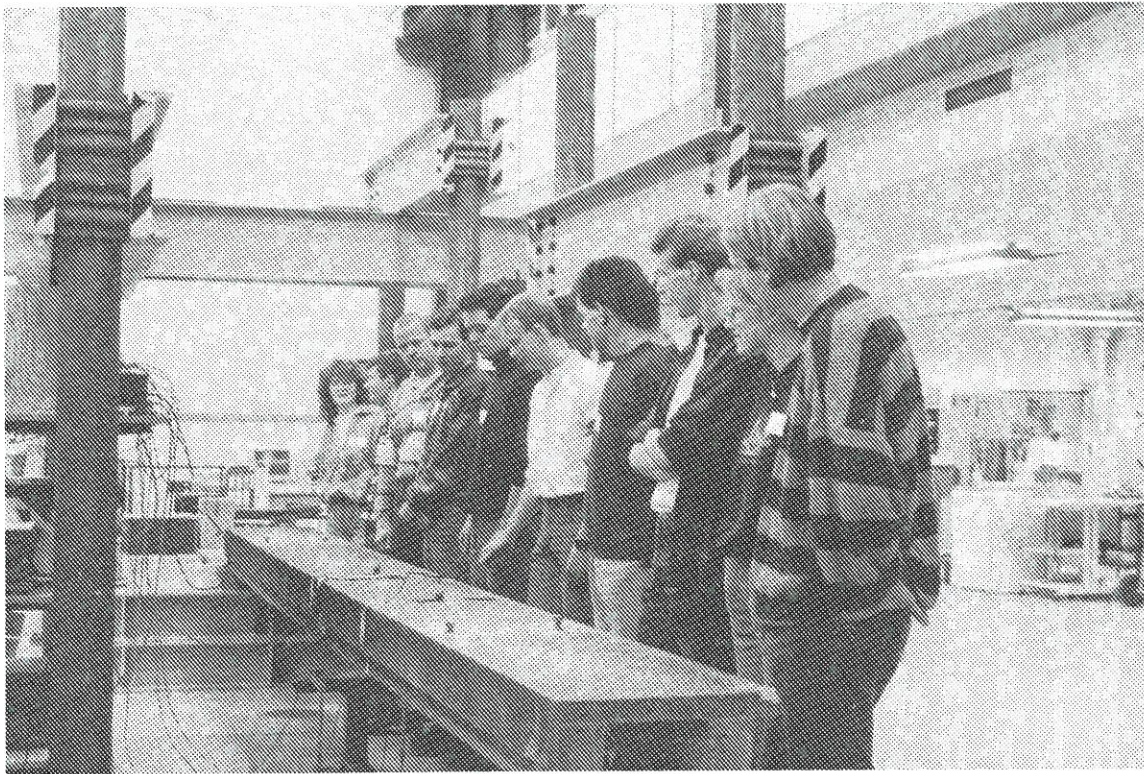
Et foto af de 12 forsøgspersoner før de påvirker tribuneelementet er vist i figur 3.2.1 og situationen, hvor næsten alle forsøgspersonerne er på tribuneelementet, er vist i figur 3.2.2.

Ved forsøg af denne type blev følgende transducere benyttet:

- * 1 induktiv flytningsmåler med en placering svarende til kanal 1.10 for de statiske forsøg med enkeltkraft, se figur 2.7.
- * 1 straingage på armeringen svarende til kanal 1.20 for de statiske forsøg med enkeltkraft, se figur 2.8.
- * 1 straingage på betonoverfladen ved bjælkeoverside svarende til kanal 1.25 for de statiske forsøg med enkeltkraft, se figur 2.9.

Samplingstiden for målingerne var 2 Hz, svarende til 2 målinger pr. sekund.

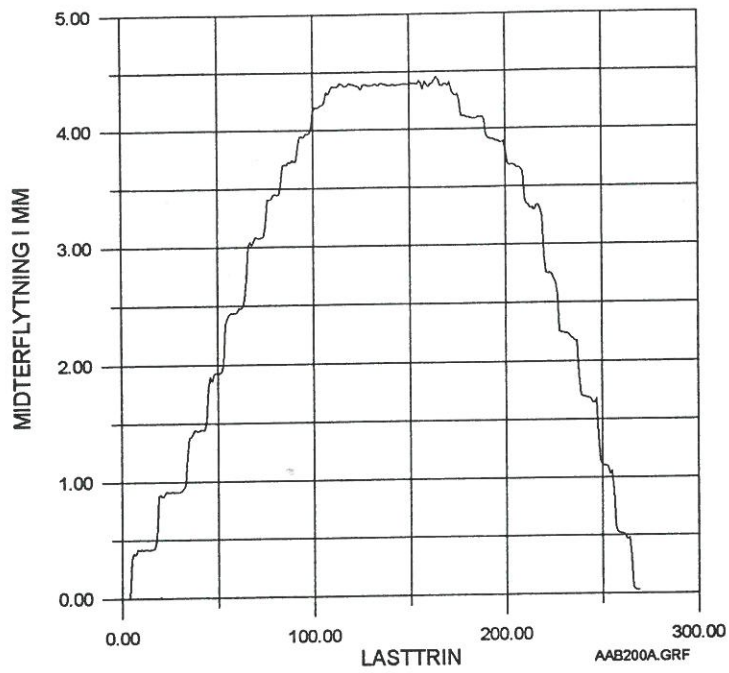
Resultatet fra det første forsøg (AAB200) er vist i det følgende, mens resultaterne fra et andet forsøg (AAB201) er vist i bilag D, hvortil der henvises.



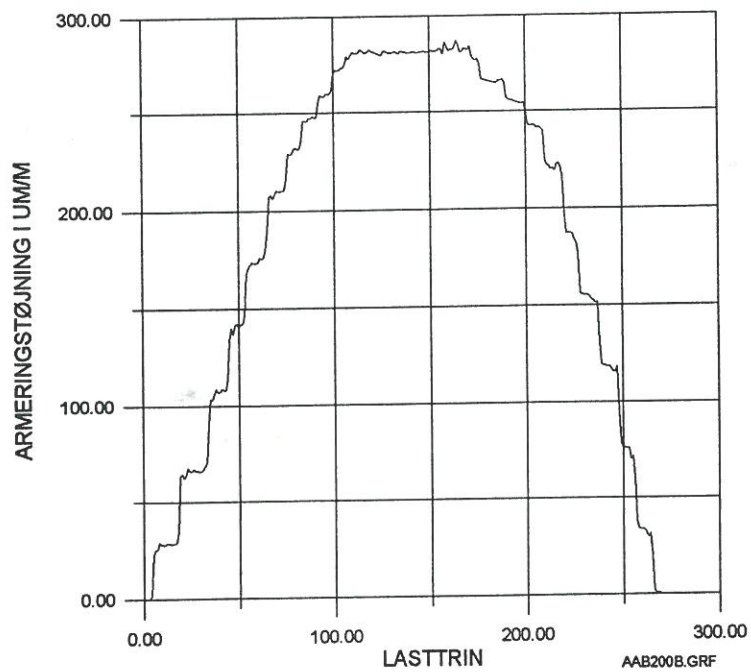
Figur 3.2.1 Forsøgspersoner før påvirkning på tribunelement



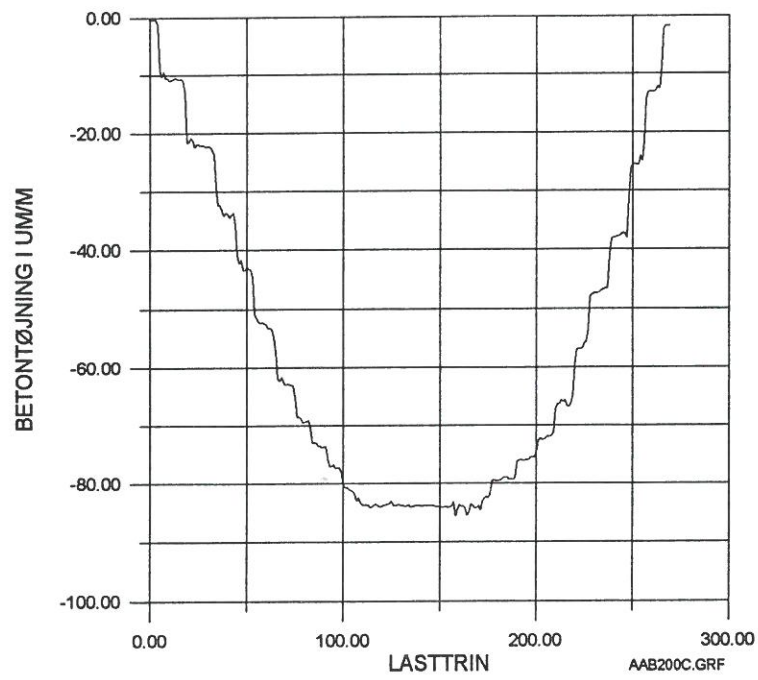
Figur 3.2.2 Forsøgspersoner på tribunelement



Figur 3.2.3 Lodret flytning som funktion af lasttrin (personlast)



Figur 3.2.4 Armeringstøjning som funktion af lasttrin (personlast)



Figur 3.2.5 **Betontøjning som funktion af lasttrin (personlast)**

3.3 Dynamiske forsøg med ubelastet tribuneelement

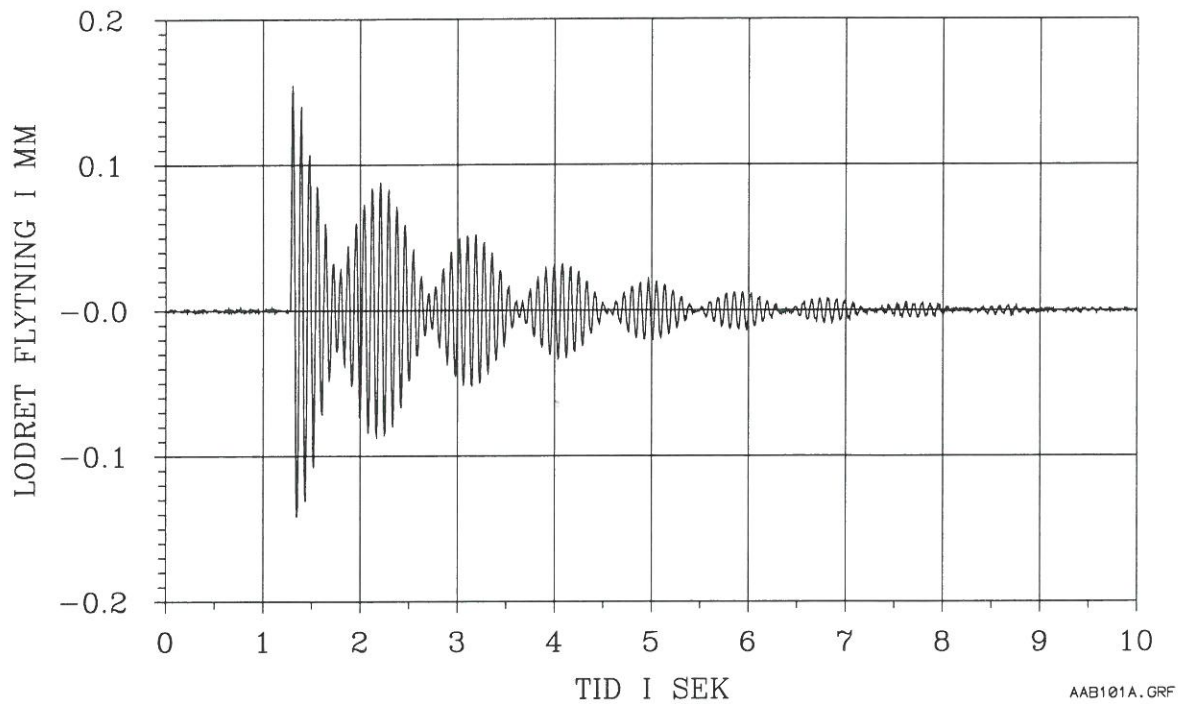
Før de egentlige dynamiske forsøg med hoppende personlast blev der foretaget en mindre dynamisk undersøgelse af elementet, idet det blev påvirket af en såkaldt impulsbelastning, som er en meget kortvarig belastning. I dette tilfælde blev impulsbelastningen blot frembragt ved et lille slag med en hammer med forholdvist blødt hoved. Angrebepunktet var omkring bjælkemidten. Den lille impuls er dog tilstrækkelig til at sætte tribuneelementet i svingninger og de anvendte transducere er tilstrækkeligt fintfølede til at registrere påvirkningen. Udover tribuneelementets egenvægt var denne lille impulsbelastning eneste påvirkning på elementet.

Svingningen hidrørende fra impulsen vil på grund af dæmpning i tribuneelementet og i lejerne ret hurtigt dæmpe ud (5 - 10 sekunder).

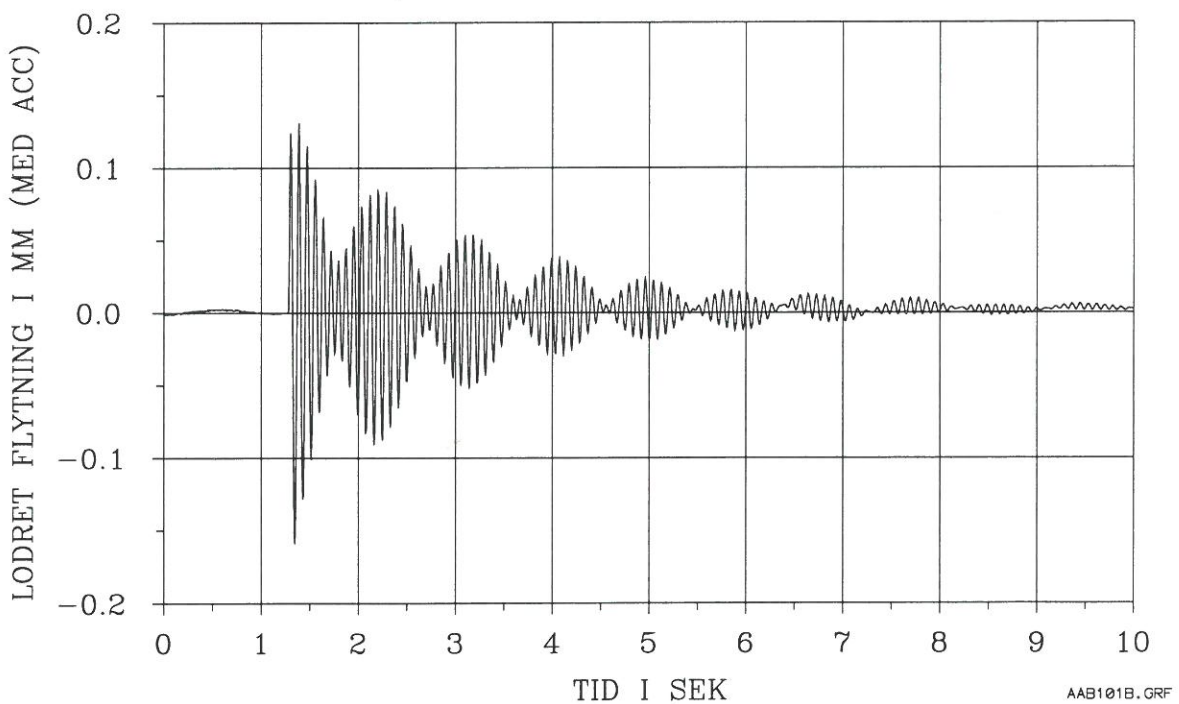
Ved forsøg af denne type er benyttet de samme 3 transducere som blev omtalt i afsnit 3.2 ved de statiske forsøg med personlast. Herudover er 2 accelerometre tilsluttet, men kun målingerne fra det accelerometer, som er placeret ved tribuneelementets midte, er medtaget her. Det målesignal, som accelerometret måler, er et accelerationssignal, men der er mulighed for med den anvendte ladningsforstærker at få dette accelerationssignal analogt integreret 2 gange således, at der fås et analogt flytningssignal. Det er dette flytningssignal, som er benyttet, og det er på kurverne anført som "flytning (med acc.)". Det er ikke muligt med den anvendte ladningsforstærker at tidsintegrere ved frekvenser lavere end ca. 1 Hz. De angivne flytningskurver målt på grundlag af accelerometermålingerne bør derfor tages med nogen forbehold. De er dog medtaget i rapporten og i bilagene for fuldstændighedens skyld.

De i det følgende viste kurver udviser endvidere et specielt fænomen, som kort skal omtales. Fænomenet benævnes "beat-fænomenet", uden at det dog har noget med musik at gøre. I bilag F er givet en kort redegørelse for fænomenet, som optræder, når to svingninger med tætliggende frekvenser superponeres, og giver anledning til en meget speciel svingningsform. Når den før omtalte dæmpning tilføjes fås præcis en kurveform svarende til den, der er bestemt ved disse forsøg . At der er tale om to tætliggende frekvenser, ses af figur 3.3.5, som viser en frekvensanalyse af flytningssignalet fra flytningstransduceren, og hvor der tydeligt kan konstateres to spidser ved ca. 11,2 Hz og ca. 12,4 Hz. Forklaringen herpå kan være, at tribuneelementet i virkeligheden består af to bjælker (de to kroppe med tilhørende overplade) med lidt forskellige masser og forskellige stivhedsegenskaber.

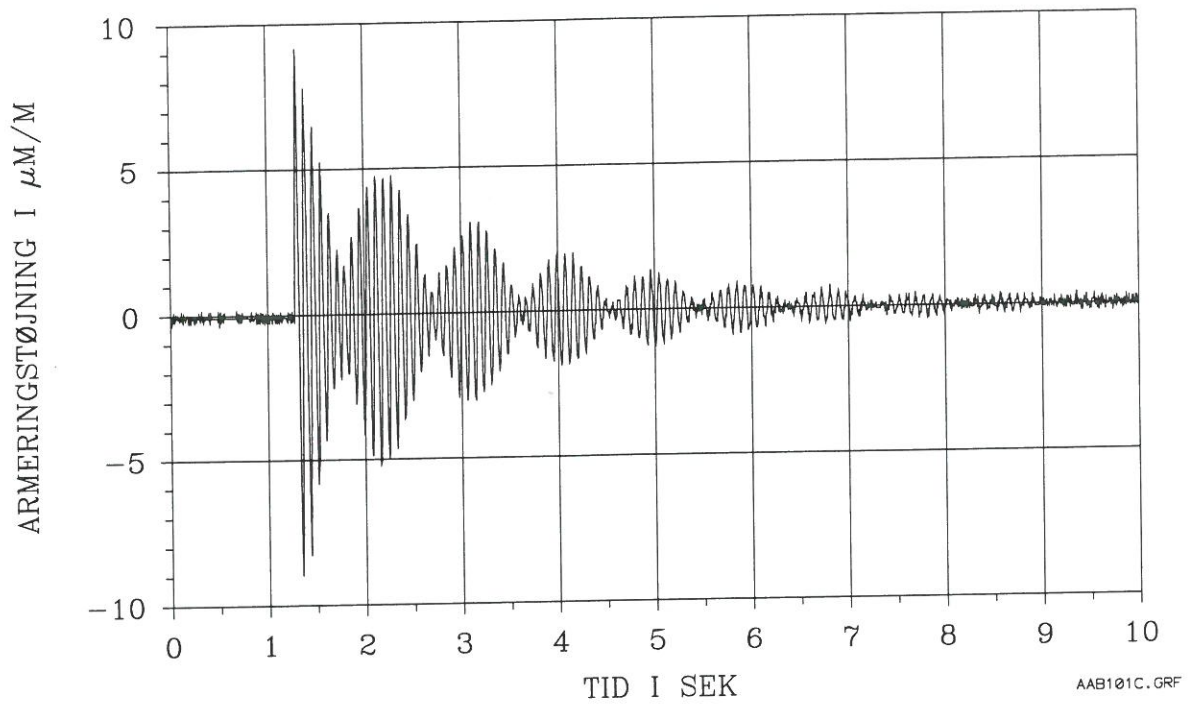
Tribuneelementets 1. egenfrekvens kan således i denne tilstand bestemmes til ca. 11,8 Hz, som er middeltallet mellem de to ovenfor anførte værdier.



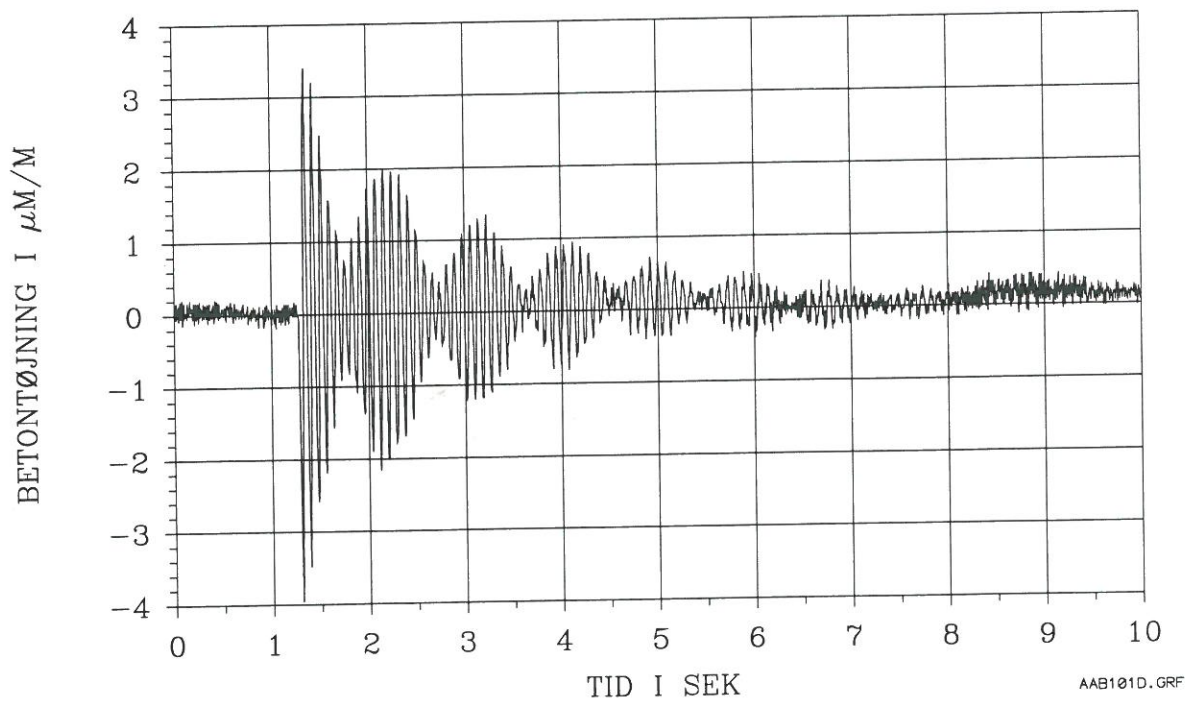
Figur 3.3.1 Lodret flytning for lille impulsbelastning bestemt med induktiv flytningstransducer



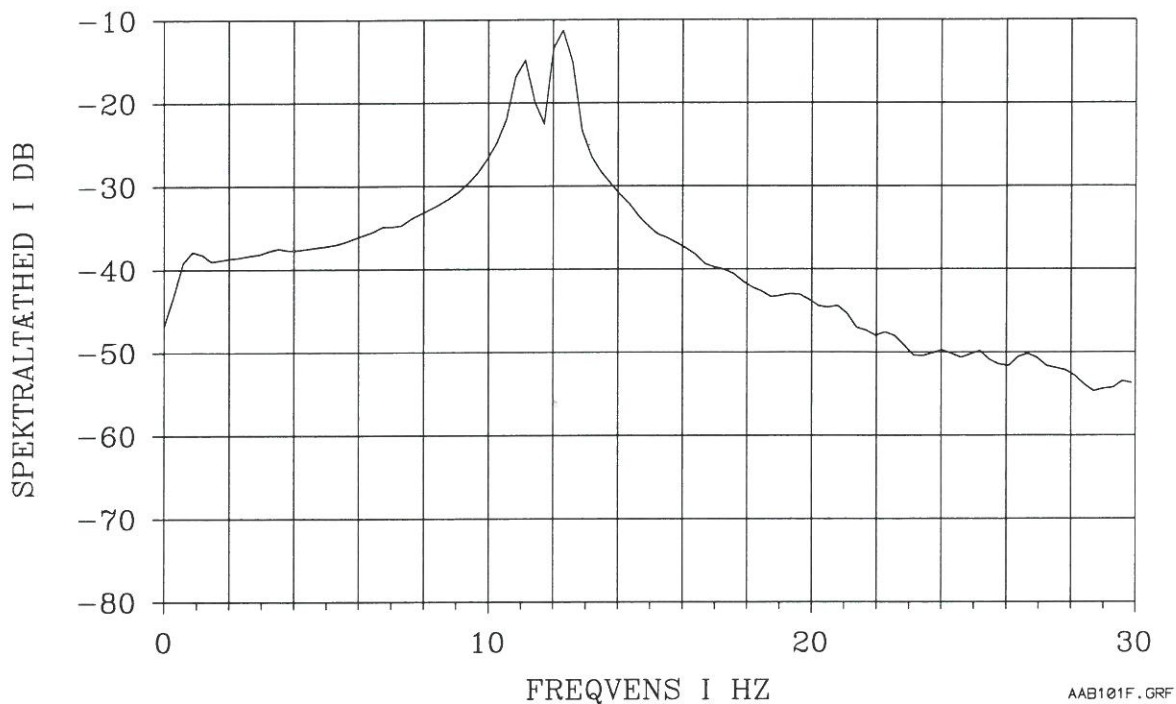
Figur 3.3.2 Lodret flytning for lille impulsbelastning bestemt ved tidsintegration af accelerationssignal



Figur 3.3.3 Armeringstøjning for lille impulsbelastning



Figur 3.3.4 Betontøjning i overside for lille impulsbelastning



Figur 3.3.5 Spektraltæthed for lodret flytning for impulsbelastning bestemt ved induktiv flytningstransducer

3.4 Dynamiske forsøg med tribuneelement belastet med personlast

I dette afsnit skal beskrives to typer forsøg, som blev udført med de 12 forsøgspersoner på tribuneelementet.

3.4.1 Impulsbelastning på belastet tribuneelement

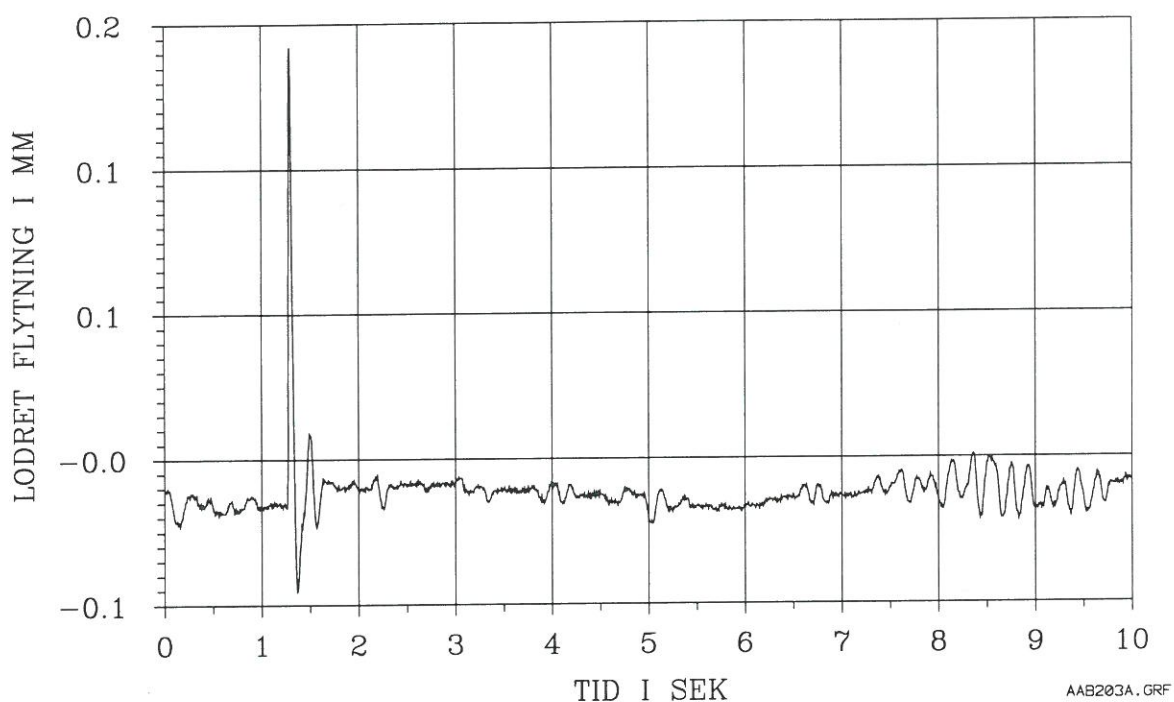
I den første type forsøg blev de 12 forsøgspersoner placeret på tribuneelementet og forholdt sig der i ro. Der blev herefter påført en lille impulsbelastning, således som det er beskrevet i foregående afsnit. Forskellen er blot, at der nu er 12 forsøgspersoner på tribuneelementet, hvilket giver en ændring i

- * den medsvingende masse
- * stivhedsforholdene
- * dæmpningsegenskaberne

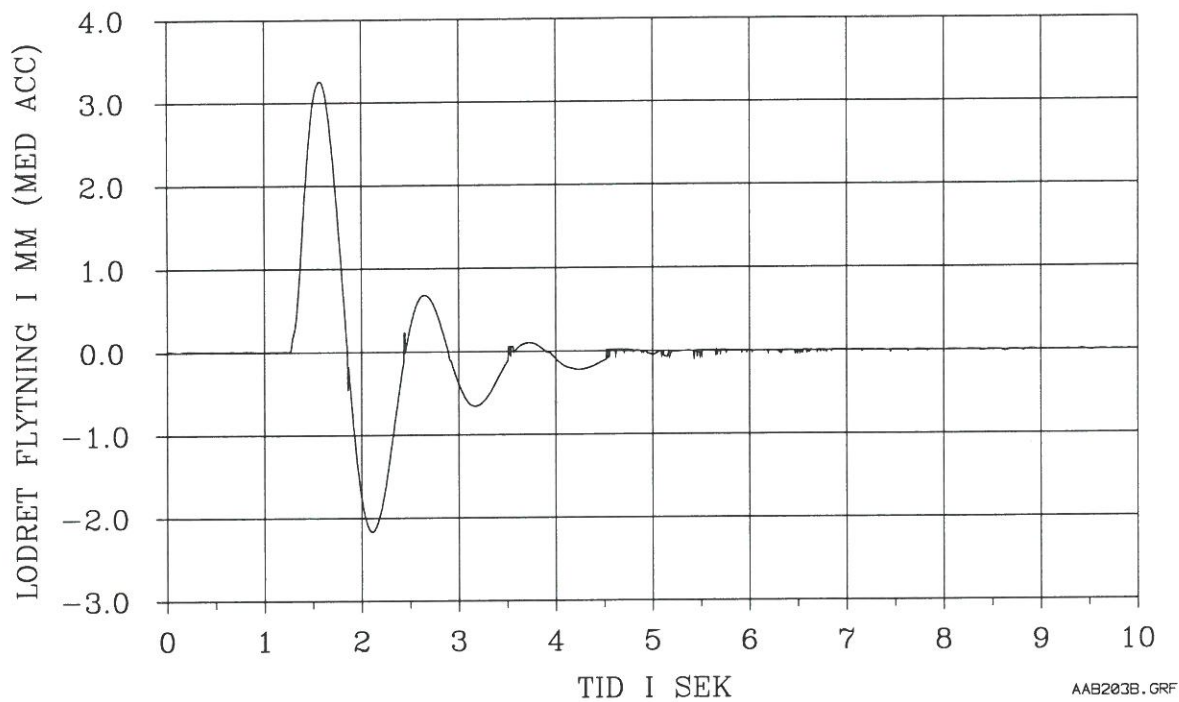
Ovennævnte 3 faktorer forårsager således en ændring af tribuneelementets egenfrekvenser og udklingningskurver efter impulsbelastningen, hvilket også klart fremgår af de efterfølgende 5 kurver, som klart adskiller sig fra de afsnit 3.3 viste.

Tribuneelementets 1. egenfrekvens kan bestemmes (med en del usikkerhed) af figur 3.4.1. Frekvensspidserne er ikke særligt udtalte, hvilket bl.a. skyldes den store dæmpning i dette tilfælde. En skøn for for tribuneelementets 1. egenfrekvens kan bestemmes som middeltallet mellem de to frekvensspidser, som er ca. 5 Hz og ca. 9 Hz, altså et middeltal på ca. 7 Hz, som er væsentligt lavere end det, der blev bestemt i afsnit 3.3.

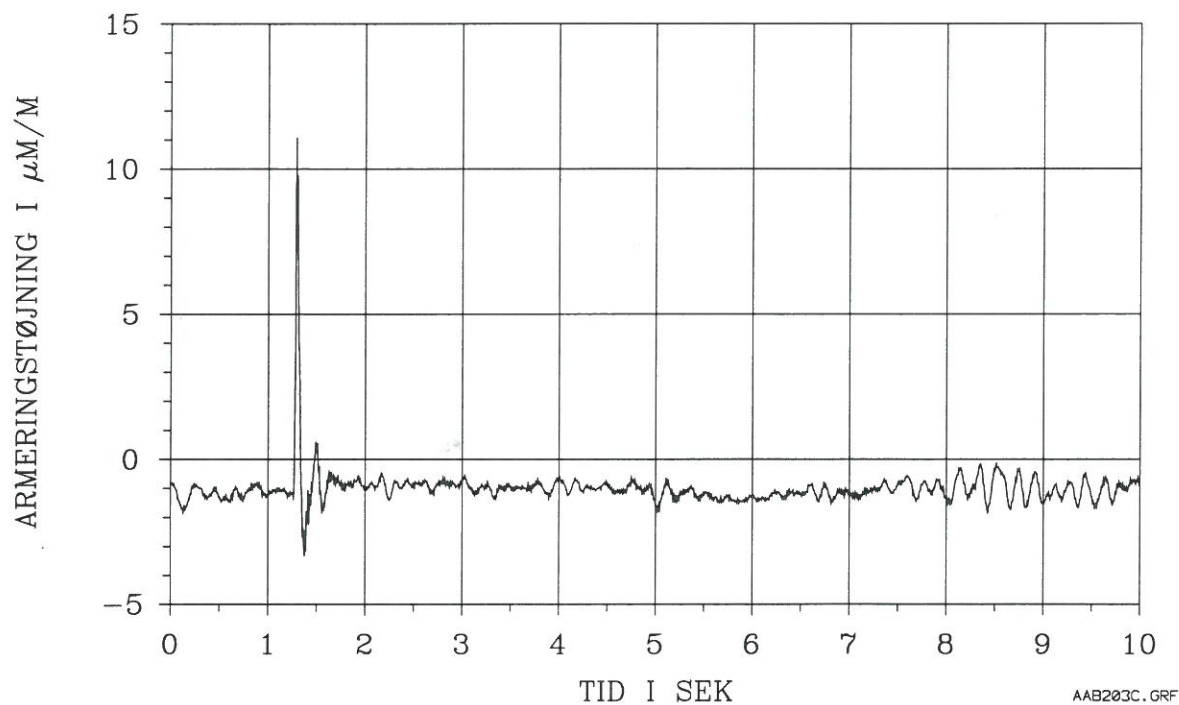
Udgangssituationen for de følgende kurver er den statiske ligevægtsstilling svarende til tribuneelementets egenvægt og de 12 forsøgspersoners egenvægt.



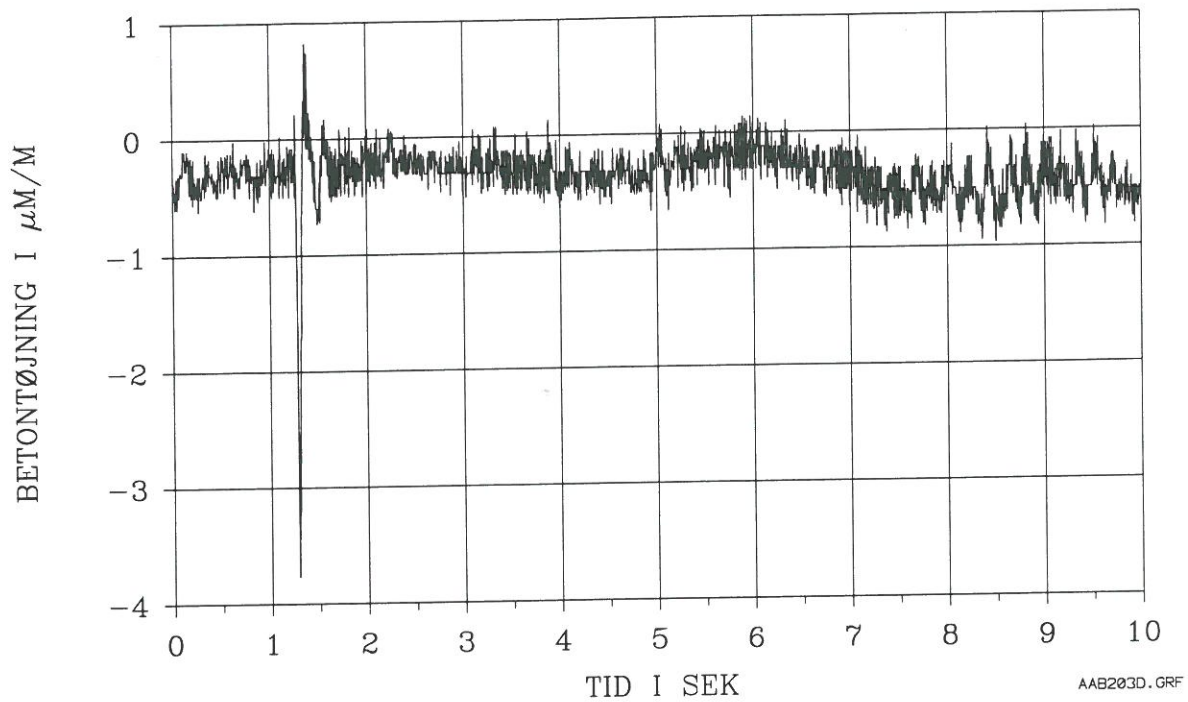
Figur 3.4.1 Lodret flytning for lille impulsbelastning bestemt ved induktiv flytningstransducer (12 personer på tribunelement)



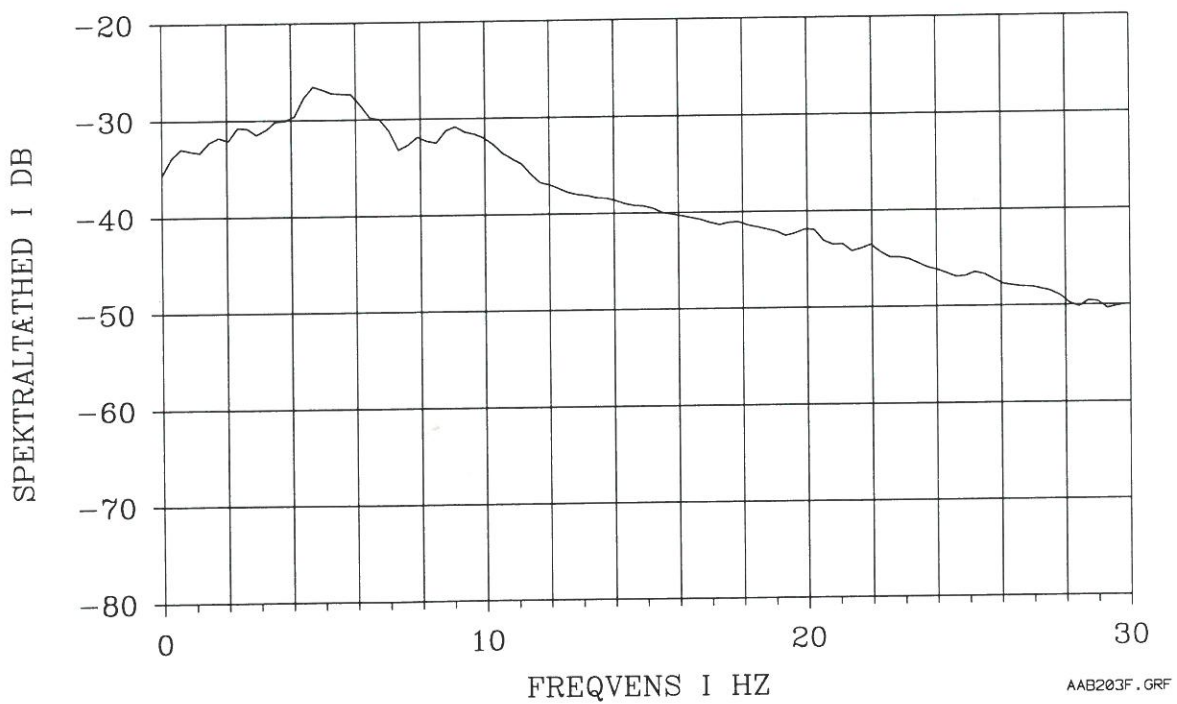
Figur 3.4.2 Lodret flytning for lille impulsbelastning bestemt ved tidsintegration af accelerationssignal (12 personer på tribuneelement)



Figur 3.4.3 Armeringstøjning for lille impulsbelastning (12 personer på tribunelement)



Figur 3.4.4 Betontøjning i overside for lille impulsbelastning (12 personer på tribunelement)



Figur 3.4.5 Spektraltæthed for lodret flytning for impulsbelastning bestemt ved induktiv flytningstransducer (12 personer på tribunelement)

3.4.2 Hoppende personlast på tribuneelement

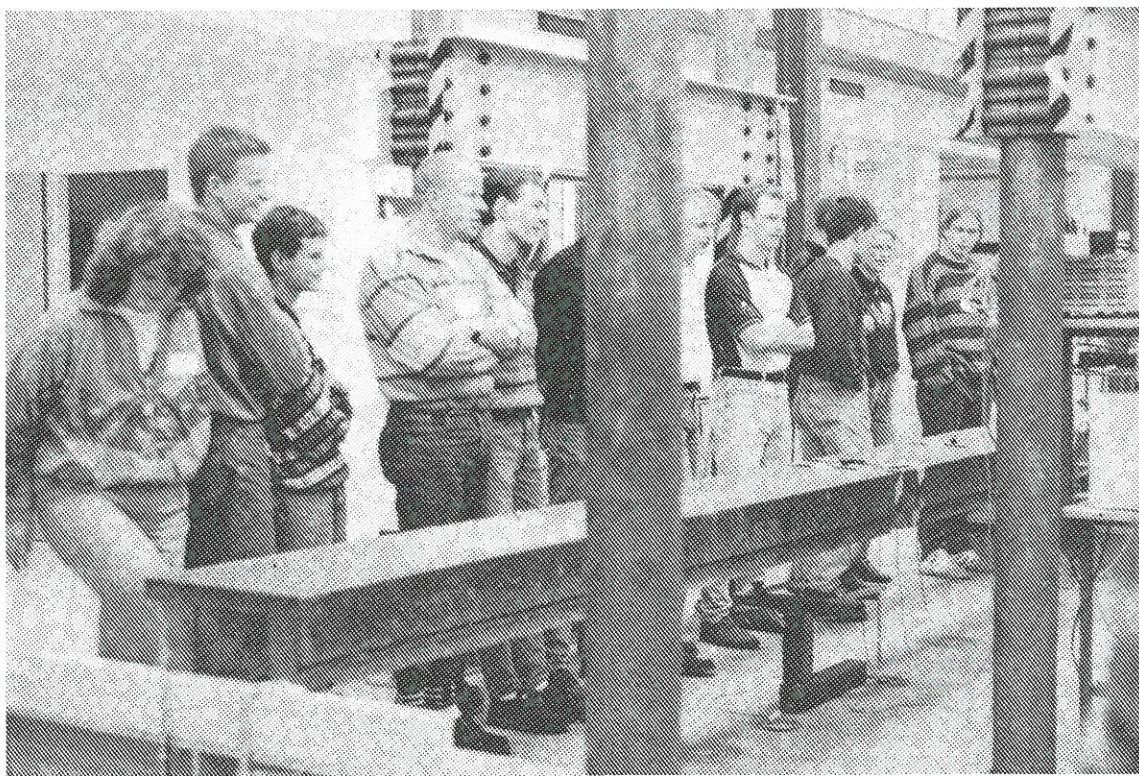
I dette vigtige afsnit skal forsøgene med hoppende personer på tribuneelementet beskrives.

Der er udført i alt 10 forsøg med hoppende personer, nemlig 5 forsøg, hvor personerne hopper i takt og 5 forsøg, hvor personerne hopper i utakt. De 5 forsøg i hver gruppe blev udført med henholdsvis 3,5,7,9 og 12 hoppende personer.

Forsøgene blev udført på den måde, at personerne stillede sig op på tribuneelementet og stod stille. Dette er *udgangssituationen* for målingerne, som altså ikke inkluderer tribuneelementets egenvægt og vægten af forsøgspersonerne. Bidraget herfra kan bestemmes ud fra afsnit 3.2. Som en af forsøgspersonerne deltog Christian Bak fra AAB's support klub, og han instruerede de øvrige forsøgspersoner i, hvorledes hopningen skulle foregå. I den forbindelse kan det nævnes, at det var simpelt at få forsøgspersonerne til at hoppe i takt - når først man var i rytmen, gik det af sig selv. Det var vanskeligere at hoppe i utakt, idet det virkede mere unaturligt.

På et givet signal blev forsøgspersonerne så bedt om at hoppe og målingen blev iværksat. Der blev målt i 10 sekunder pr. forsøg og der blev dataopsamlet med 150 Hz.

Et billede af hele forsøgsholdet "før kampen" er vist i figur 3.4.6.



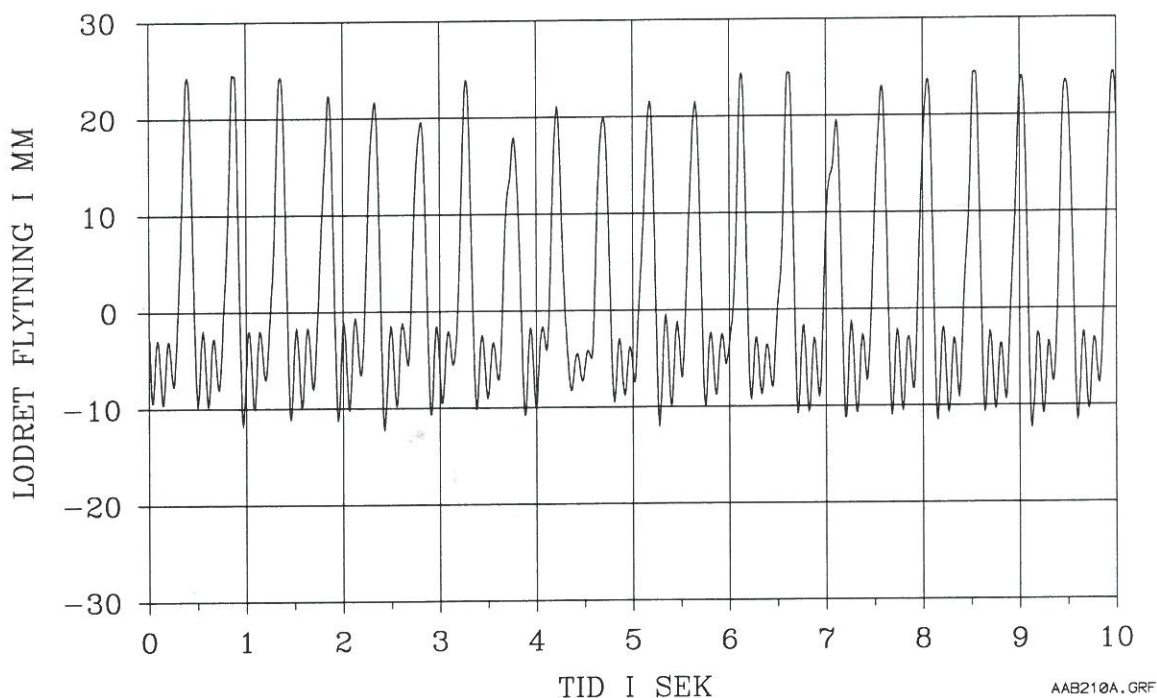
Figur 3.4.6 Forsøgspersoner til hoppeforsøg på tribuneelement

I det følgende er resultaterne vist for de tilfælde, hvor der er 9 hoppende forsøgspersoner på bjælken dels hoppende i takt og dels hoppende i utakt. Resultaterne for de øvrige 8 forsøg med hoppende forsøgspersoner er vist i bilag G til N, hvortil der henvises.

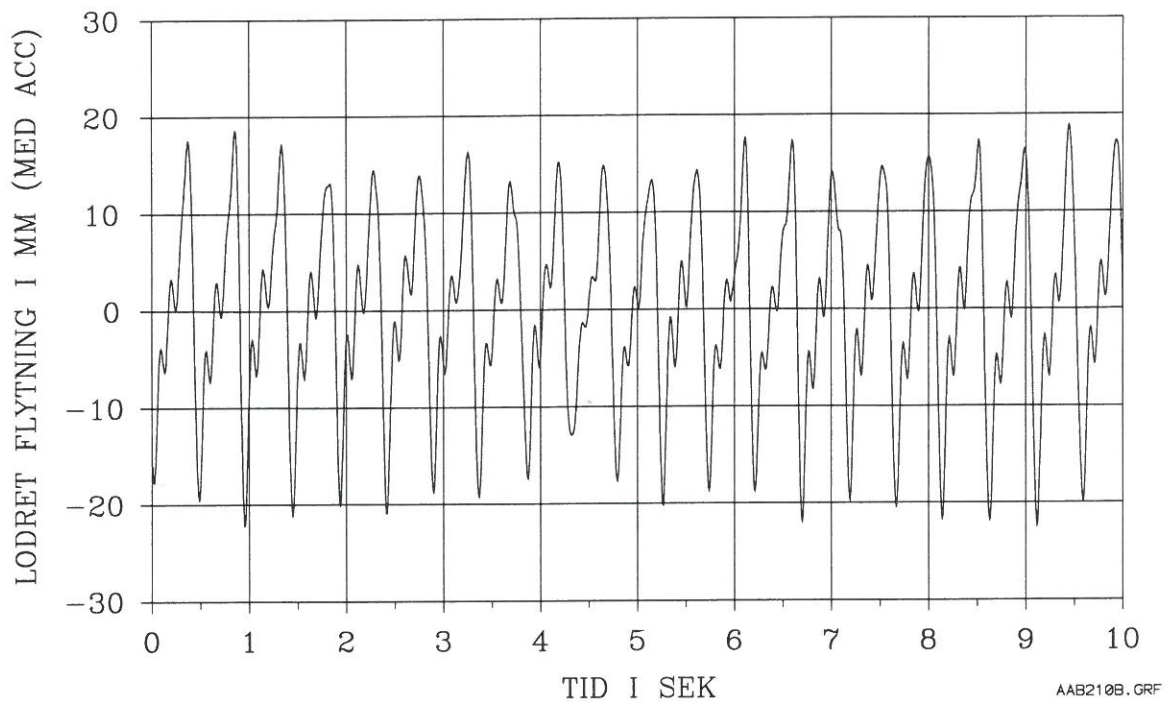
Målingerne blev udført på samme måde og med de samme transducere, som beskrevet i afsnit 3.3, hvortil der henvises. Som anført der, bør der ikke lægges for stor vægt på flytningsmålingen bestemt ved integration af accelerationssignalet, da nulpunktet for dette signal ikke er korrekt. Derimod vil kurvevidden, d.v.s. afstanden mellem maximum og minimum være mere korrekt og kan sammenlignes med den kurvevidde, som kan bestemmes ud fra målingerne med den induktive flytningstransducer.

For målingerne med de 12 hoppende forsøgspersoner i takt blev udsvingene meget store, hvilket kan ses af kurverne i bilag M. Flytningerne blev her så store, at den anvendte flytningstransducers måleområde blev overskredet, hvilket bl.a. kan ses af figur M.1, hvor det ses, at spidserne "ikke er så spidse", som ved tilsvarende kurver i de andre bilag. Der kan tilnærmet kompenseres for denne overskridelse af måleområdet, således som det er beskrevet i kapitel 4.

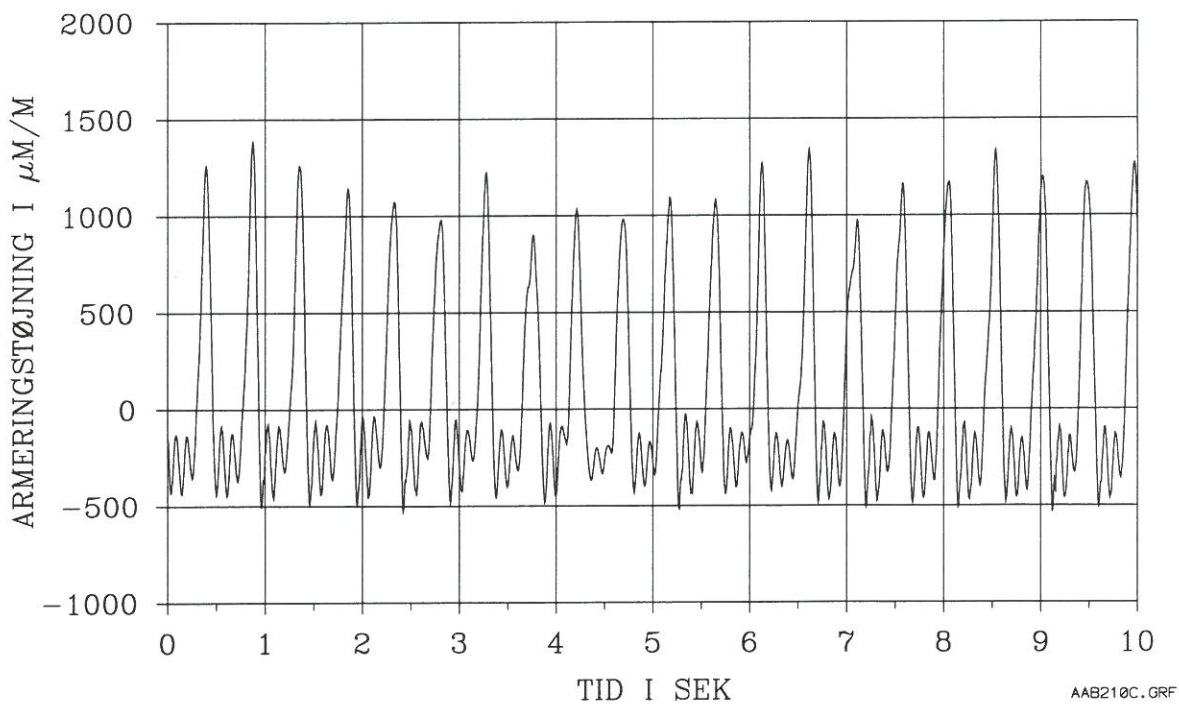
I det følgende er vist kurver for tidsforløbet af den lodrette flytning målt med den induktive flytningstransducer, den lodrette flytning bestemt ud fra accelerometersignalet (og som bør tages med forbehold), armeringstøjningen samt betontøjningen i oversiden. For tilfældet, hvor forsøgspersonerne hopper i takt er endvidere udført en spektralanalyse af flytningssignalet fra den induktive flytningstransducer. Det ses, at formen på kurverne med den induktive flytningstransducer, armeringstøjningen og betontøjningen har samme form, hvorimod flytningen bestemt ud fra accelerometersignalet afviger herfra.



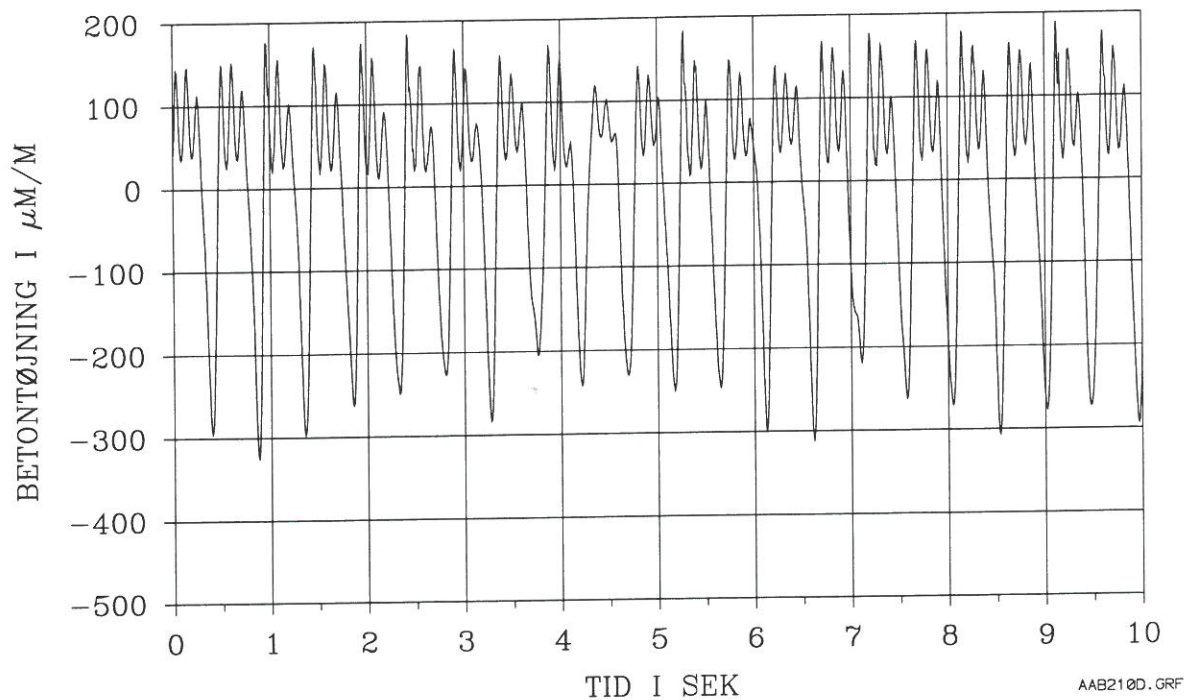
Figur 3.4.7 Lodret flytning bestemt med induktiv flytningstransducer for 9 personer hoppende i takt



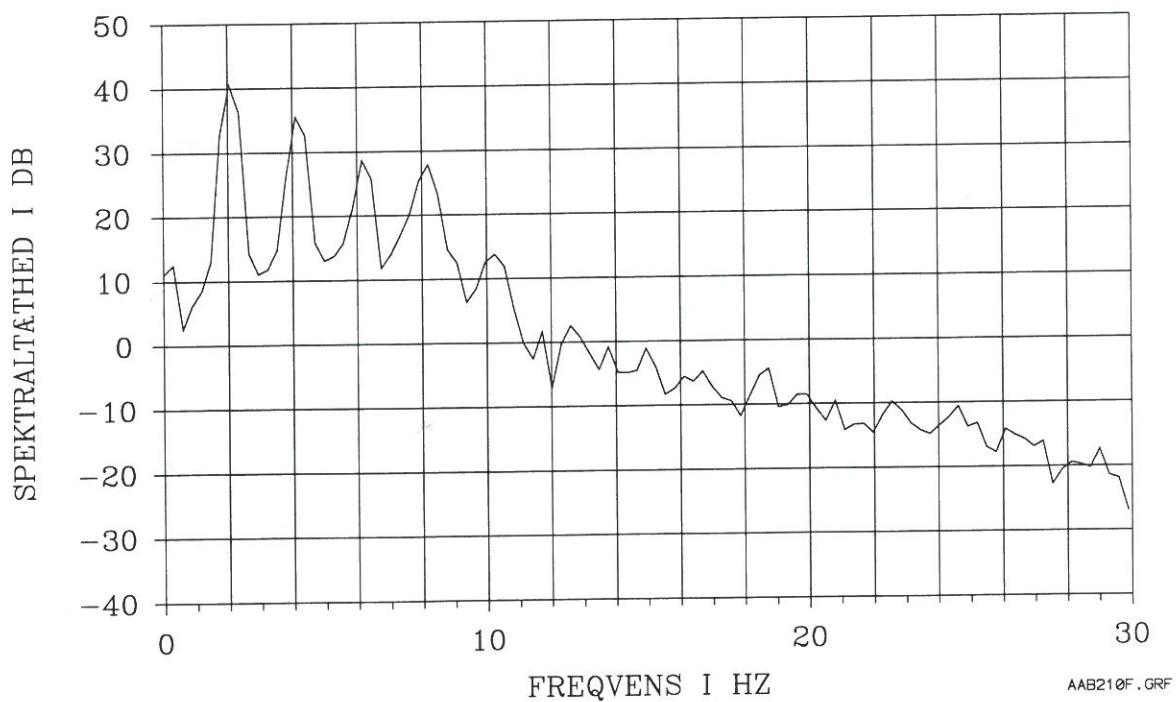
Figur 3.4.8 Lodret flytning bestemt ud fra accelerationssignal for 9 personer hoppende i takt



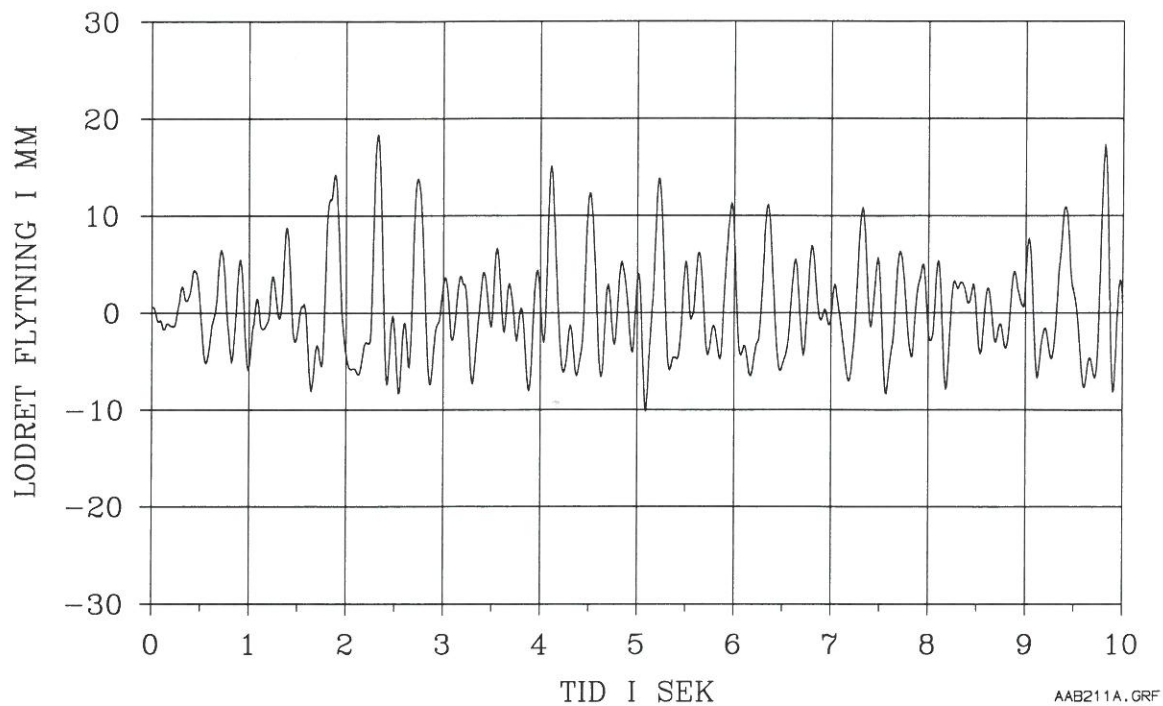
Figur 3.4.9 Armeringstøjning for 9 personer hoppende i takt



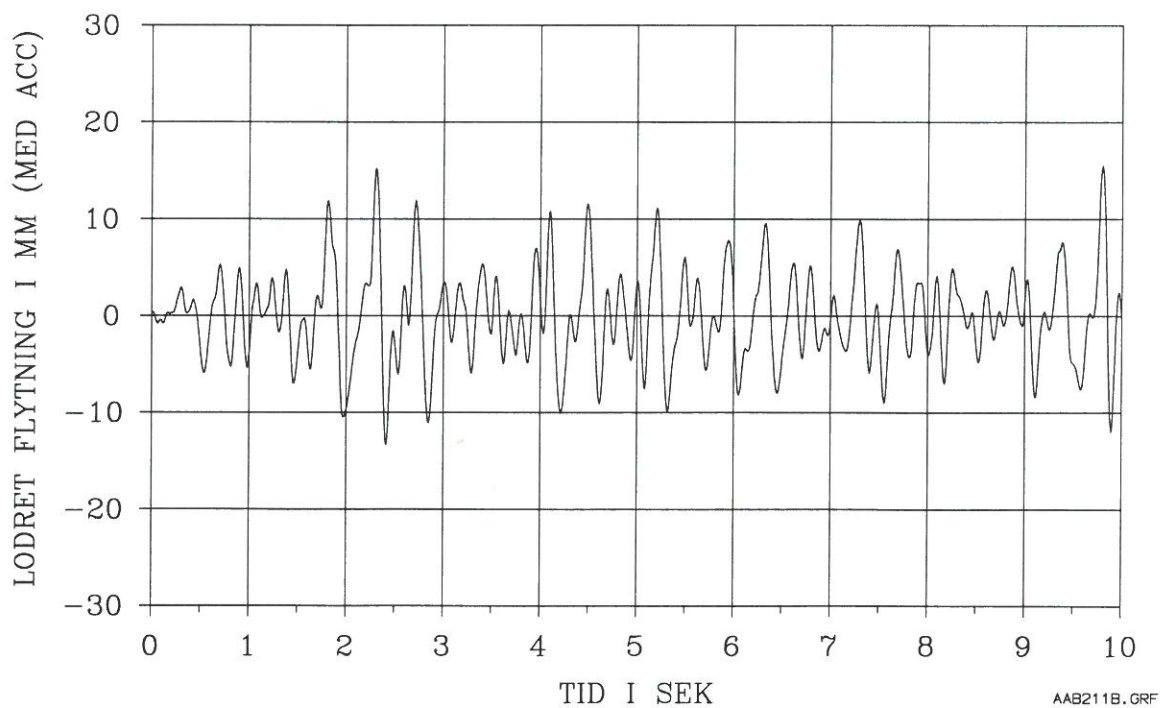
Figur 3.4.10 Betontøjning i overside for 9 personer hoppende i takt



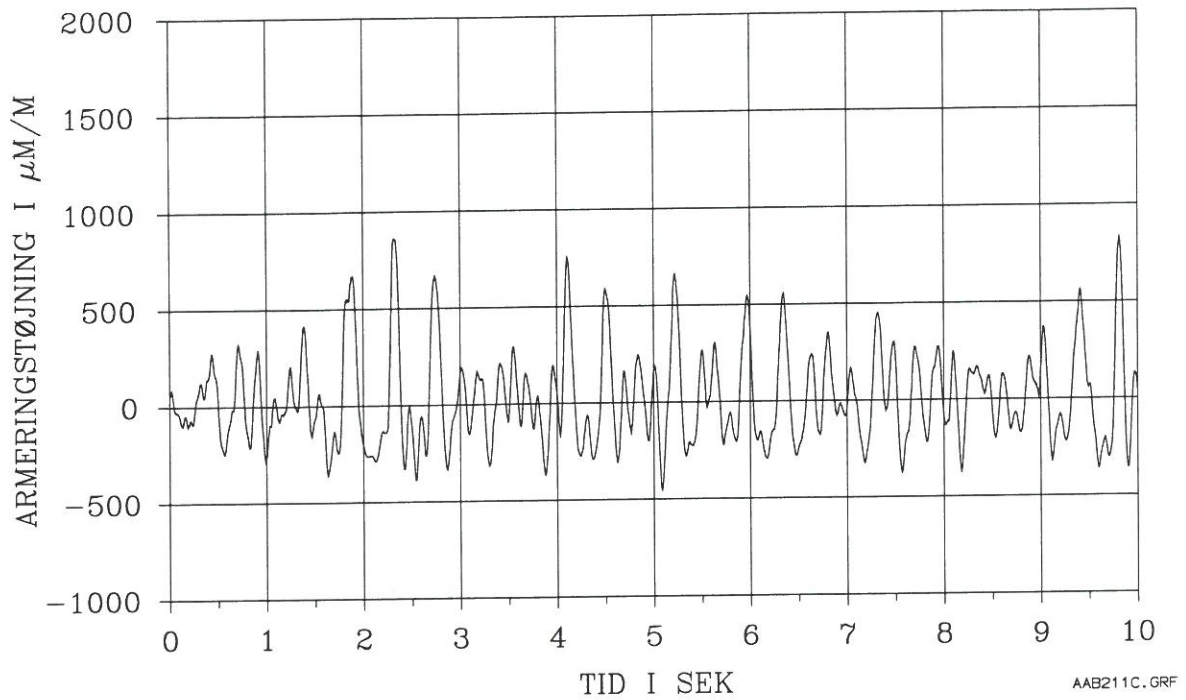
Figur 3.4.11 Spektraltæthed for lodret flytning målt med induktiv flytningstransdcer for 9 personer hoppende i takt



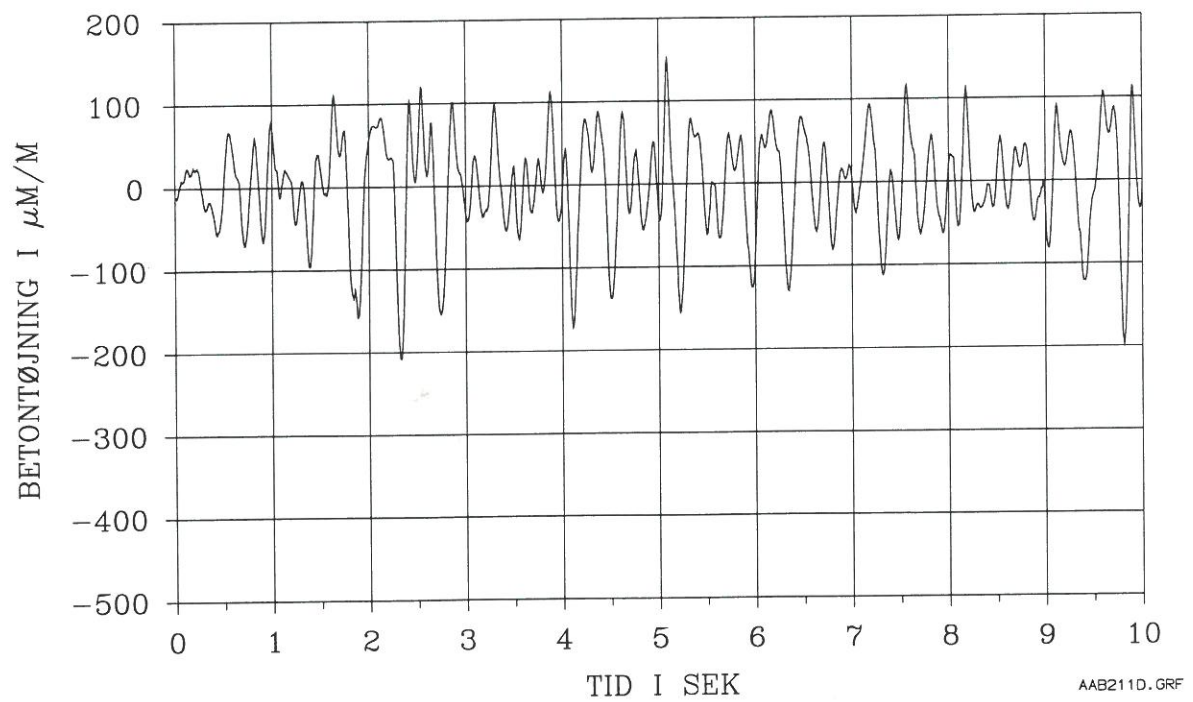
Figur 3.4.12 Lodret flytning bestemt med induktiv flytningstransducer for 9 personer hoppende i utakt



Figur 3.4.13 Lodret flytning bestemt udfra accelerationssignal for 9 personer hoppende i utakt



Figur 3.4.14 Armeringstøjning for 9 personer hoppende i utakt



Figur 3.4.15 Betontøjning i overside for 9 personer hoppende i utakt

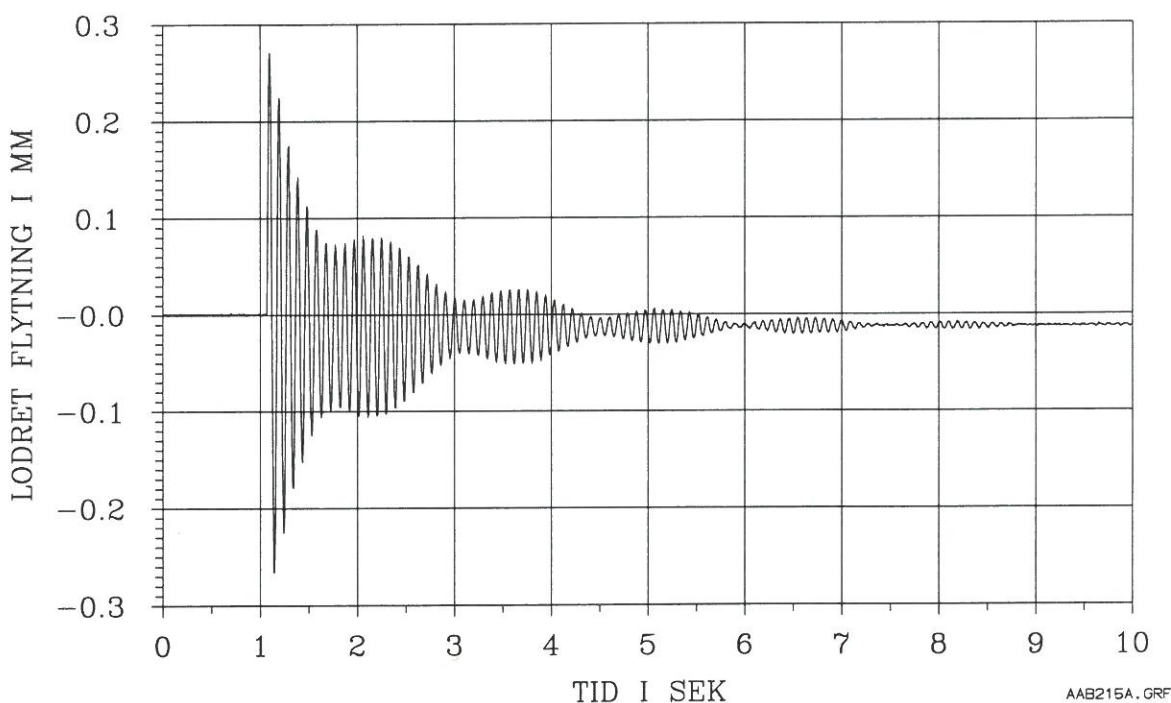
3.5 Dynamisk forsøg med ubelastet tribuneelement efter at dette har været udsat for hoppende personer

På tilsvarende måde, som beskrevet i afsnit 3.3 blev tribuneelementet udsat for en lille impulsbelastning efter at de 12 forsøgspersoner havde hoppet på elementet, se afsnit 3.4.2.

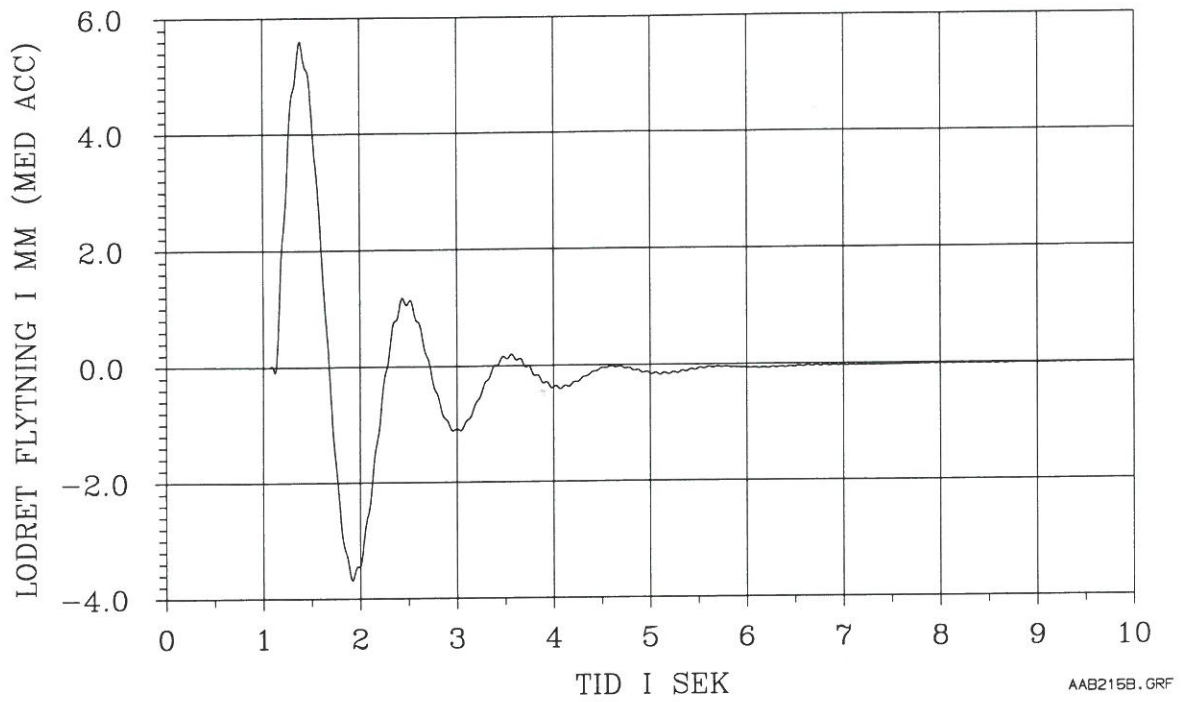
Instrumenteringen og bemærkningerne til dette forsøg er som beskrevet i afsnit 3.3.

Af figur 3.5.5 ses, at frekvensspidserne ligger ved lidt lavere frekvenser end i figur 3.3.5 og, at det nu er den laveste frekvens, som har den største værdi. Den laveste frekvens er ca. 10,5 Hz og den højeste ca. 11,5 Hz, hvilket giver et middeltal på ca. 11,0 Hz. Der anes en mindre frekvensspids ved ca. 1 Hz.

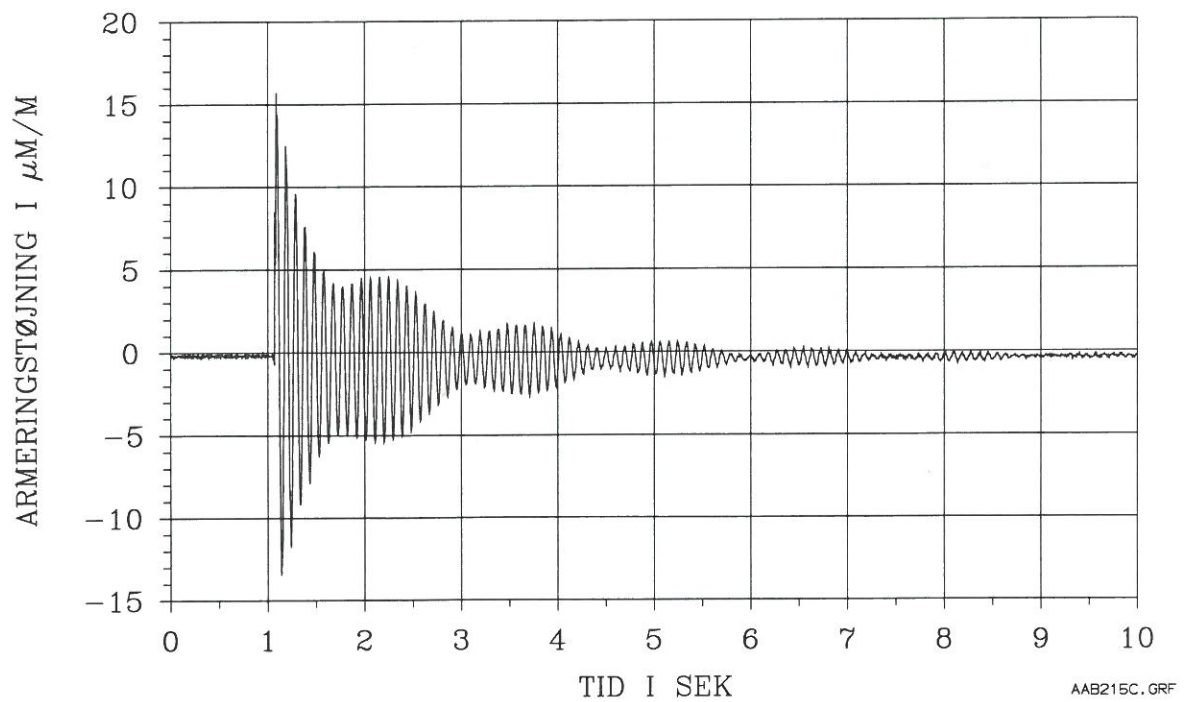
Den lodrette flytning i figur 3.5.2, som er den der er bestemt på grundlag af accelerometeret adskiller sig markant fra de øvrige kurver, og bør ikke tillægges for stor betydning.



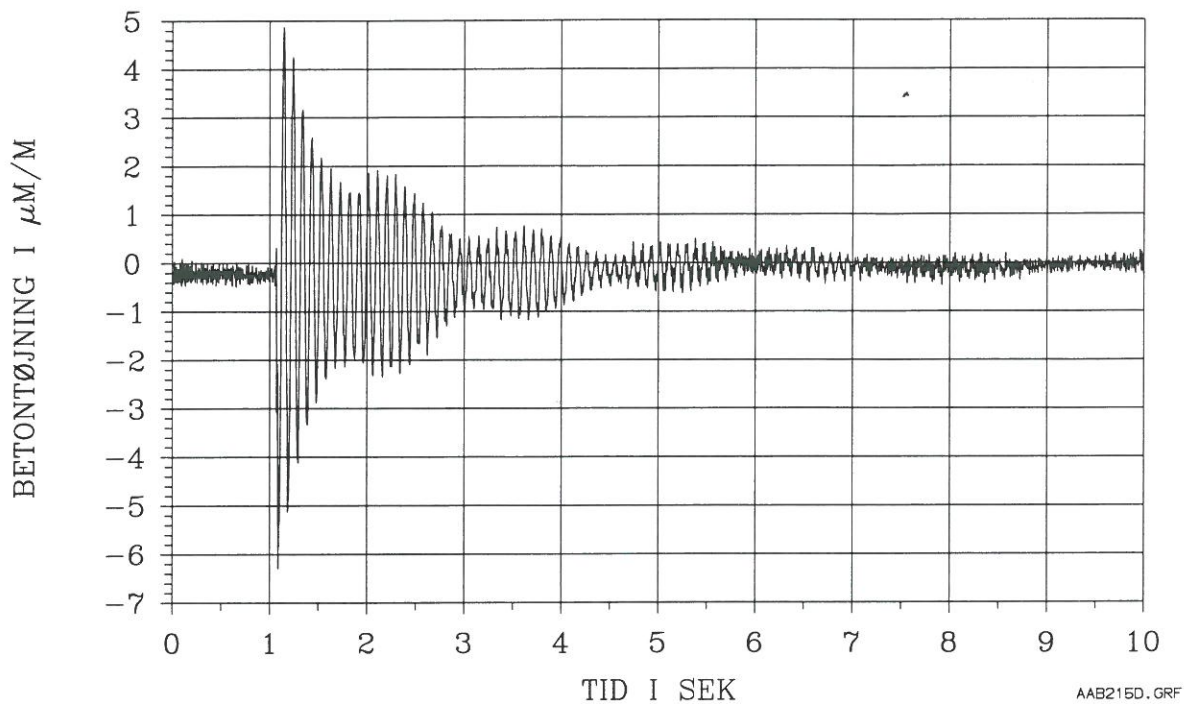
Figur 3.5.1 Lodret flytning for lille impulsbelastning bestemt med induktiv flytningstransducer



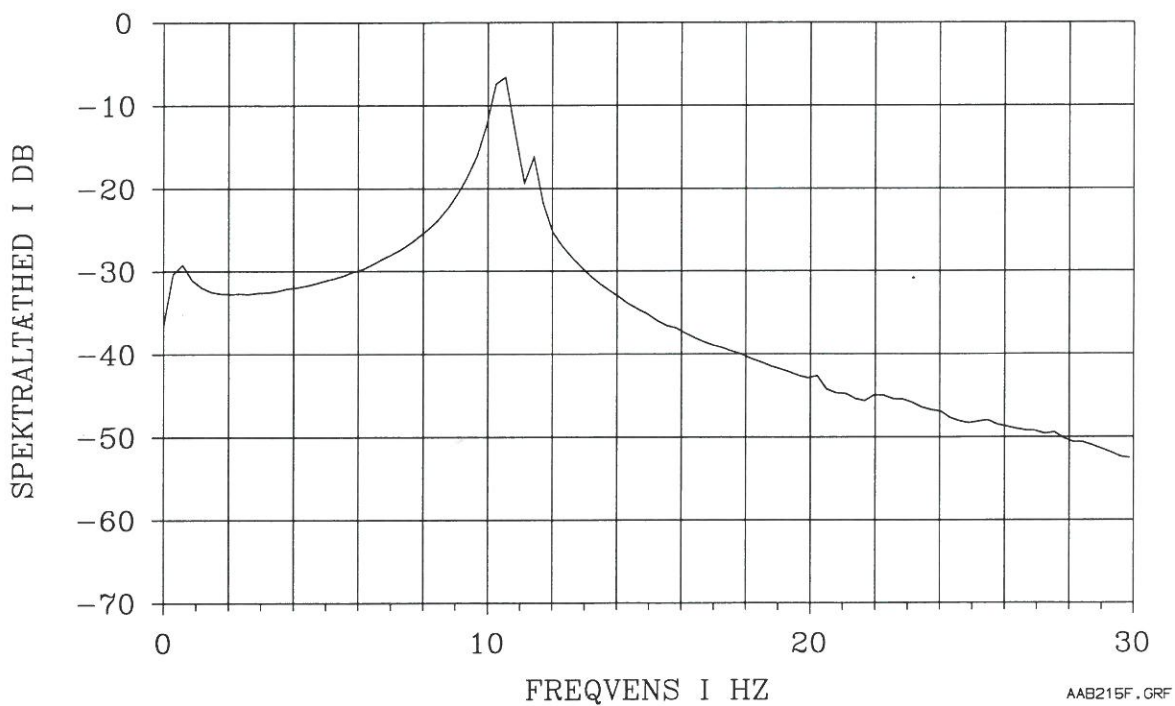
Figur 3.5.2 Lodret flytning for lille impulsbelastning bestemt ved tidsintegration af accelerationssignal



Figur 3.5.3 Armeringstøjning for lille impulsbelastning



Figur 3.5.4 Betontøjning i overside for lille impulsbelastning



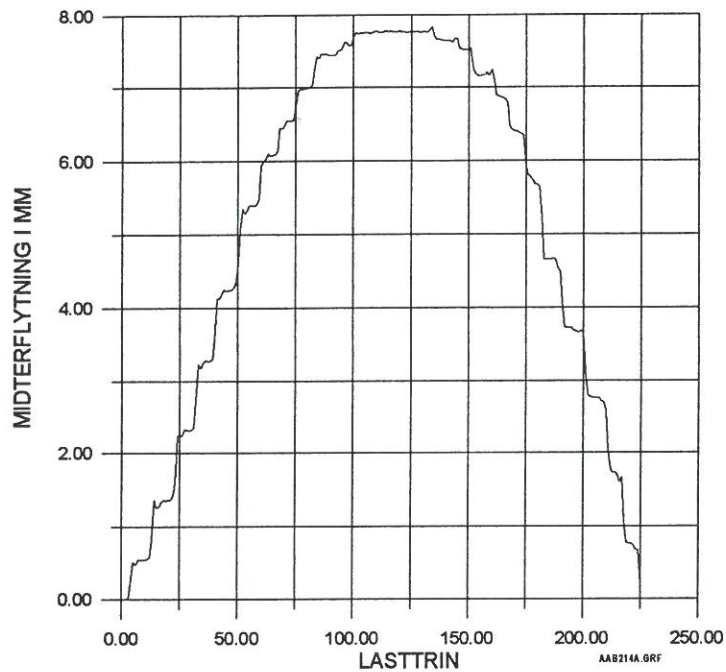
Figur 3.5.5 Spektraltæthed for lodret flytning for impulsbelastning bestemt ved induktiv flytningstransducer

3.6 Statiske forsøg med personlast efter dynamiske forsøg

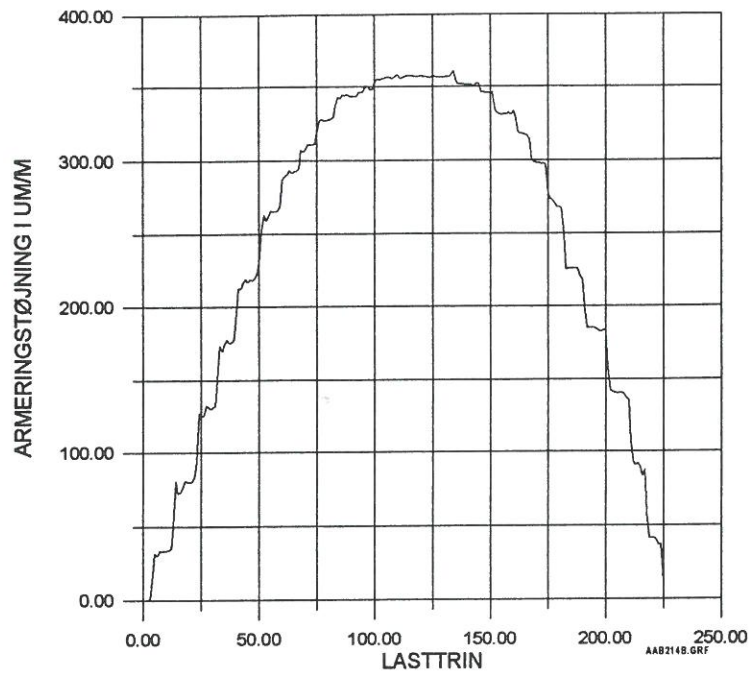
På tilsvarende måde som beskrevet i afsnit 3.2 er der udført 1 forsøg med belastning af tribuneelementet af de samme 12 forsøgspersoner.

De til dette forsøg anvendte transducere og dataopsamlingsudstyr er som beskrevet i afsnit 3.2, hvortil der henvises.

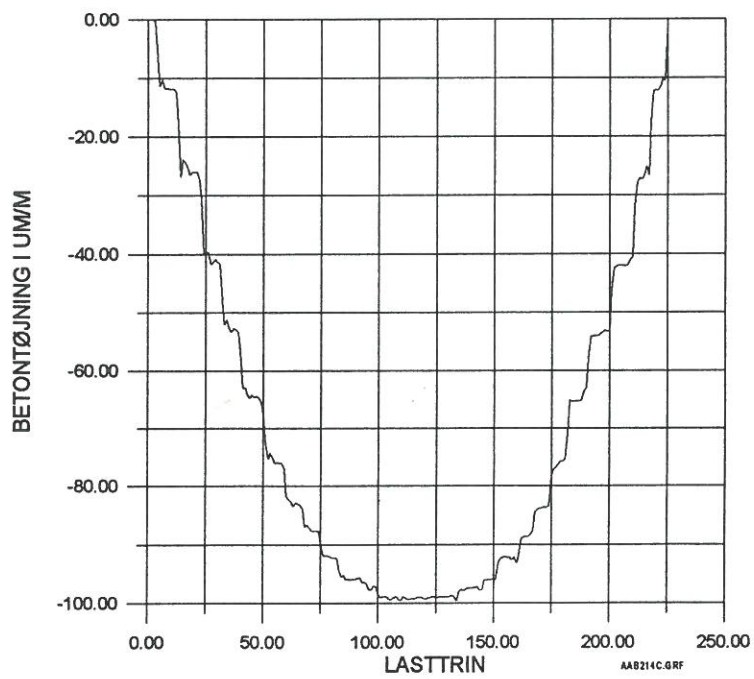
Resultaterne fra forsøget (AAB214) er vist i det følgende.



Figur 3.6.1 Lodret flytning som funktion af lasttrin (personlast)



Figur 3.6.2 **Armeringstøjning som funktion af lasttrin (personlast)**



Figur 3.6.3 **Betontøjning som funktion af lasttrin (personlast)**

3.7 Statiske forsøg med enkeltkraft på tribuneelement efter dynamiske forsøg

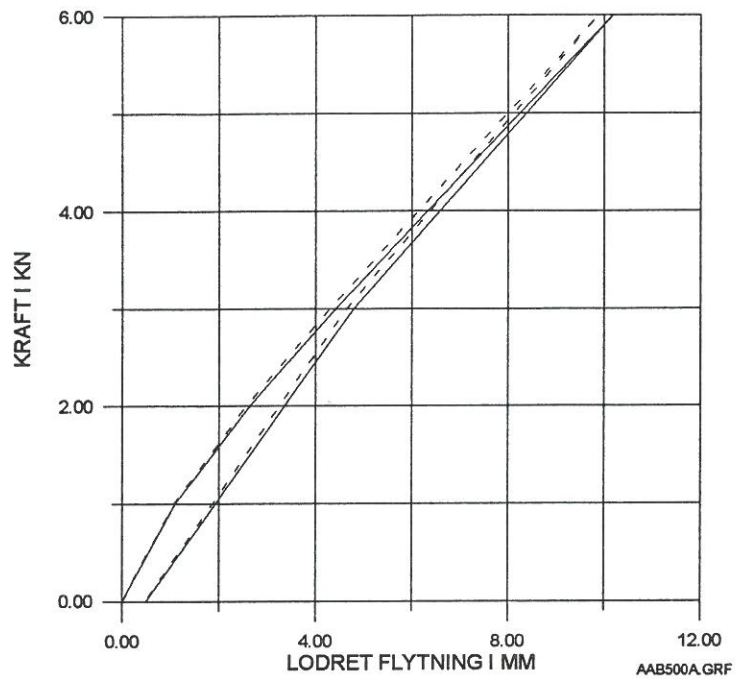
På tilsvarende måde som beskrevet i afsnit 3.1 er der udført statiske forsøg med en enkeltkraft som påvirkning ved bjælkemidten. Udgangssituationen var igen, at tribuneelementet kun var påvirket af sin egenvægt.

Der blev udført 2 forsøg, hvor resultaterne fra det første forsøg (AAB500) er vist i det følgende, mens resultatet fra det andet forsøg (AAB501) er vist i bilag E, hvortil der henvises. Som nævnt i afsnit 3.1 findes en fuldstændig udskrift af resultaterne. Disse er ikke medtaget i denne rapport, men opbevares hos VB. For kurverne gælder de samme signaturer, som benyttet i afsnit 3.1, hvortil der henvises.

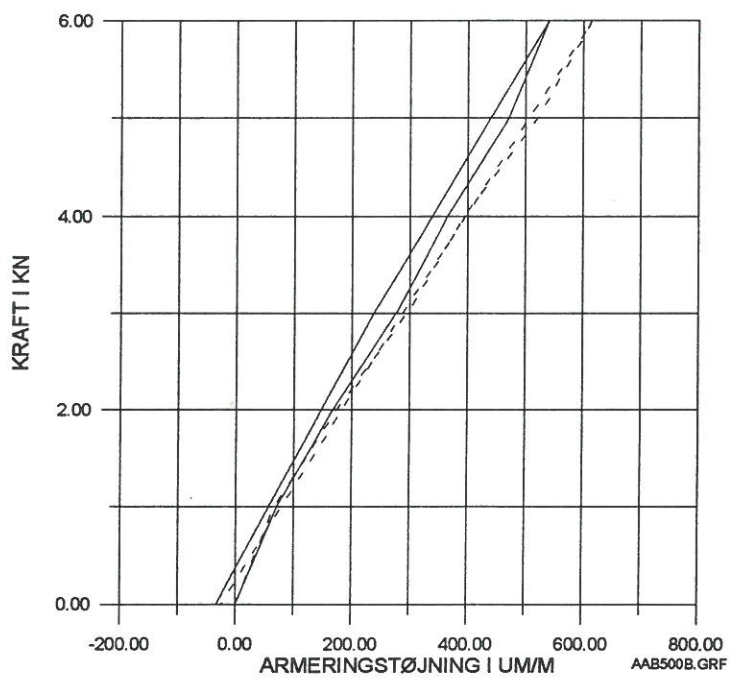
Udover de viste kurver er bøjningsstivheden EI af tribuneelementet bestemt ud fra sammenhængen mellem den lodrette enkeltkraft og de målte lodrette flytninger. Ved denne bestemmelse af bøjningsstivheden er gennemsnittet af de to målte lodrette flytninger benyttet. Bøjningsstivheden er bestemt på grundlag af sekanthældningen svarende til de anvendte lastniveauer, og det er ved beregningen forudsat, at bøjningsstivheden er konstant langs bjælkelængden. Resultaterne fremgår af tabel 3.7.1.

Lastniveauer i kN	EI i kNm ² for forsøg 1 (AAB500)	EI i kNm ² for forsøg 2 (AAB501)
0 - 1	3945	4258
0 - 2	3273	3486
0 - 3	2908	3015
0 - 4	2715	2857
0 - 5	2608	2719
0 - 6	2530	2639

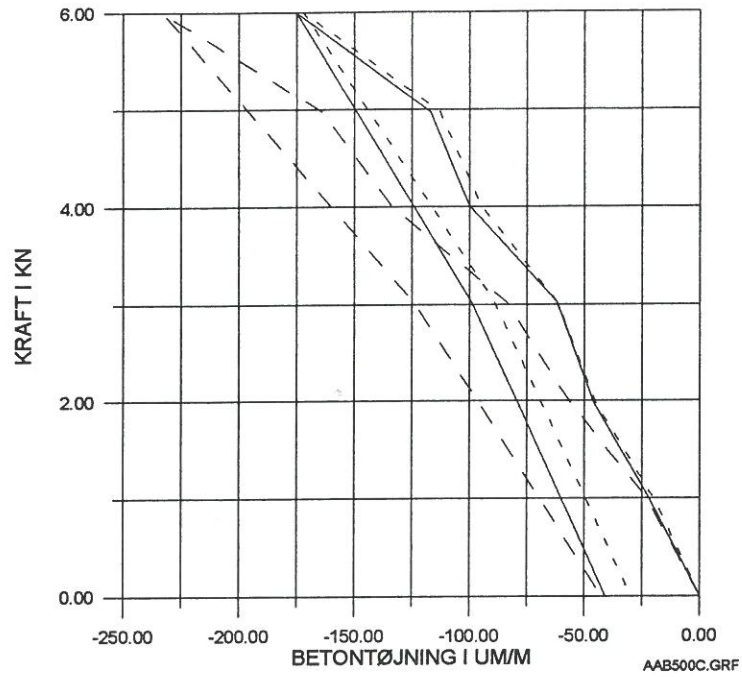
Tabel 3.7.1 Oversigt over bøjningsstivheder EI bestemt som sekanthældninger fra kurverne over påført kraft som funktion af lodret flytning



Figur 3.7.1 Påført enkeltkraft som funktion af lodrette flytninger



Figur 3.7.2 Påført enkeltkraft som funktion af tøjning i armering



Figur 3.7.3 Påført enkeltkraft som funktion af tøjninger i betonoverside

4. SAMMENFATNING

I dette kapitel skal gives en sammenfatning over de forsøg, som er udført med tribuneelementet fra Aalborg Stadion. Forsøgsresultaterne fremgår af kapitel 3 med tilhørende bilag.

4.1 Statiske forsøg med enkeltkraft ved midte af tribuneelement

Resultaterne fra disse forsøg er anført i afsnit 3.1 og 3.7 og omhandler forsøg henholdsvis før og efter de 12 forsøgspersoner hoppede på tribuneelementet.

De optegnede kurver kan benyttes til verifikation både af spændingsbestemmelsen af jernbetontværsnittet og til nedbøjningsbestemmelse i brugstilstanden.

I tabel 3.1.1 er anført nogle eksperimentelt bestemte bøjningsstivheder for situationen før de 12 forsøgspersoners hop på tribuneelementet og de tilsvarende værdier er vist i tabel 3.7.1 for situationen efter hop.

Af de to tabeller fremgår følgende:

- * Der er ikke større forskel på værdierne i tabel 3.1.1 ved de 3 forsøg før hop.
- * Der er ikke større forskel på værdierne i tabel 3.7.1 ved de 2 forsøg efter hop.
- * Bøjningsstivheden varierer med lastniveauet, og falder for stigende lastniveau svarende til ikke-lineær bøjningsarbejdslinie lige fra start
- * Bøjningsstivheden efter hop er betydeligt lavere end tilsvarende værdier før hop svarende til *væsentlig forringede stivhedsegenskaber for tribuneelementet*.

I tabel 4.1.1 er gennemsnitsværdier fra tabel 3.1.1 og tabel 3.7.1 anført og forholdet mellem værdierne er udregnet. Af tabellen ses, at bøjningsstivheden efter hop er faldet med godt og vel en faktor 2.

De eksperimentelt bestemte bøjningsstivheder benyttes til bestemmelse af laveste egenfrekvens for tribuneelementet i afsnit 4.3.

Lastniveauer i kN	EI i kNm ² før hop	EI i kNm ² efter hop	EI(før)/EI(efter)
0 - 1	7308	4102	1,78
0 - 2	6904	3380	2,04
0 - 3	6437	2962	2,17
0 - 4	5920	2786	2,12
0 - 5	5642	2664	2,12
0 - 6	5544	2585	2,15

Tabel 4.1.1 Oversigt over bøjningsstivheder

En oversigt over de numerisk største værdier for den lodrette flytning ved tribuneelementets midte, armeringstøjningen og betontøjningen ved oversiden for den maksimale værdi af enkeltkraften på 6 kN er anført i tabel 4.1.2.

	Før hop	Efter hop
Lodret flytning i mm	4,7	10,2
Armeringstøjning i $\mu\text{m}/\text{m}$	400	620
Betontøjning i $\mu\text{m}/\text{m}$	132	235

Tabel 4.1.2 Oversigt over karakteristiske størrelser før og efter hop

Også af tabel 4.1.2 fremgår, at der er målt markant større værdier efter hop sammenlignet med situationen før hop.

4.2 Statiske forsøg med personlast

Resultaterne fra disse forsøg er anført i afsnit 3.2 og 3.6 og omhandler forsøg før og efter de 12 forsøgspersoner hoppede på tribuneelementet.

Også ved disse forsøg er der konstateret en markant ændring af resultaterne efter hop, hvilket fremgår af tabel 4.2.1, som viser de tilsvarende størrelser, som anført i tabel 4.1.2.

	Før hop	Efter hop
Lodret flytning i mm	4,3	7,7
Armeringstøjning i $\mu\text{m}/\text{m}$	280	355
Betontøjning i $\mu\text{m}/\text{m}$	84	99

Tabel 4.2.1 Oversigt over karakteristiske størrelser før og efter hop

4.3 Dynamiske forsøg med ubelastet tribuneelement og impulsbelastning på belastet tribuneelement

Resultaterne fra disse forsøg er anført i afsnit 3.3 og 3.5 og omhandler forsøg før og efter de 12 forsøgspersoner hoppede på tribuneelementet.

De i afsnit 4.1 eksperimentelt bestemte bøjningsstivheder kan benyttes til bestemmelse af 1. egenfrekvens for tribuneelementet (og alle andre bjælkeegenfrekvenser, men kun den laveste har interesse her).

Regnes med konstant bøjningsstivhed, EI, langs tribuneelementets akse og regnes med konstant masse pr. længdeenhed, m, kan laveste egenfrekvens i Hz bestemmes ved

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

hvor L er den simpelt understøttede bjælkes spændvidde.

Regnes med, se figur 2.1, at L = 5,88 m og at der for *ubelastet bjælke* gælder, se side 2, at m = 113 kg/m fås:

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot 5,88^2 \sqrt{113}} \sqrt{EI} = 4,274 \cdot 10^{-3} \sqrt{EI}$$

hvor bøjningsstivheden skal indsættes i Nm².

For tribuneelementet også belastet med de 12 forsøgspersoner, som tilnærmet svarer til en ensformig fordelt masse på 144 kg/m, fås således en samlet ensformig fordelt masse på 257 kg/m. For *belastet tribuneelement* fås således

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot 5,88^2 \sqrt{257}} \sqrt{EI} = 2,834 \cdot 10^{-3} \sqrt{EI}$$

hvor bøjningsstivheden skal indsættes i Nm².

Benyttes de i tabel 4.1.1 anførte værdier for de eksperimentelt bestemte bøjningsstivheder kan de i tabel 4.3.1 viste egenfrekvenser bestemmes.

Lastniveauer i kN	Laveste egenfrekvens i Hz for egenmasse alene før hop	Laveste egenfrekvens i Hz for egenmasse og personmasse før hop	Laveste egenfrekvens i Hz for egenmasse alene efter hop
0 - 1	11,55	7,66	8,66
0 - 2	11,23	7,45	7,86
0 - 3	10,84	7,19	7,36
0 - 4	10,40	6,90	7,13
0 - 5	10,15	6,73	6,98
0 - 6	10,06	6,67	6,87

Tabel 4.3.1 **Oversigt over laveste egenfrekvens bestemt på grundlag af eksperimentelt bestemte bøjningsstivheder**

I afsnit 3.3 er laveste egenfrekvens bestemt ud fra en meget lille impulsbelastning (slag med hammer) til 11,8 Hz, som ses at stemme meget fint overens med den beregnede værdi for laveste lastniveau før hop på 11,55 Hz.

Impulsbelastning på tribuneelementet belastet med de 12 forsøgspersoner er beskrevet i afsnit 3.4.1. Dette tilfælde er karakteriseret ved en meget stor dæmpning, hvilket gør bestemmelsen af egenfrekvensen vanskelig. I afsnit 3.4.1 er ud fra forsøgsresultaterne skønnet en laveste egenfrekvens på ca. 7 Hz, hvilket stemmer meget fint overens med værdierne i 2. resultatkolonne i tabel 4.3.1, hvor værdierne varierer mellem 7,66 Hz og 6,67 Hz.

Impulsbelastning på ubelastet tribuneelement efter hop er omtalt i afsnit 3.5 og ud fra de der anførte værdier er laveste egenfrekvens bestemt til ca. 11 Hz, hvilket kun er ca. 0,5 Hz lavere end den værdi som er bestemt før hop. Sammenlignes de 11 Hz med sidste resultatsøjle i tabel 4.3.1 ses, at den beregnede egenfrekvens er for lille svarende til, at stivheden er bestemt til en for lille værdi. Denne uoverensstemmelse skyldes formentlig, at impulspåvirkningen er så lille (giver eksempelvis kun ca. 15 $\mu\text{m}/\text{m}$ tøjning i armeringen og ca. 5 $\mu\text{m}/\text{m}$ tøjning i betonen), at tribuneelementets skadede tilstand ikke slår igennem på samme måde, som resultaterne fra de statiske forsøg fra tabel 4.1.1 og 4.2.1 viser.

4.4 Dynamiske forsøg med hoppende personlast

Disse vigtige forsøg er beskrevet i afsnit 3.4.2 med tilhørende bilag.

Forsøgene viser klart (ved sammenligning med de tilsvarende statiske forsøg), hvilken stor betydning det har om en påvirkning virker statisk eller dynamisk.

Endvidere har det meget stor betydning om man hopper i takt eller utakt (svarende til tilfældige tidsforskydninger mellem forsøgspersonernes afsæt på tribuneelementet). Det giver langt den største respons, når der hoppes i takt.

Resultaterne fra det statiske tilfælde, hvor de 12 forsøgspersoner belaster tribuneelementet er gengivet i tabel 4.2.1. Udfra de i afsnit 3.4.2 med tilhørende bilag G - N kan optegnes oversigtskurver over maximum og minimumværdier for de målte størrelser. Disse kurver er vist i figur 4.4.1 - 4.4.4, som viser de tilfælde, hvor der hoppes i takt, og i figur 4.4.5 - 4.4.8 er vist de tilfælde, hvor der hoppes i utakt.

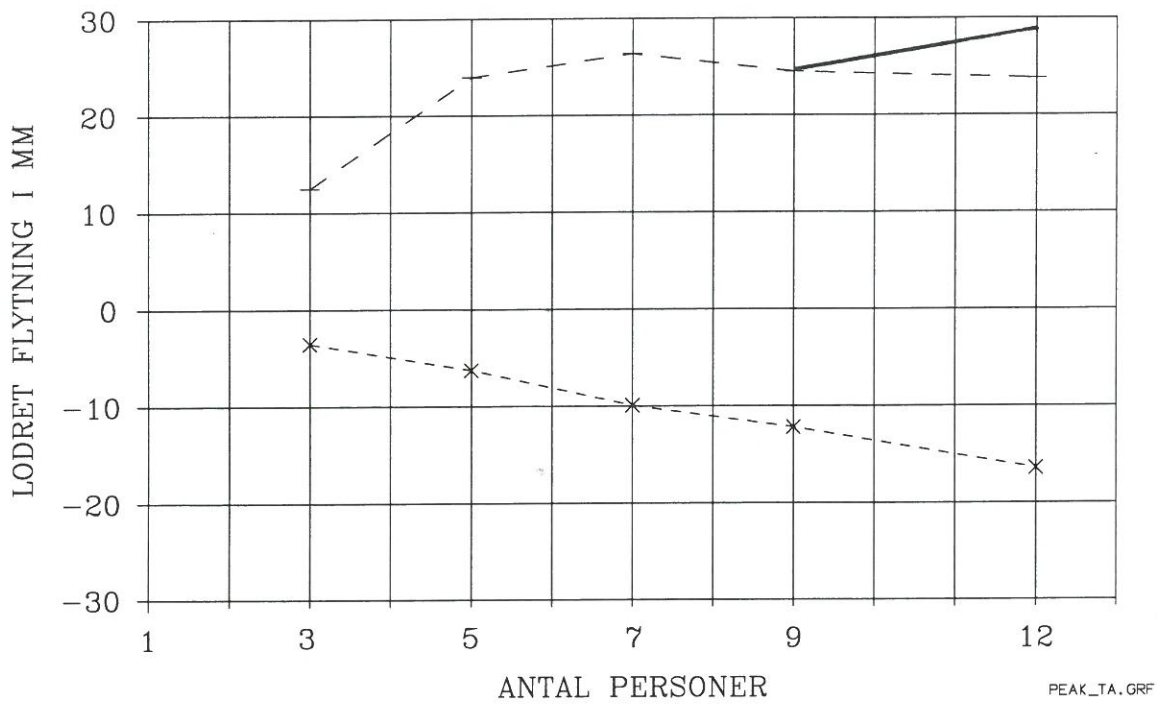
Følgende kommentarer skal knyttes til kurverne:

1. Som det ses af de kurver, som ligger til grund for tabellerne, nemlig kurverne i afsnit 3.4.2 og bilag G, I, K og M, som er de tilfælde, hvor forsøgspersonerne hopper i takt, er *kurveformen* for målingerne fra den induktive flytningsmåler, armeringstøjningen og betontøjningen alle ens, hvorimod kurveformen for den lodrette flytning bestemt udfra accelerationssignalet er anderledes, hvilket bl.a. skyldes den elektriske integration ved lave frekvenser. Kurvevidden synes derimod at være korrekt. Det betyder, som også tidligere meddelt, at kurverne i figur 4.4.2 og 4.4.6 skal tages med forbehold med hensyn til den absolutte størrelse af flytningerne, hvorimod flytningsvidden giver et rimeligt billede af udviklingen, når et forskelligt antal personer påvirker tribuneelementet.
2. Den benyttede induktive flytningsmåler kan maksimalt måle en flytningsvidde på lidt over 40 mm. Denne størrelse blev overskredet i forsøgene, hvor 12 personer hoppede på tribuneelementet. Det betyder, at den positive værdi for 12 personer i figur 4.4.1 er for lille, hvilket også umiddelbart kan anes udfra kurveforløbet. Der kan imidlertid laves en tilnærmet korrektion på denne værdi udfra udviklingsforløbet for de øvrige transducere.

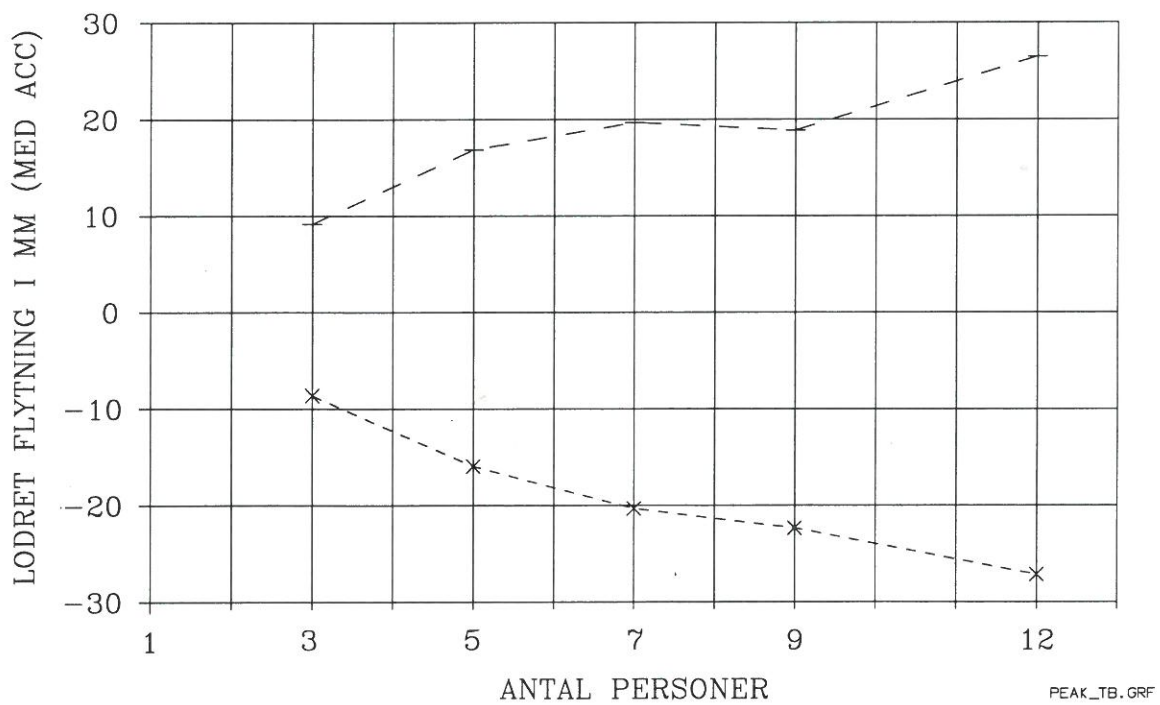
I tabel 4.4.1 er normerede responsvidder anført (således, at værdien svarende til 3 forsøgspersoner på tribunelemente er sat til 1. Det ses, at flytningsvidderne for den induktive flytningsmåler og flytningen bestemt udfra det integrerede accelerationssignal nogenlunde følger samme tendens. Det er derfor rimeligt at antage, at faktoren svarende til de 12 personer også for den induktive flytningsmåler vil være ca. 2,8. Dette giver en beregnet flytningsvidde på 46 mm og dermed en positiv flytning på 29 mm. Kurvestykket fra 9 til 12 personer for den positive flytning er vist fuldt optrukket i figur 4.4.1.

	3 pers.	5 pers.	7 pers.	9pers.	12pers.
Flytningsvidde, normeret, ind.flyt.	1	1,88	2,24	2,18	
Flytningsvidde, normeret, fra acc.	1	1,78	2,14	2,24	2,86
Arm. tøjningsvidde, normeret	1	1,63	1,93	2,00	2,42
Beton tøjningsvidde, normeret	1	1,62	1,90	2,00	2,31

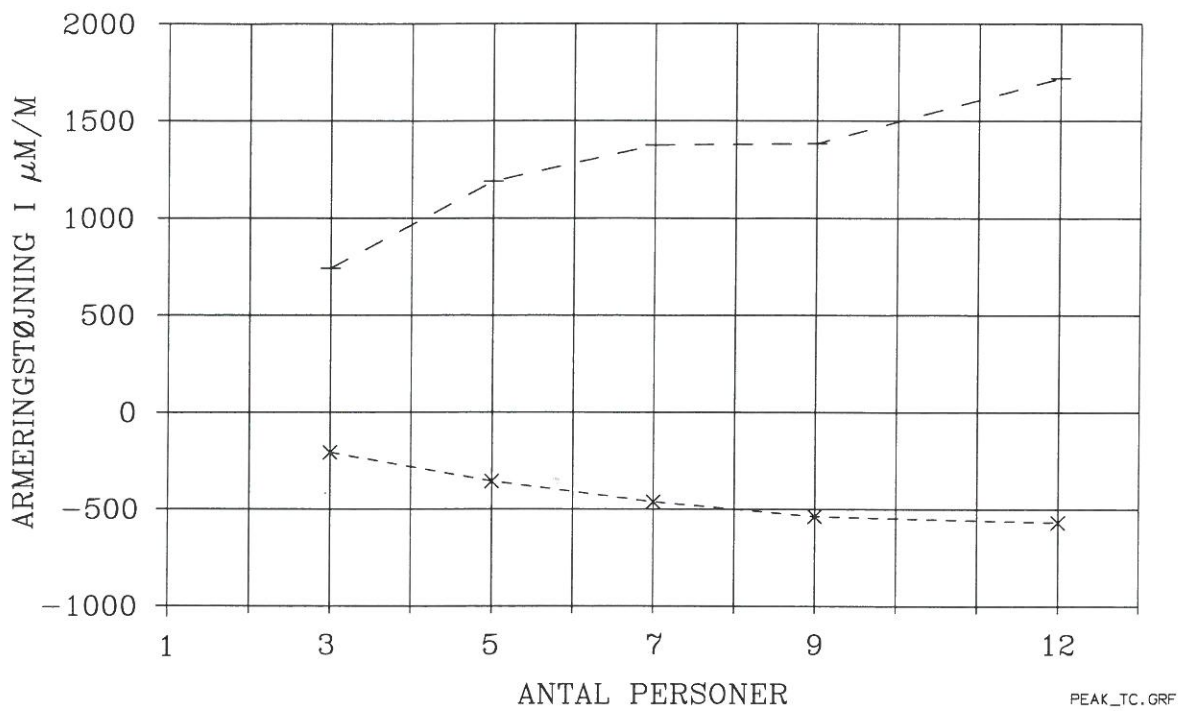
Tabel 4.4.1 Normerede responsvidder



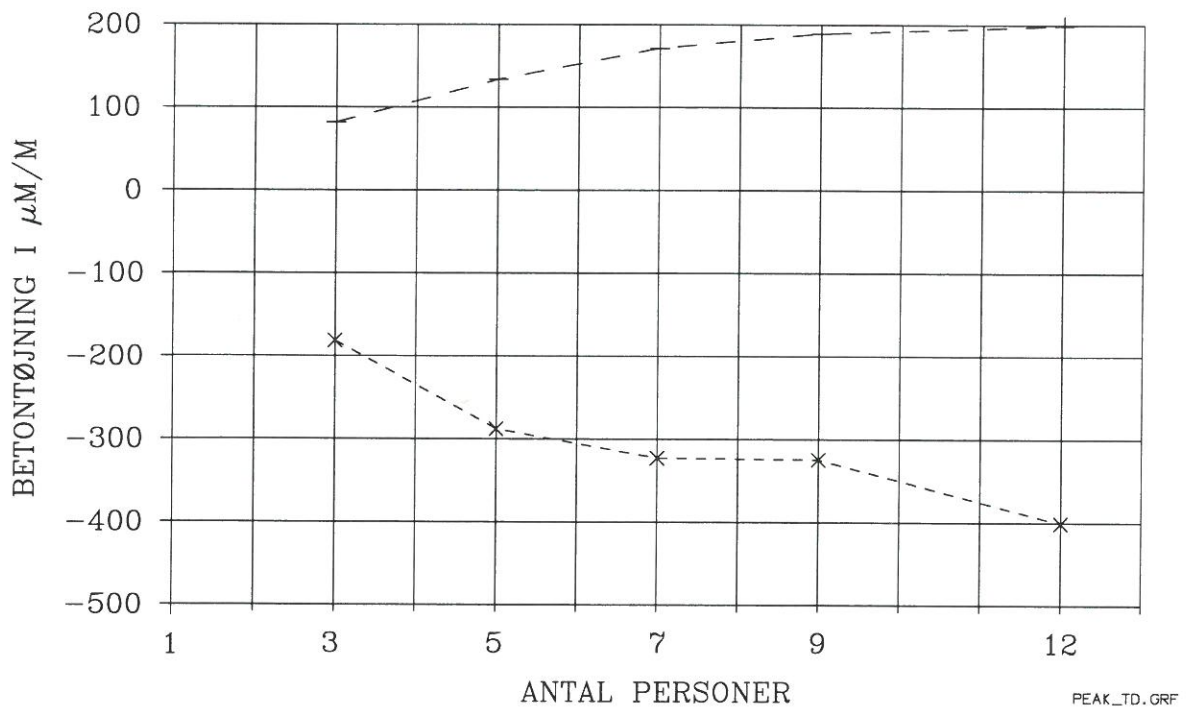
Figur 4.4.1 Max. og min. værdier for induktiv flytningstransducer (Takt)



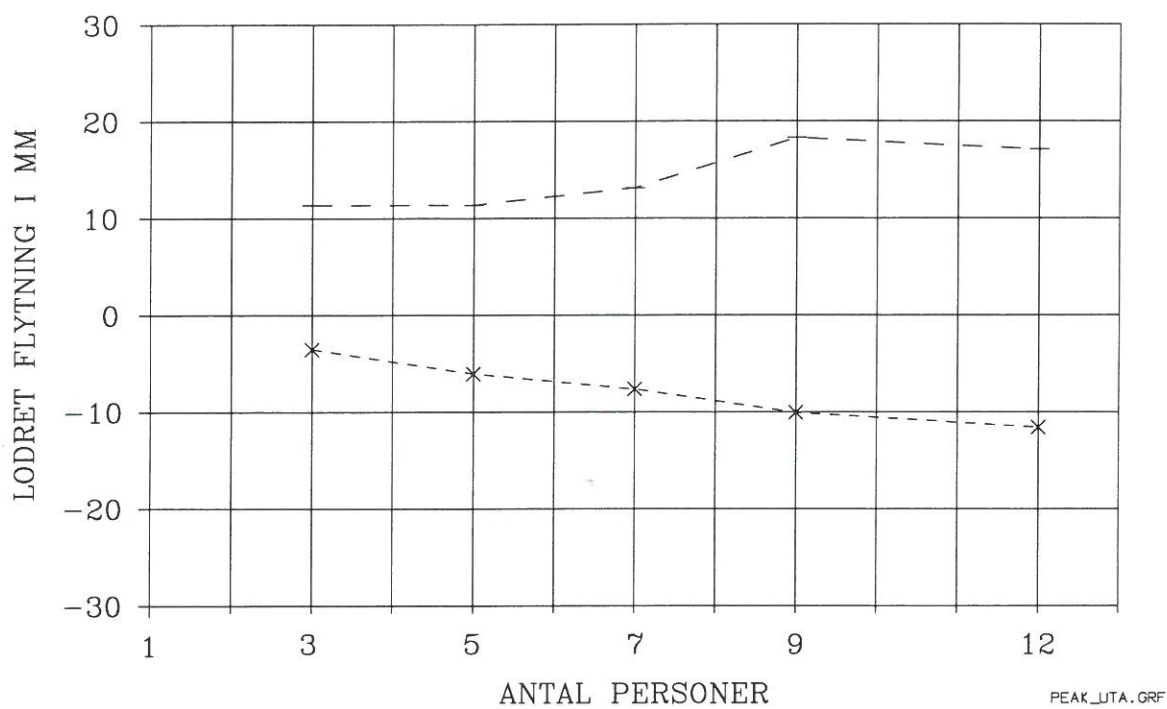
Figur 4.4.2 Max. og min. værdier for integreret accelerationssignal (Takt)



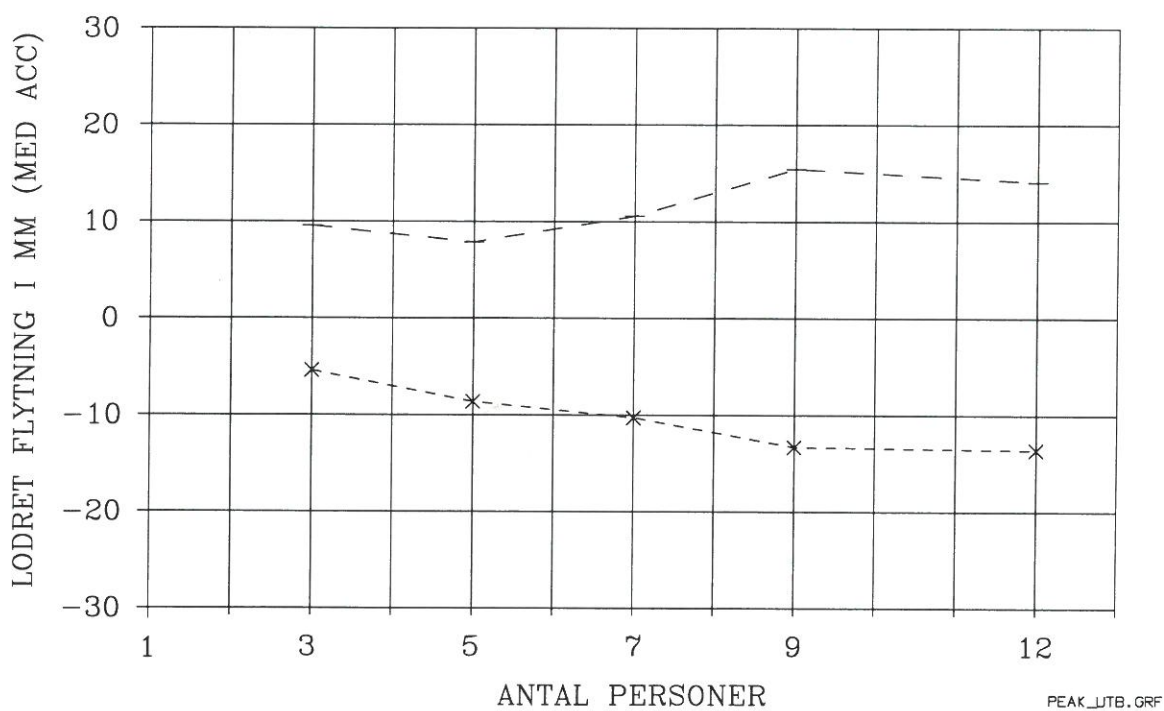
Figur 4.4.3 Max. og min. værdier for armeringstøjning (Takt)



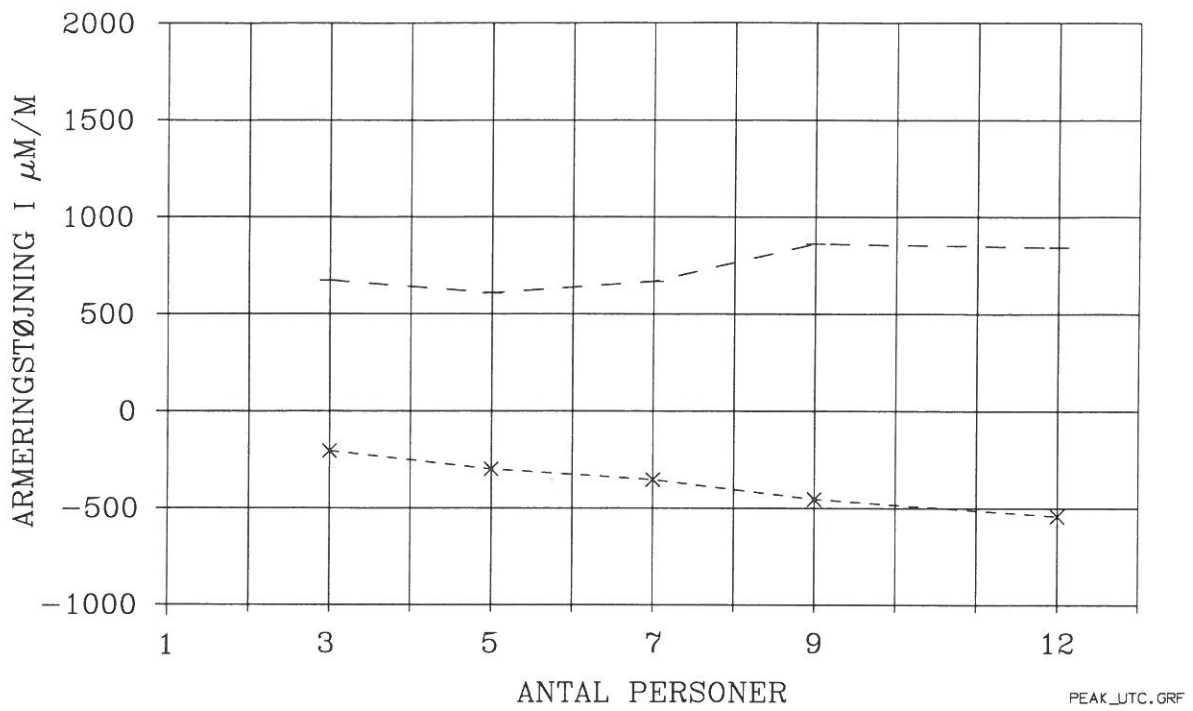
Figur 4.4.4 Max. og min. værdier for betonstøjning (Takt)



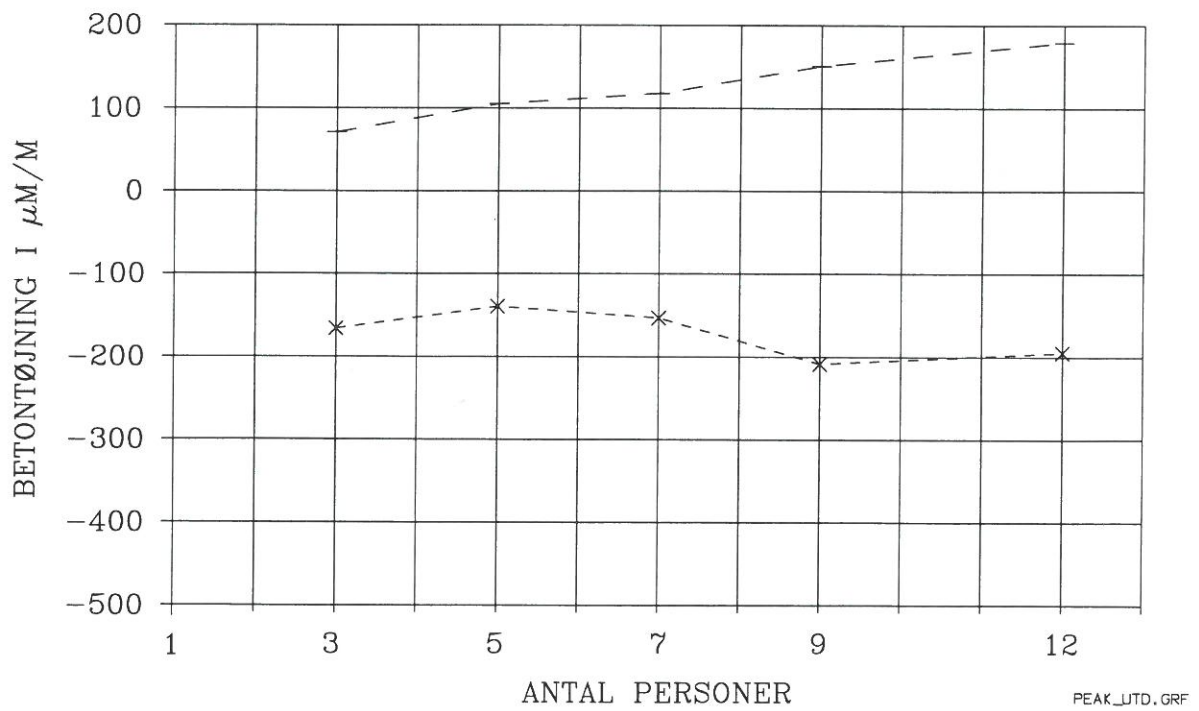
Figur 4.4.5 Max. og min. værdier for induktiv flytningstransducer (Utakt)



Figur 4.4.6 Max. og min. værdier for integreret accelerationssignal (Utakt)



Figur 4.4.7 Max. og min. værdier for armeringstøjning (Utakt)



Figur 4.4.8 Max. og min. værdier for betonstøjning (Utakt)

3. Af figur 4.4.3 ses, at armeringstøjningen ved de 12 forsøgspersoners hop har været oppe på ca. $1700 \mu\text{m/m}$, hvilket svarer til en spænding på ca. 360 N/mm^2 . Det anvendte armeringsståls styrkeegenskaber kendes ikke, men den målte maximale spænding må formodes at ligge tæt på armeringsstålets flydespænding.
4. Af figur 3.4.7 kan "hoppenes" frekvens fastlægges og ved simpel optælling kan den bestemmes til 2,1 Hz, som ligger et godt stykke fra tribuneelementets egenfrekvens.
5. Sammenlignes den maximale lodrette flytning på figur 4.4.1 på 29 mm (beregnet værdi) med de statiske værdier med de 12 forsøgspersoner på tribuneelementet, se tabel 4.2.1 ses, at i forhold til den lodrette flytning *før hop* på 4,3 mm er den maximale flytning under hop en faktor $29/4,3 = 6,7$ større, og i forhold til den statiske flytning *efter hop* på 7,7 mm en faktor $29/7,7 = 3,7$ større. Sidstnævnte værdi er nok den mest realistiske at benytte.

Det skal bemærkes, at påvirkningsfrekvensen (hoppefrekvensen), se pkt. 4 ovenfor, er bestemt til 2,1 Hz, og at denne ligger et godt stykke fra den laveste egenfrekvens, hvorfor der ikke er meget dynamisk forstærkning på grund af påvirkningsfrekvensen størrelse.

Det kan iøvrigt bemærkes, at undersøgelser af den her nævnte type bl.a. er refereret i Bachmann and Ammann: *Vibrations in Structures induced by Man and Machines*. IABSE 1987.

6. Under hopforsøgene må det formodes, at tribuneelementet har fået påvirkninger, som bevirker revnedannelser i betonen både i over- og underside.
7. Når forsøgspersonerne hopper i utakt kan det konstateres, at det ikke er nær så farligt som når de hopper i takt. Af figur 4.4.5 fås en maximal lodret flytning på ca. 19 mm, hvilket giver en faktor $19/7,7 = 2,5$ i forhold til den tilsvarende statiske.

4.5 Kort sammendrag

I denne rapport er beskrevet statiske og dynamiske forsøg med et 6 m langt tribuneelement fra Aalborg Stadion. Forsøgene omfatter bl.a. følgende situationer:

- Situation 1: Der belastes med 12 forsøgspersoner, som **står stille** på tribuneelementet
- Situation 2: Der belastes med 12 forsøgspersoner, som **hopper i takt** på tribuneelementet
- Situation 3: Der belastes med 12 forsøgspersoner, som **hopper i utakt** på tribuneelementet

Forsøgene viser klart, at der er meget stor forskel på disse 3 situationer. Situation 1 er den gunstigste for tribuneelementet og situation 2 er langt den farligste. Dette kan bl.a. udtrykkes ved følgende:

Når de 12 forsøgspersoner står stille på tribuneelementet fås en lodret nedbøjning ved tribuneelementets midte på 4,3 mm, mens den maksimale lodrette nedbøjning når de 12 forsøgspersoner hopper i takt er bestemt til 29 mm, altså en faktor 6,7 større.

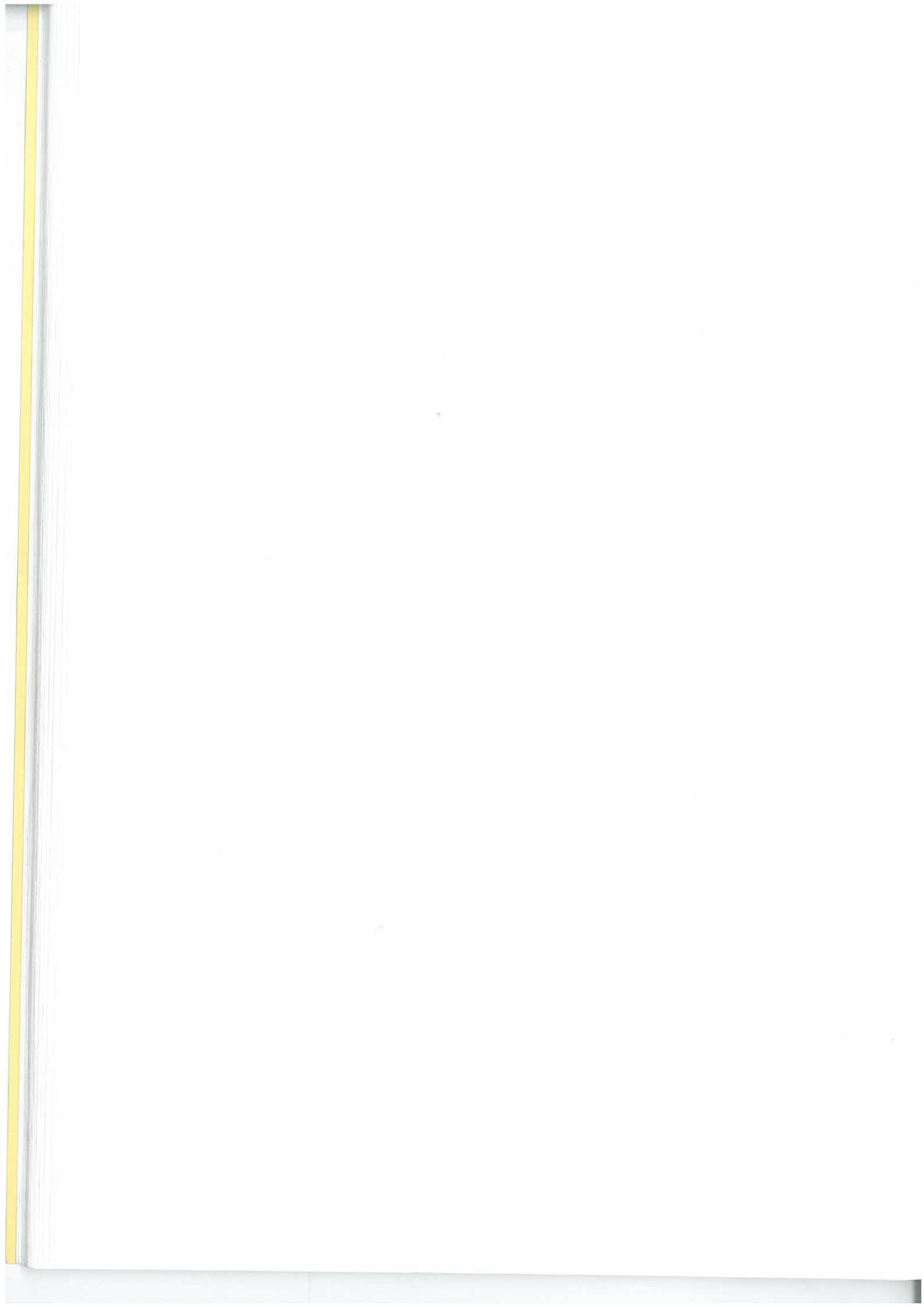
Når de 12 forsøgspersoner hopper i utakt er situationen ikke så farlig, idet der for dette tilfælde blev bestemt en lodret nedbøjning på 19 mm, altså en faktor 4,4 større end den tilsvarende statiske.

Ved disse hopforsøg blev tribuneelementet udsat på påvirkninger, som ændrede dets statiske egenskaber. Det blev således konstateret, at når de 12 forsøgspersoner stod stille på tribuneelementet **efter hopforsøgene** var den lodrette nedbøjning nu ændret til 7,7 mm mod 4,3 mm **før hopforsøgene**, altså en forøgelse på 80 %.

Benyttes disse 7,7 mm nedbøjning som referenceværdi fås, at ved hop i takt skal den statiske nedbøjning ganges med en faktor 3,7 ($7,7 \times 3,7 = 29$ mm) og ved hop i utakt med 2,5 ($7,7 \times 2,5 = 19$ mm).

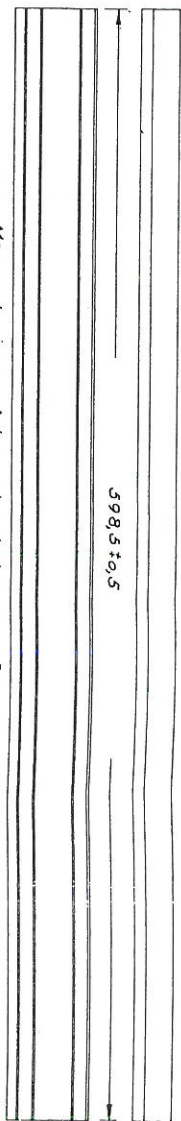
At der er sket en væsentlig ændring af tribuneelementets statiske egenskaber som følge af hopforsøgene kan bl.a. ses af, at når de 12 forsøgspersoner hopper i takt på tribuneelementet fås en armeringstøjning på 1,7 ‰, hvilket svarer til en armeringsspænding på ca. 360 MPa. Dette er formentlig tæt på armeringens flydespænding. Der blev da også konstateret væsentlig revnedannelse i betonen efter hopforsøgene svarende til et fald i bjælkestivheden.

Der er i rapporten yderligere beskrevet en række forsøg til belysning af tribuneelementets statiske og dynamiske egenskaber.



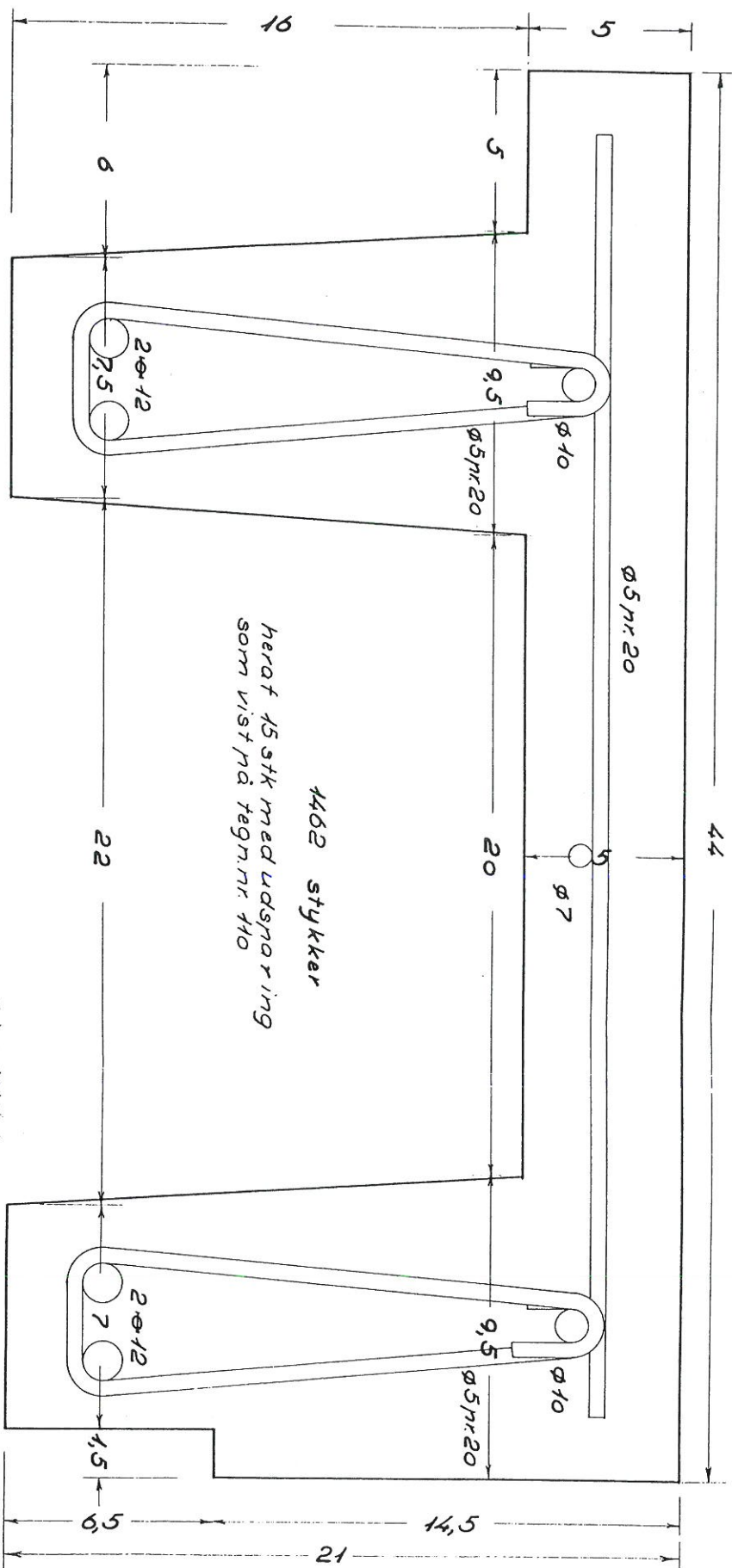
Forside

Underside



1:20

Max. udsving på længderetningen 0,5 cm midt på midten



1462 stykker
heraf 45 stk med udsmarling
som vist på tegn.nr 410

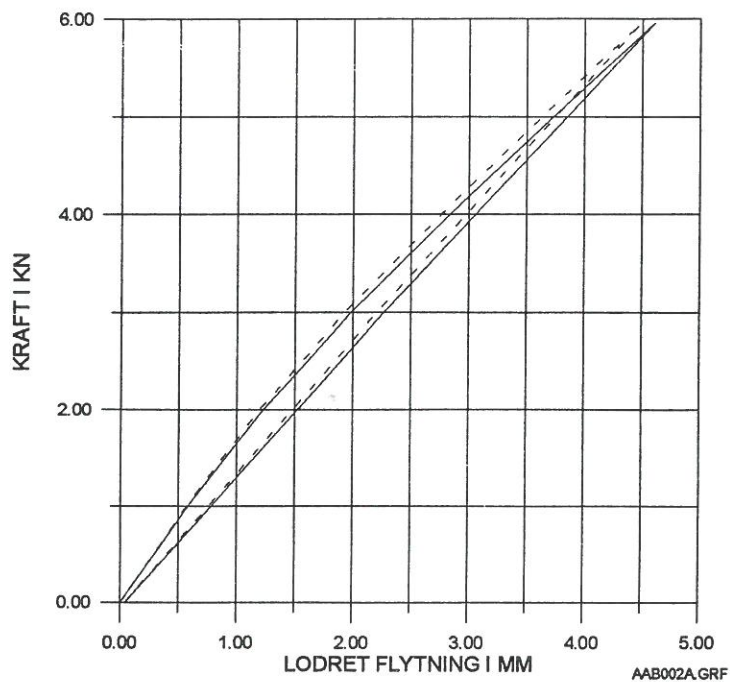
$\delta B \geq 400$

Med svar af 20/11/2017
fra
BYGNINGSKOMMISSIONEN

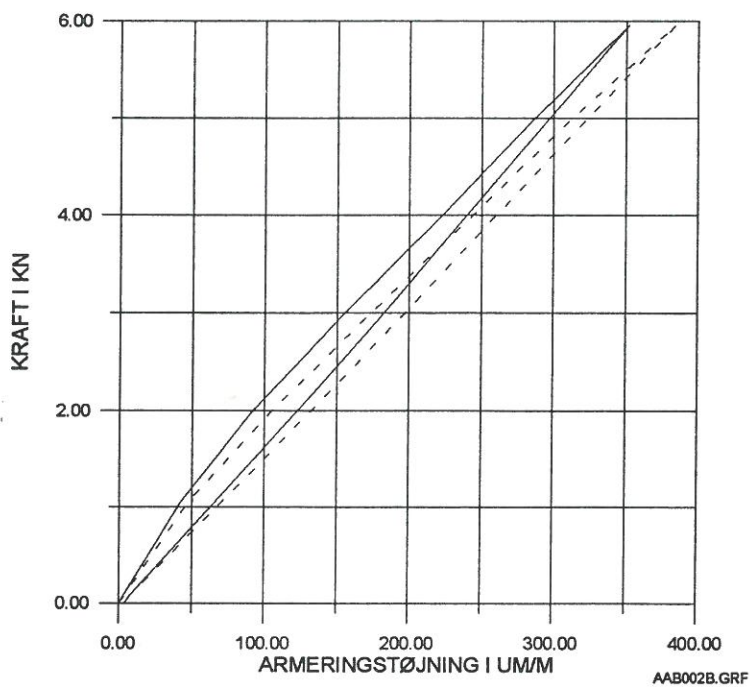
21. januar 2017

STYBESKIBET & GÅSTEN AARHUS	
Rådhuspladsen 55 - Århus C - Tlf: 311333	
Aalborg Stadion	
Ref. tribunelement	
TITTEL: O.T.	Rev. nr. 103
UML 120/11	103
4-11-00-00111	760

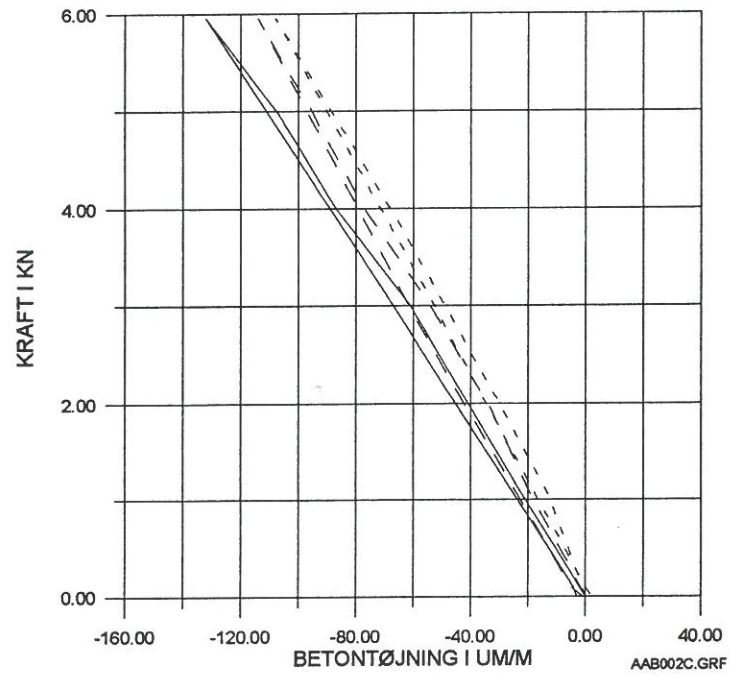
BILAG B - Forsøgsresultater fra statisk forsøg med enkeltkraft (AAB002)



Figur B.1 Påført enkeltkraft som funktion af lodrette flytninger

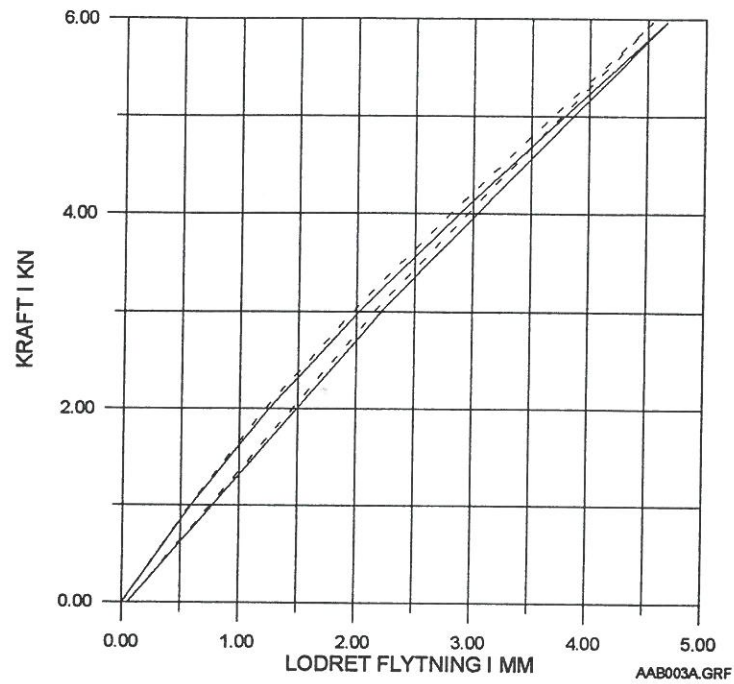


Figur B.2 Påført enkeltkraft som funktion af tøjning i armering

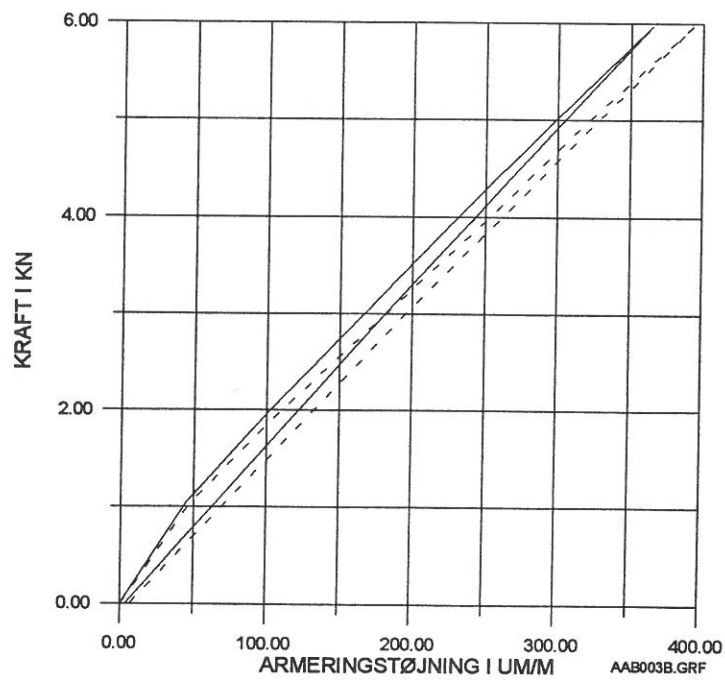


Figur B.3 Påført enkeltkraft som funktion af tøjninger i betonoverside

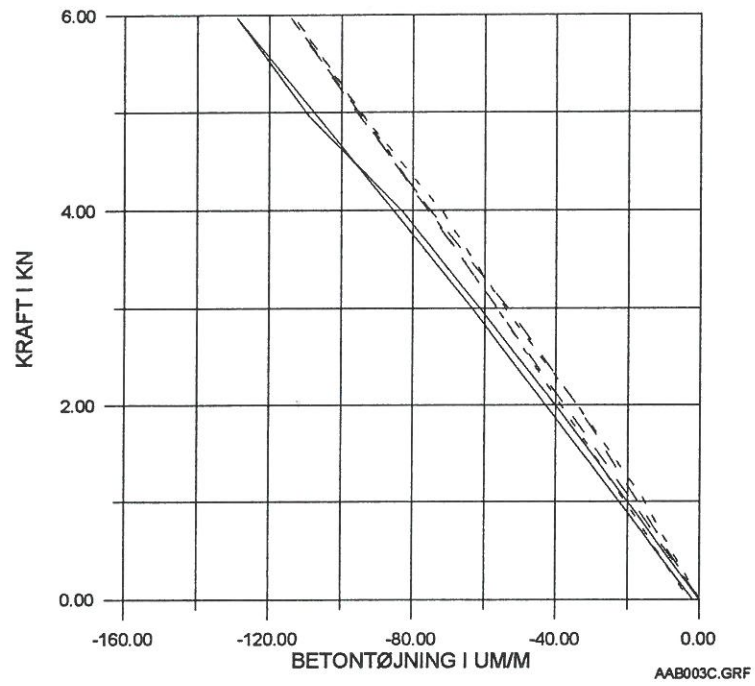
BILAG C - Forsøgsresultater fra statisk forsøg med enkeltkraft (AAB003)



Figur C.1 Påført enkeltkraft som funktion af lodrette flytninger

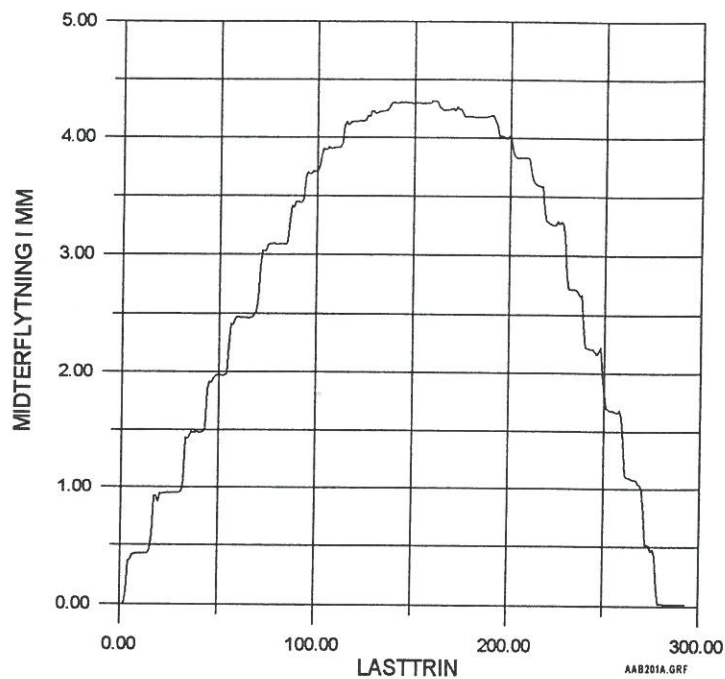


Figur C.2 Påført enkeltkraft som funktion af tøjning i armering

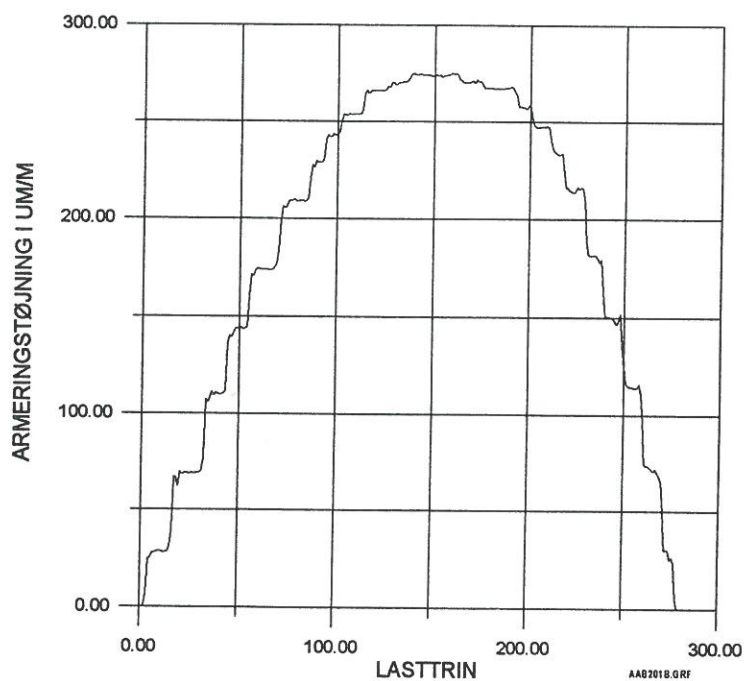


Figur C.3 Påført enkeltkraft som funktion af tøjninger i betonoverside

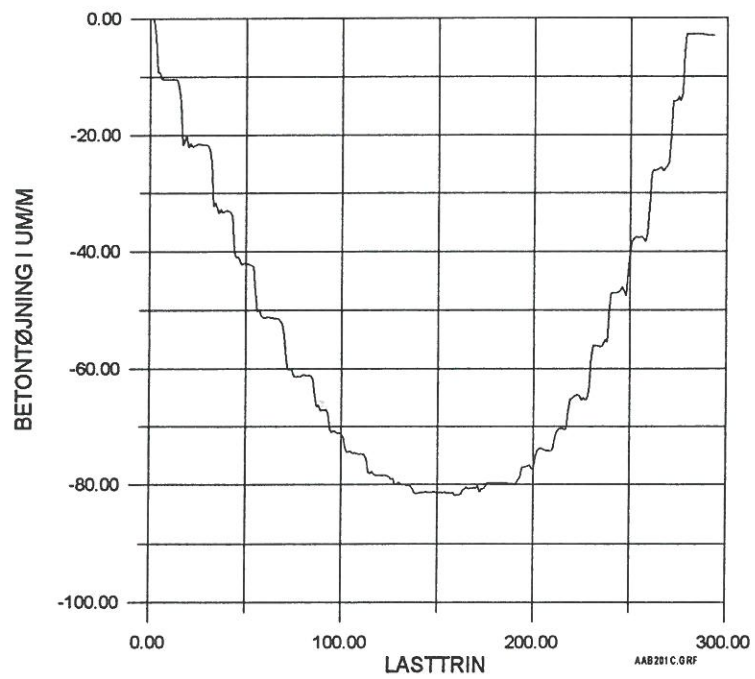
BILAG D - Forsøgsresultater fra statisk forsøg med personlast (AAB201)



Figur D.1 Lodret flytning som funktion af lasttrin (personlast)

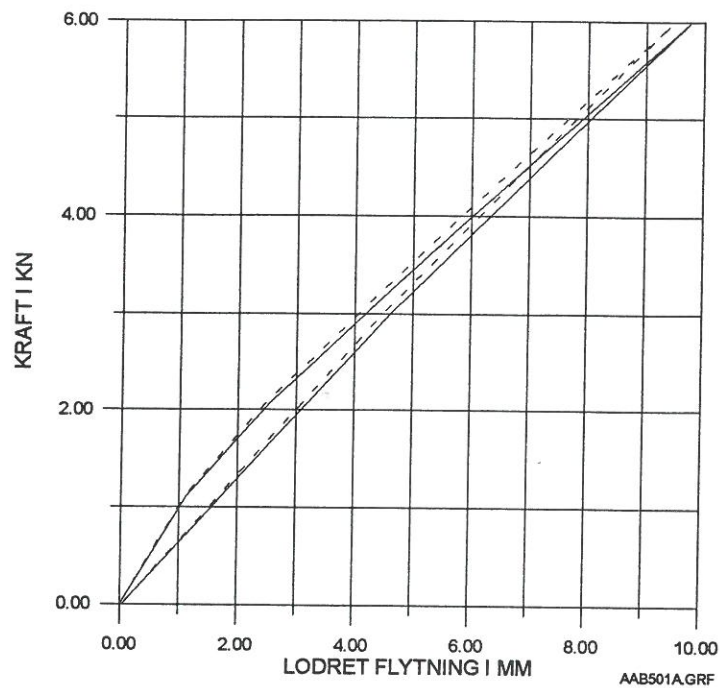


Figur D.2 Armeringstøjning som funktion af lasttrin (personlast)

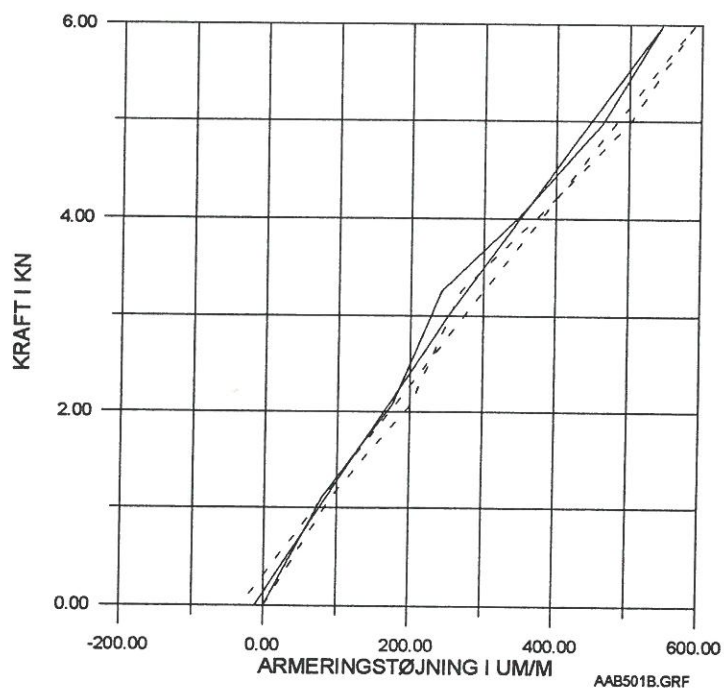


Figur D.3 **Betontøjning som funktion af lasttrin (personlast)**

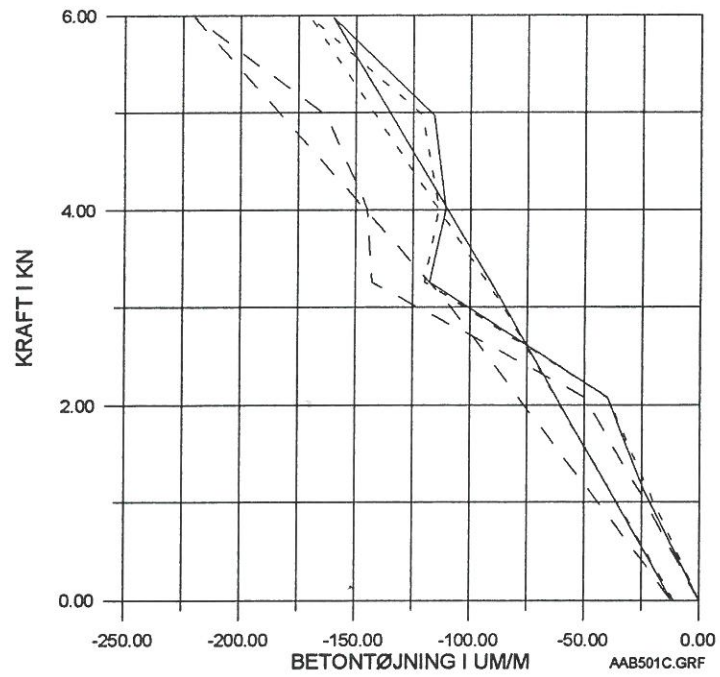
BILAG E - Forsøgsresultater for statisk forsøg med enkeltkraft (AAB501)



Figur E.1 Påført enkeltkraft som funktion af lodrette flytninger



Figur E.2 Påført enkeltkraft som funktion af tøjning i armering



Figur E.3 Påført enkeltkraft som funktion af tøjninger i betonoverside

BILAG F Kort redegørelse for beat fænomenet

Når to svingninger med tætliggende frekvenser superponeres optræder det såkaldte beat fænomen, som her kort skal illustreres ved et simpelt eksempel.

Betragt sinuskurve 1:

$$x_1(t) = \sin(2\pi 10 t)$$

som har en frekvens på 10 Hz og en amplitude på 1, og sinuskurve 2:

$$x_2(t) = \sin(2\pi 11 t)$$

som har en frekvens på 11 Hz og en amplitude på 1.

Superponeres disse 2 kurver fås:

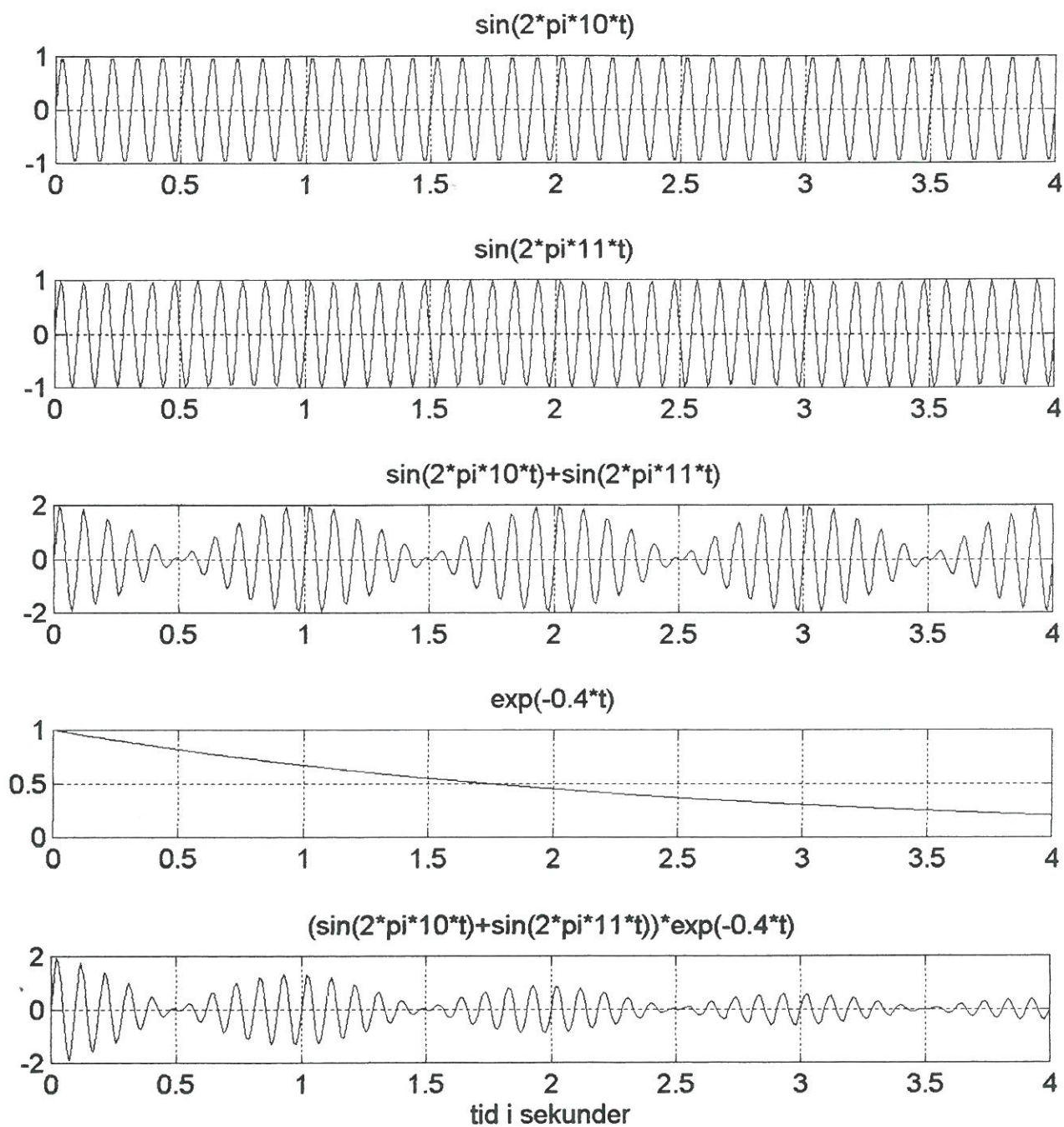
$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) = \sin(2\pi 10 t) + \sin(2\pi 11 t)$$

Endvidere antages, at svingningsformen $x(t)$ reduceres med dæmpningsfunktionen $\exp(-0.4 t)$ således, at der fås en resulterende kurve svarende til

$$x_{\text{res}}(t) = \exp(-0.4 t) x(t)$$

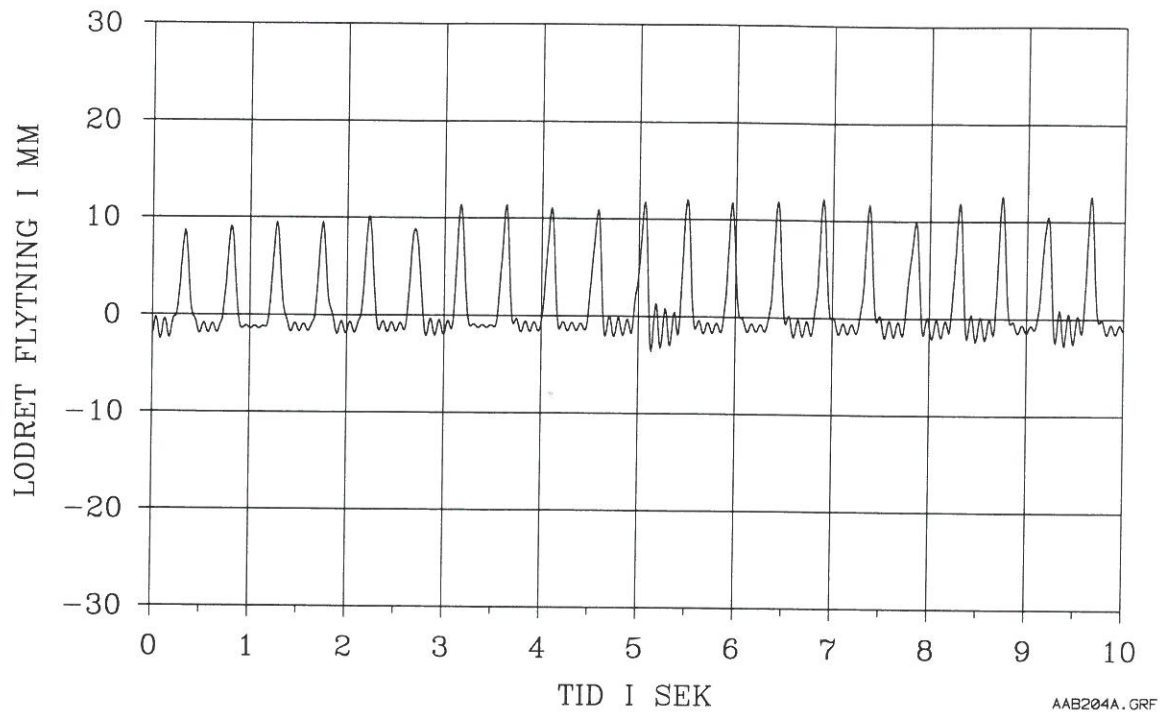
Optegnes disse kurver over en tidsrum på 4 sekunder fås de i figur F.1 viste kurver.

De valgte frekvenser på 10 Hz og 11 Hz samt den valgte eksponent i eksponentialfunktionen er tilfældigt valgte størrelser.

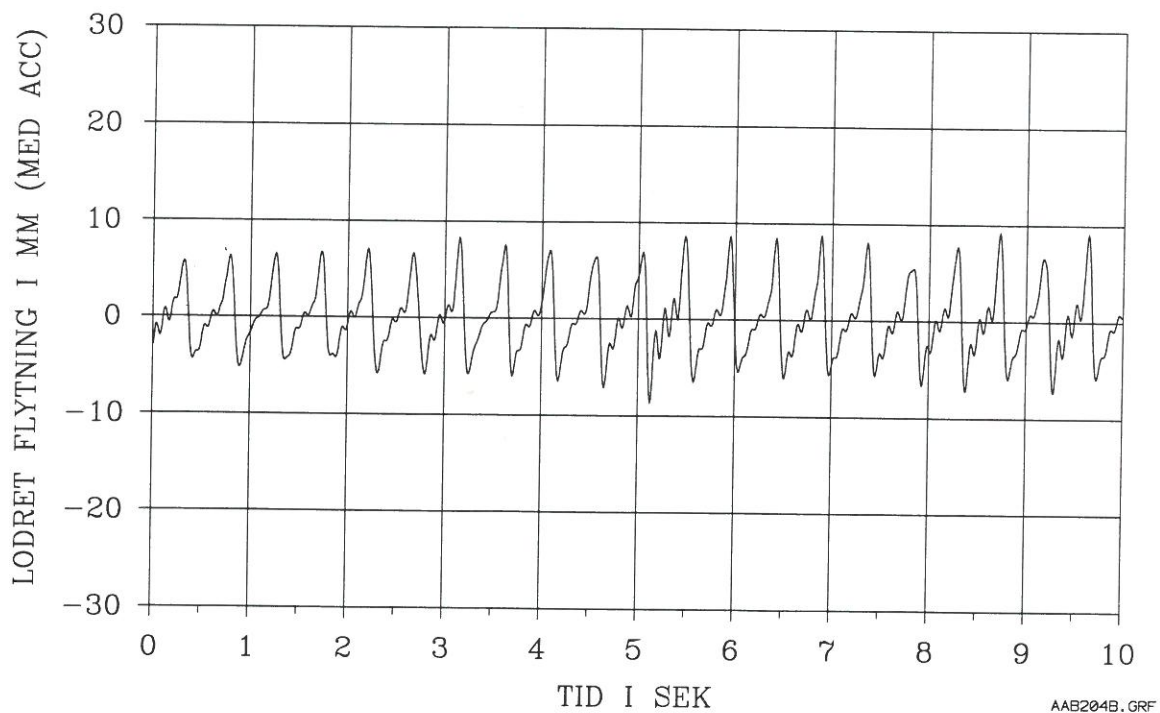


Figur F.1 Kurver til illustration af beat fænomenet

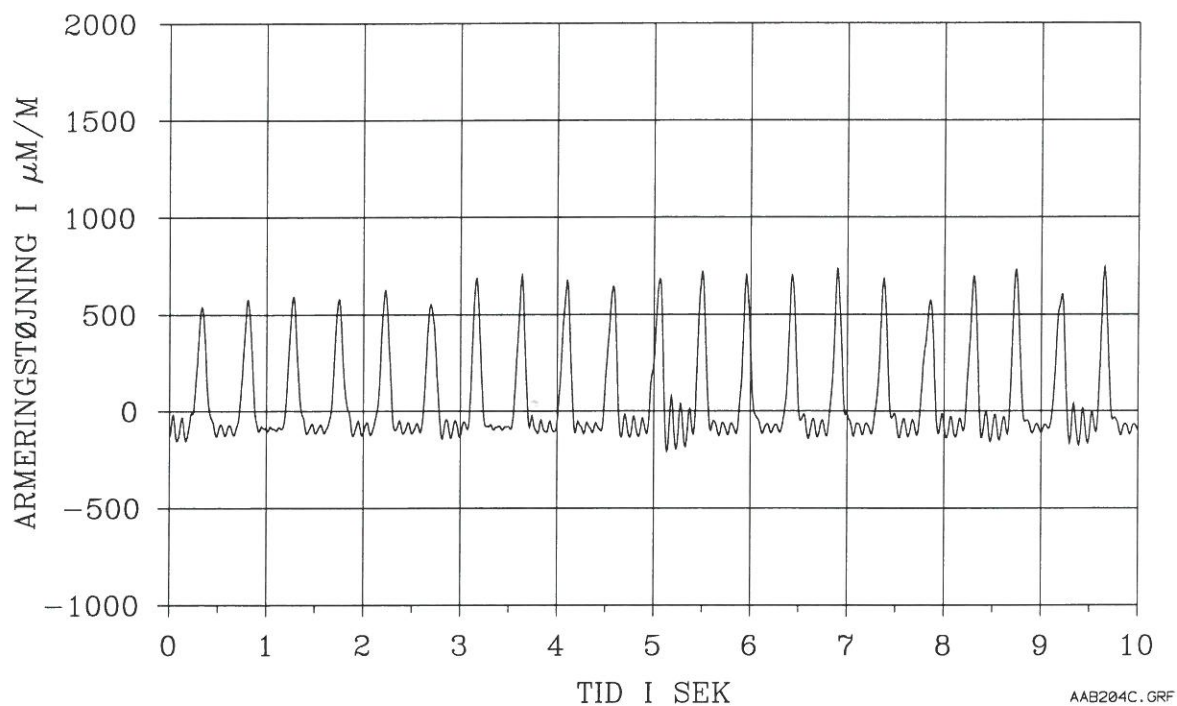
BILAG G Forsøgsresultater med 3 personer, som hopper i takt



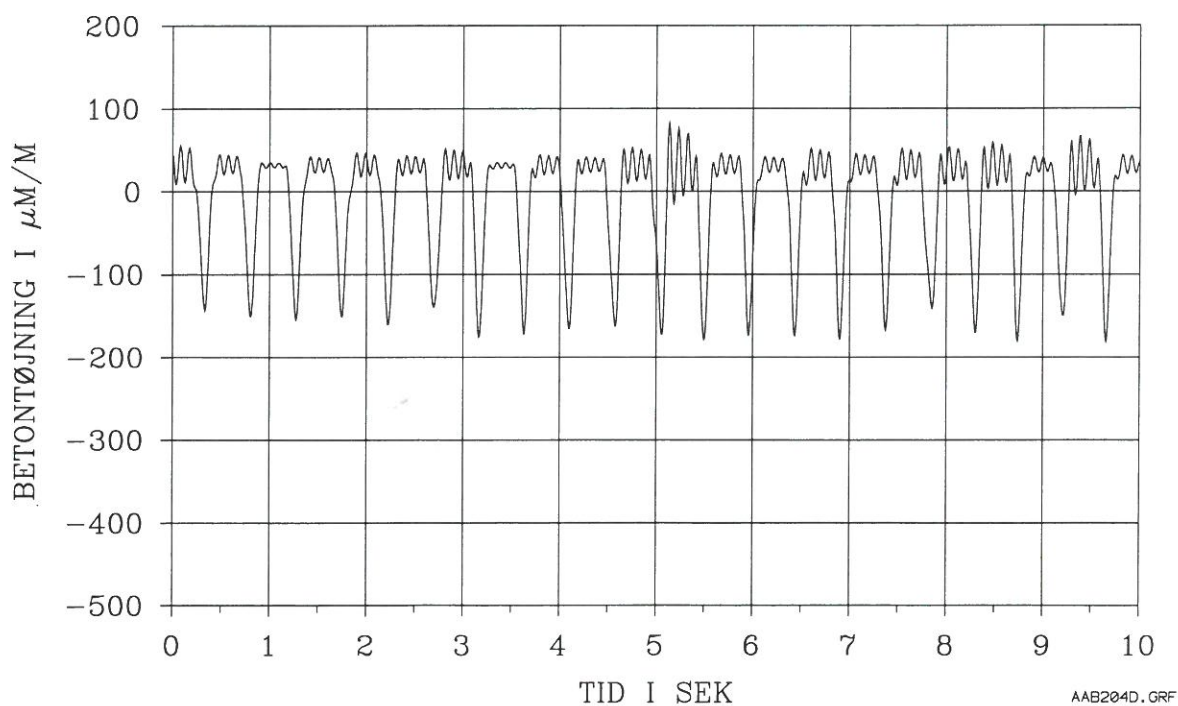
Figur G.1 Lodret flytning fra 3 hoppende personer (takt) målt med induktiv flytningstransducer



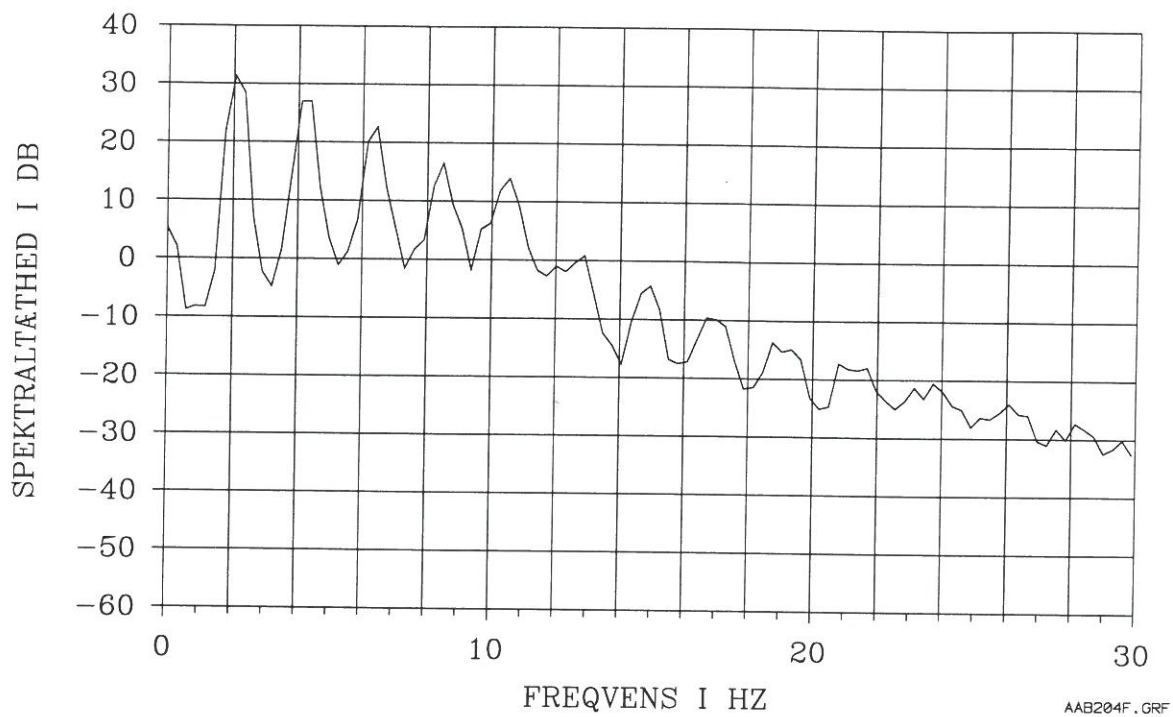
Figur G.2 Lodret flytning fra 3 hoppende personer (takt) fra accelerometer



Figur G.3 Armeringstøjning fra 3 hoppende personer (takt)



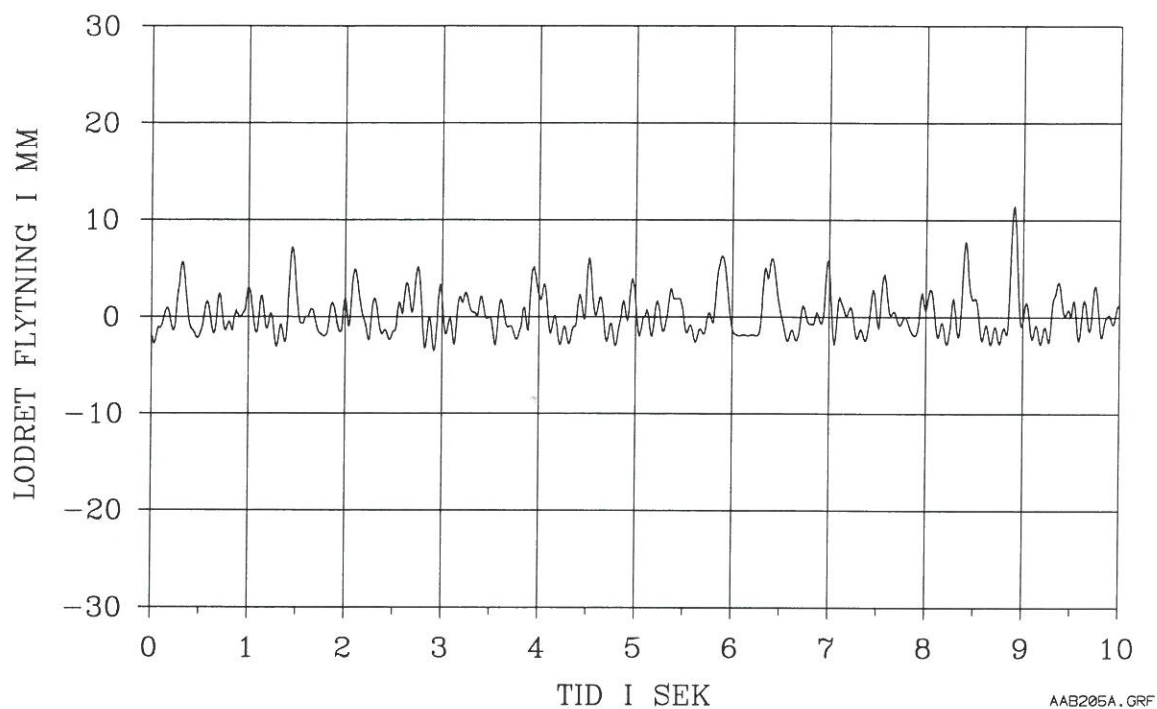
Figur G.4 Betontøjning i overside fra 3 hoppende personer (takt)



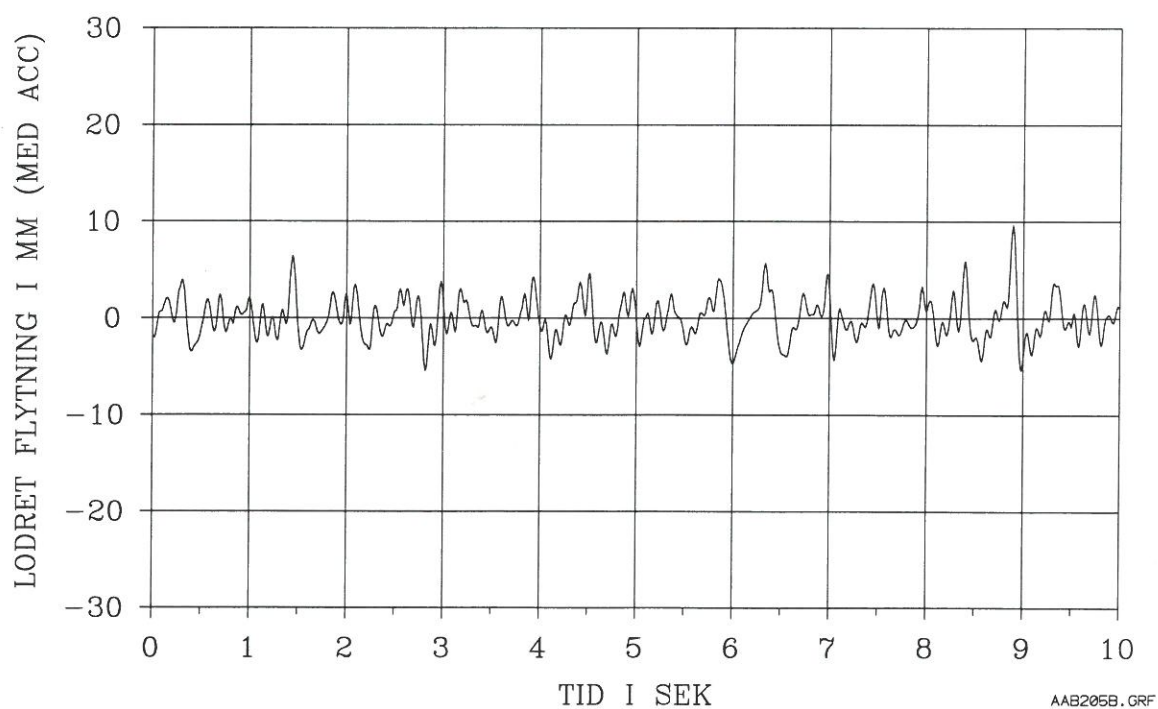
AAB204F.GRF

Figur G.5 Spektraltæthed for lodret flytning fra induktiv flytningstransducer fra 3 hoppende personer (takt)

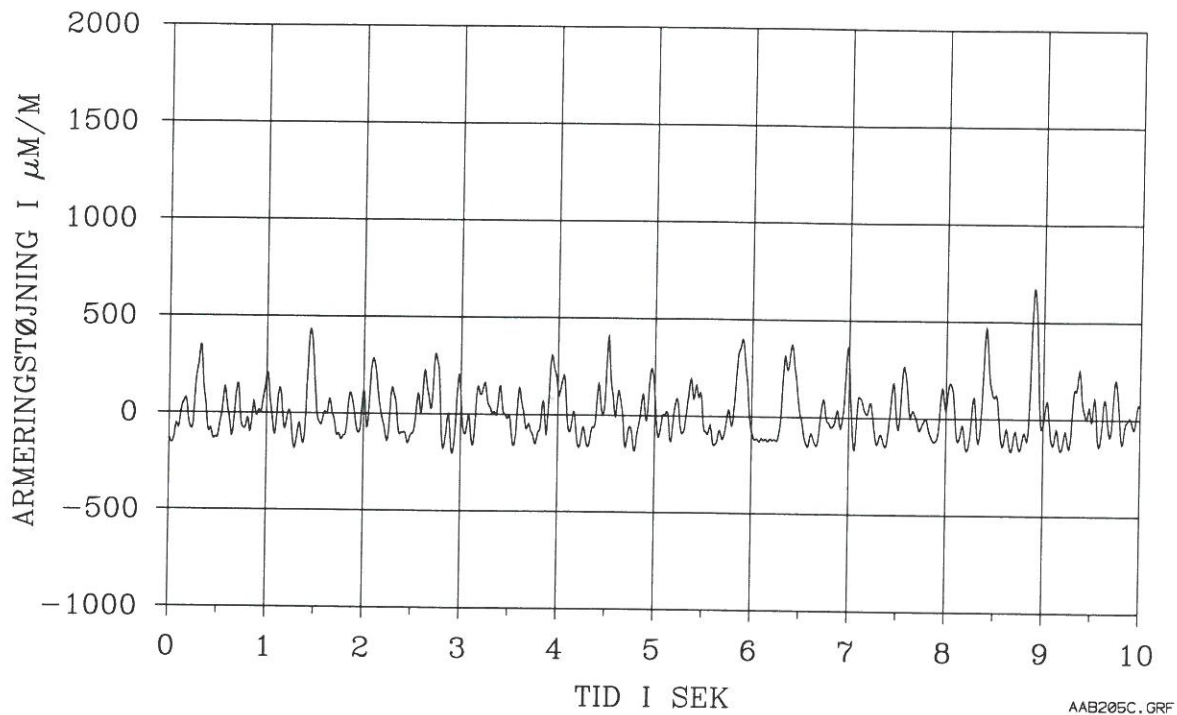
BILAG H Forsøgsresultater med 3 personer, som hopper i utakt



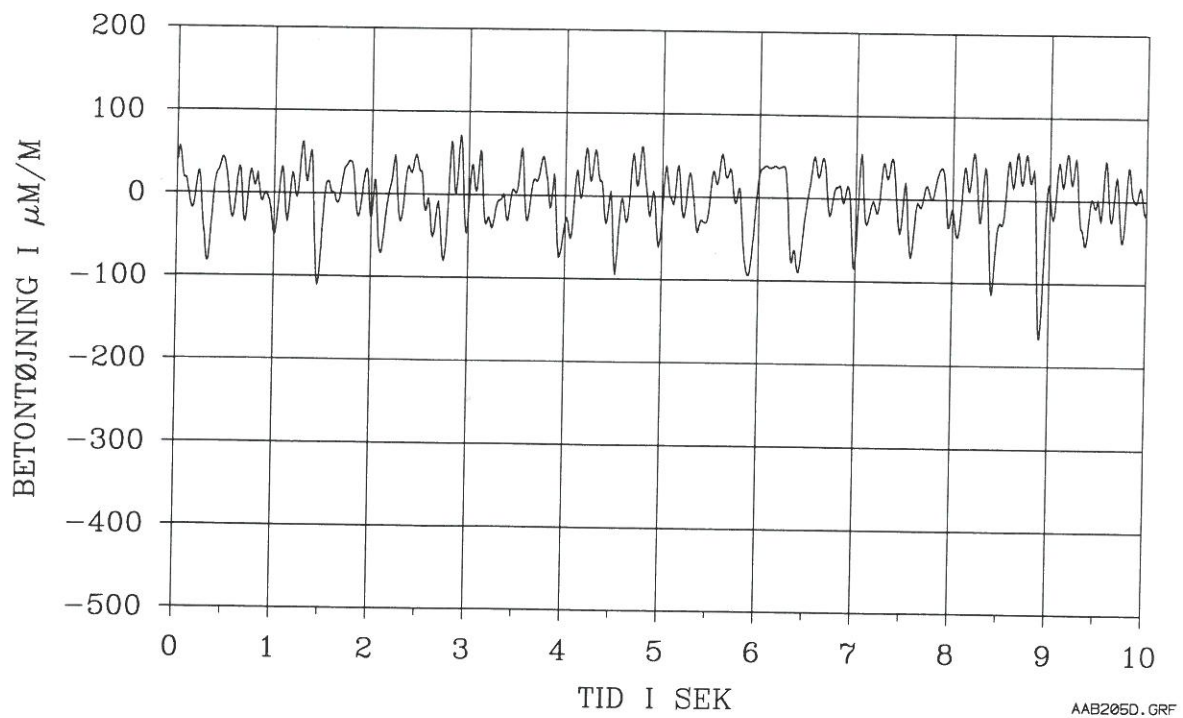
Figur H.1 Lodret flytning fra 3 hoppende personer (utakt) målt med induktiv flytningstransducer



Figur H.2 Lodret flytning fra 3 hoppende personer (utakt) fra accelerometer

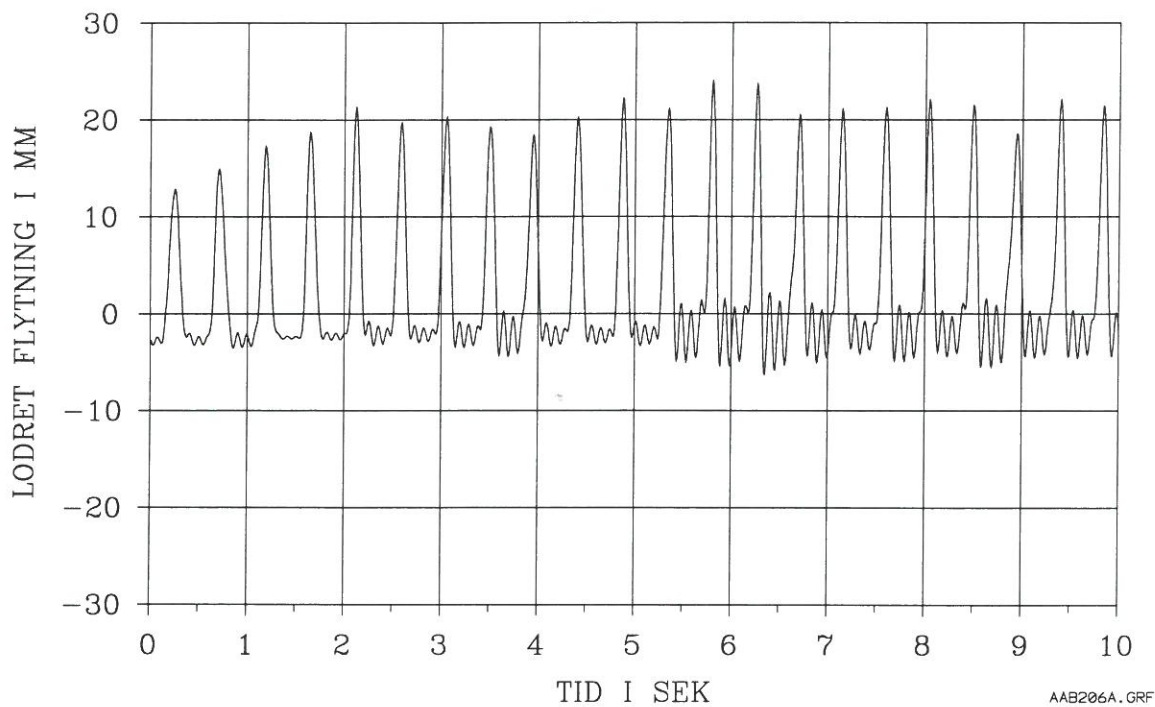


Figur H.3 Armeringstøjning fra 3 hoppende personer (utakt)

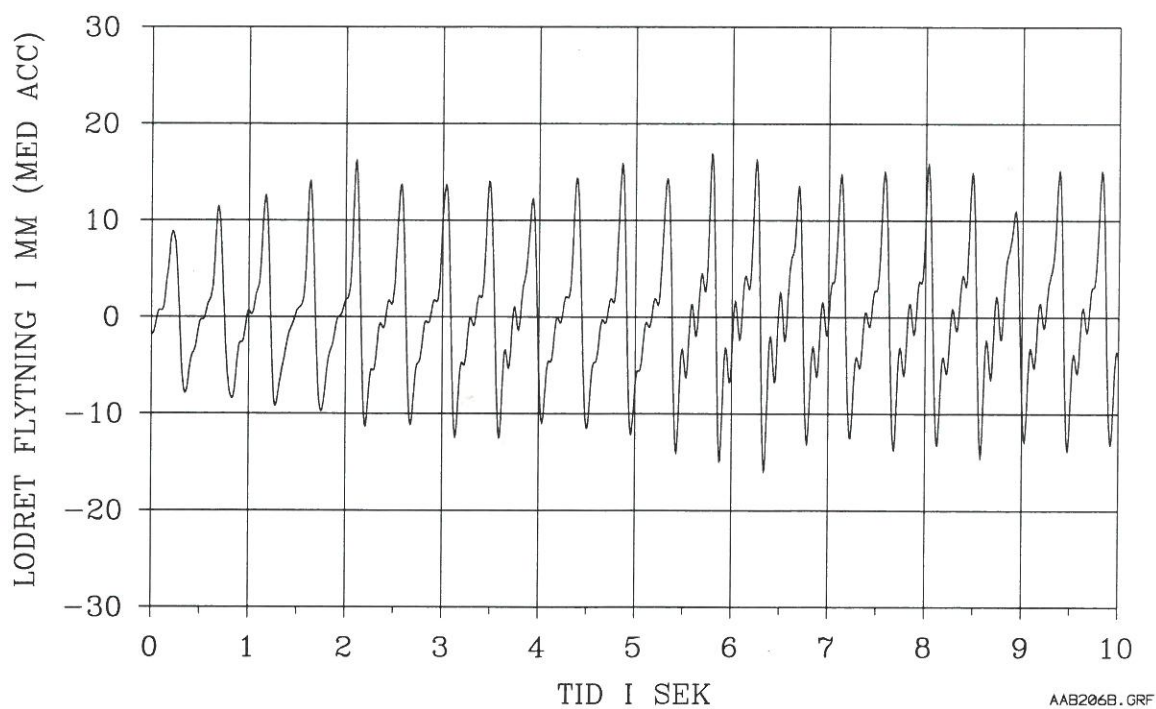


Figur H.4 Betontøjning i overside fra 3 hoppende personer (utakt)

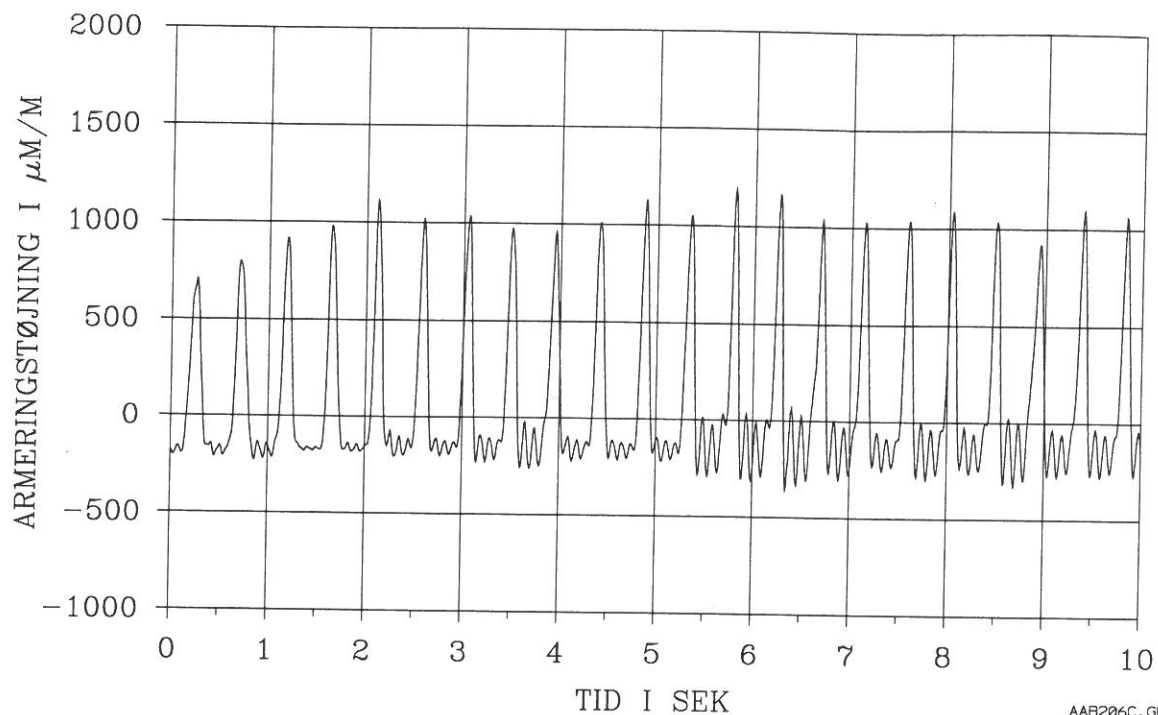
BILAG I Forsøgsresultater med 5 personer, som hopper i takt



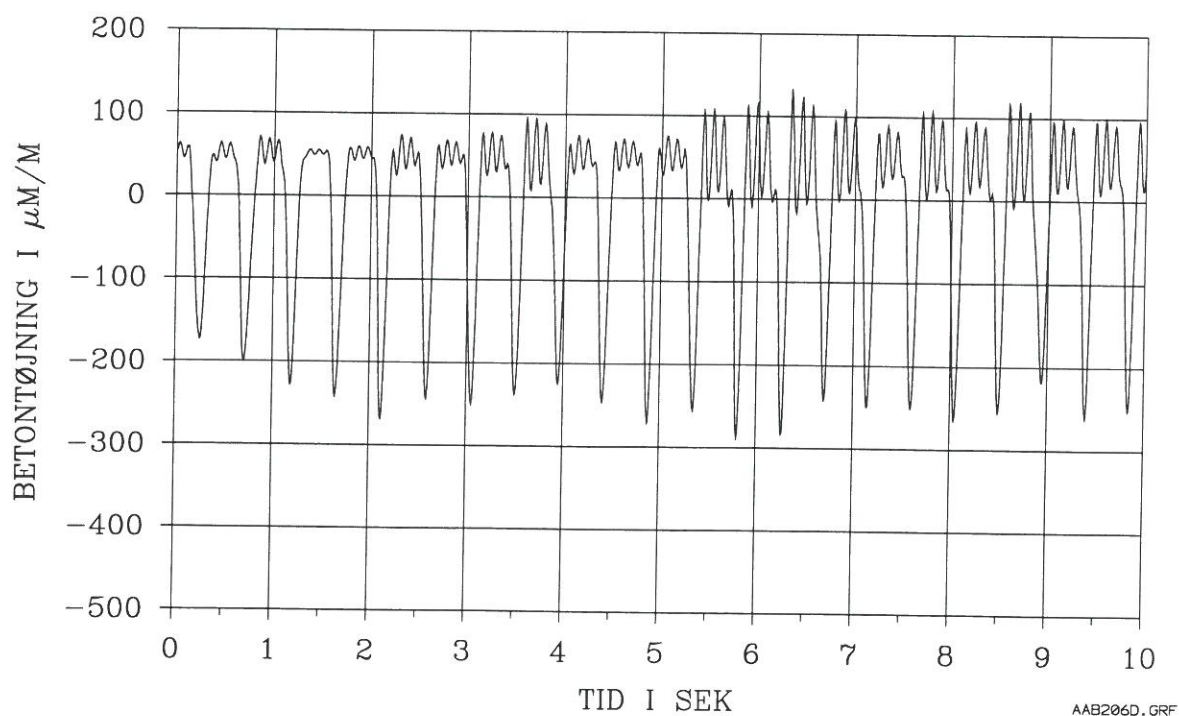
Figur I.1 Lodret flytning fra 5 hoppende personer (takt) målt med induktiv flytningstransducer



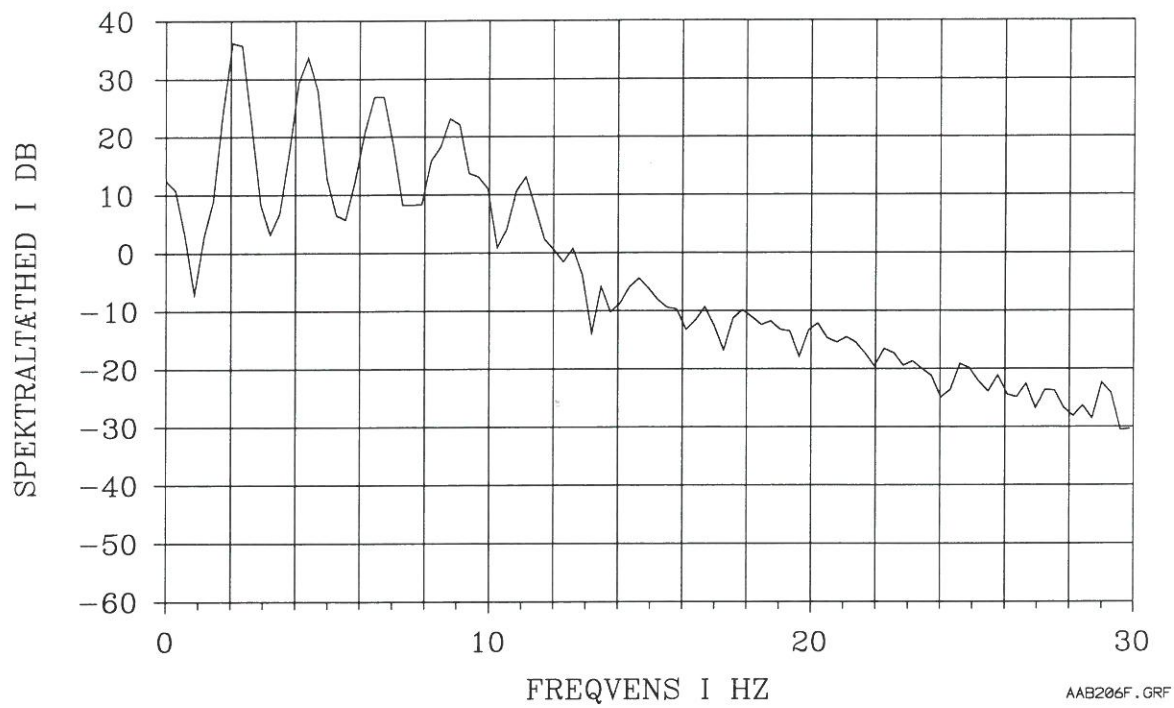
Figur I.2 Lodret flytning fra 5 hoppende personer (takt) fra accelerometer



Figur I.3 Armeringstøjning fra 5 hoppende personer (takt)

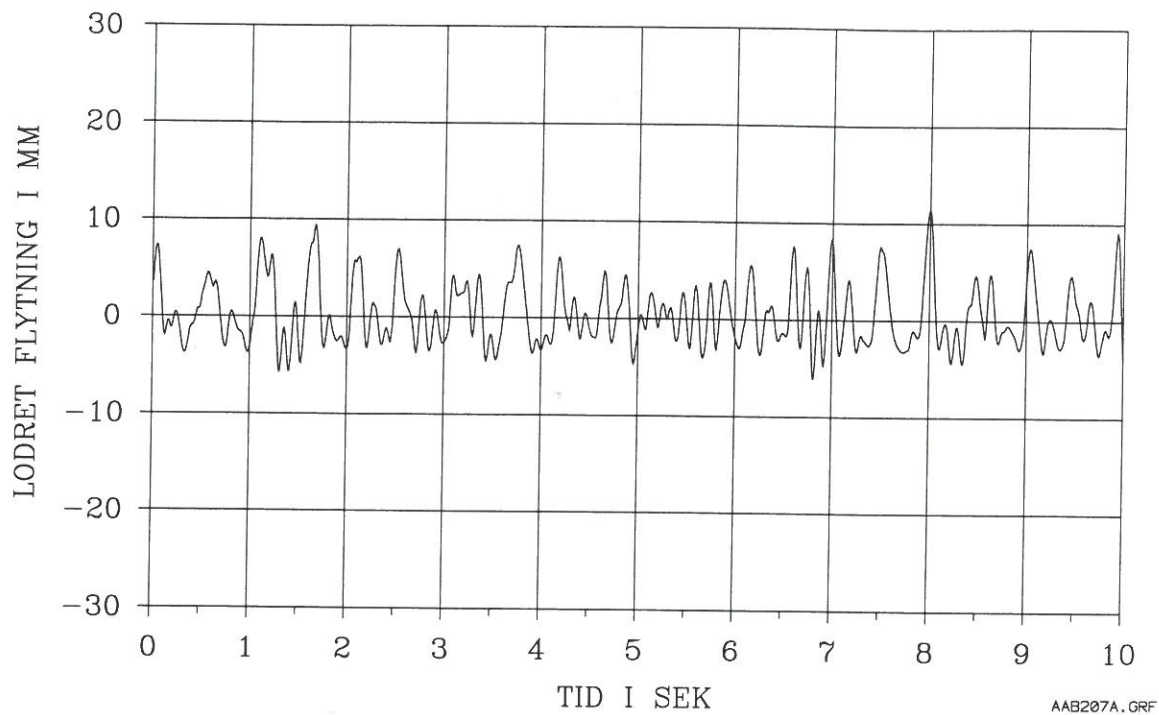


Figur I.4 Betontøjning i overside fra 5 hoppende personer (takt)

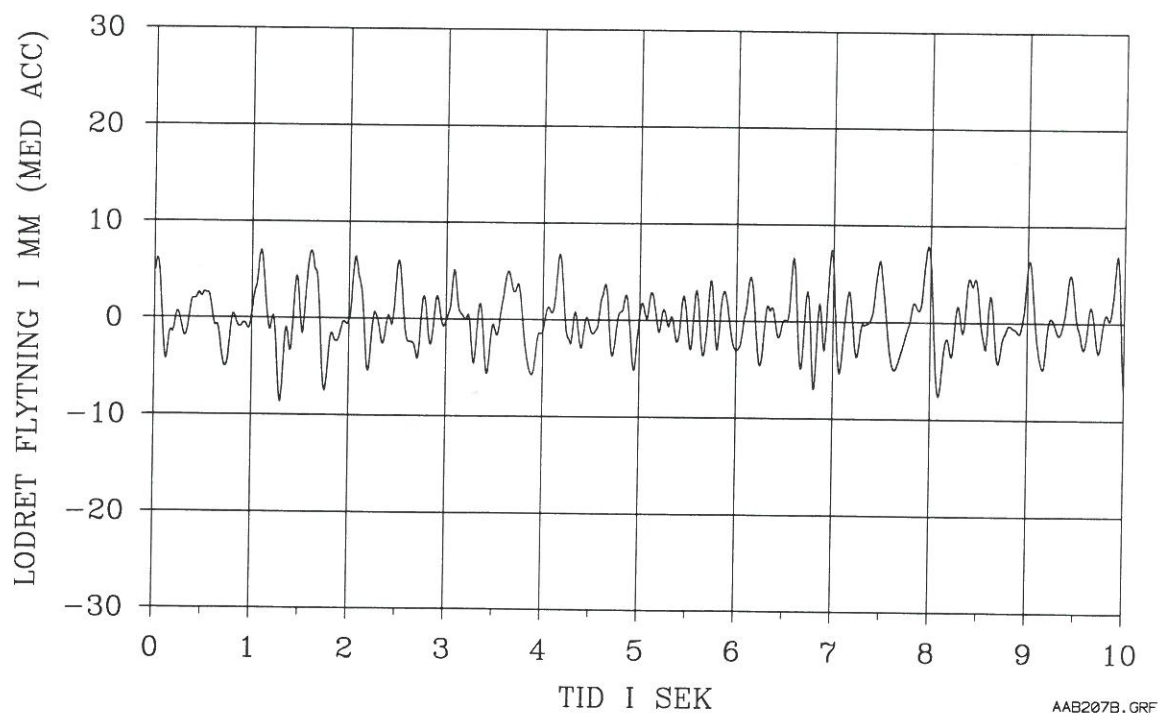


Figur I.5 **Spektraltæthed for lodret flytning fra induktiv flytningstransducer fra 5 hoppende personer (takt)**

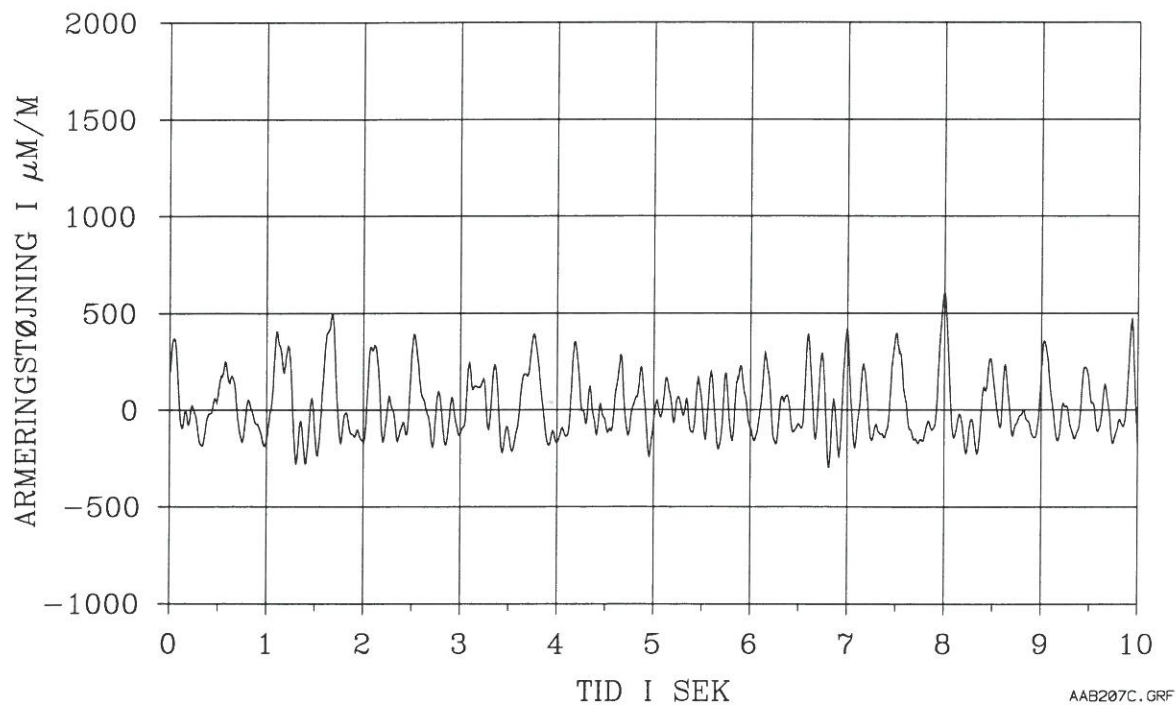
BILAG J Forsøgsresultater med 5 personer, som hopper i utakt



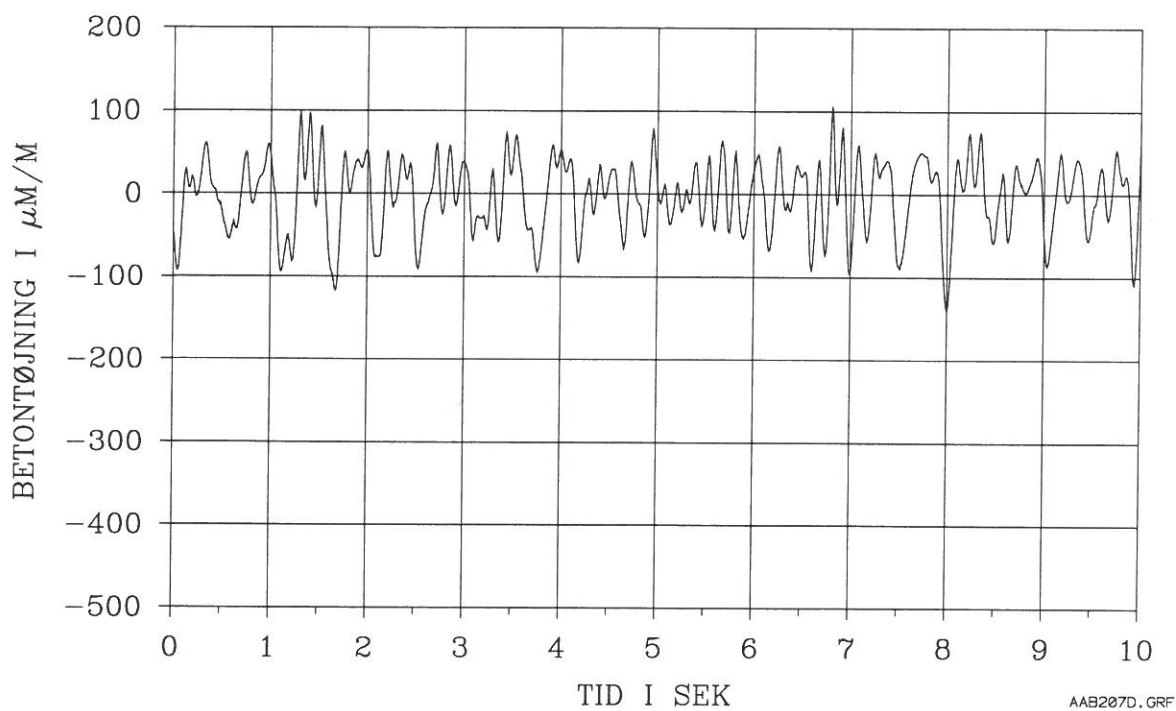
Figur J.1 Lodret flytning fra 5 hoppende personer (utakt) målt med induktiv flytningstransducer



Figur J.2 Lodret flytning fra 5 hoppende personer (utakt) fra accelerometer

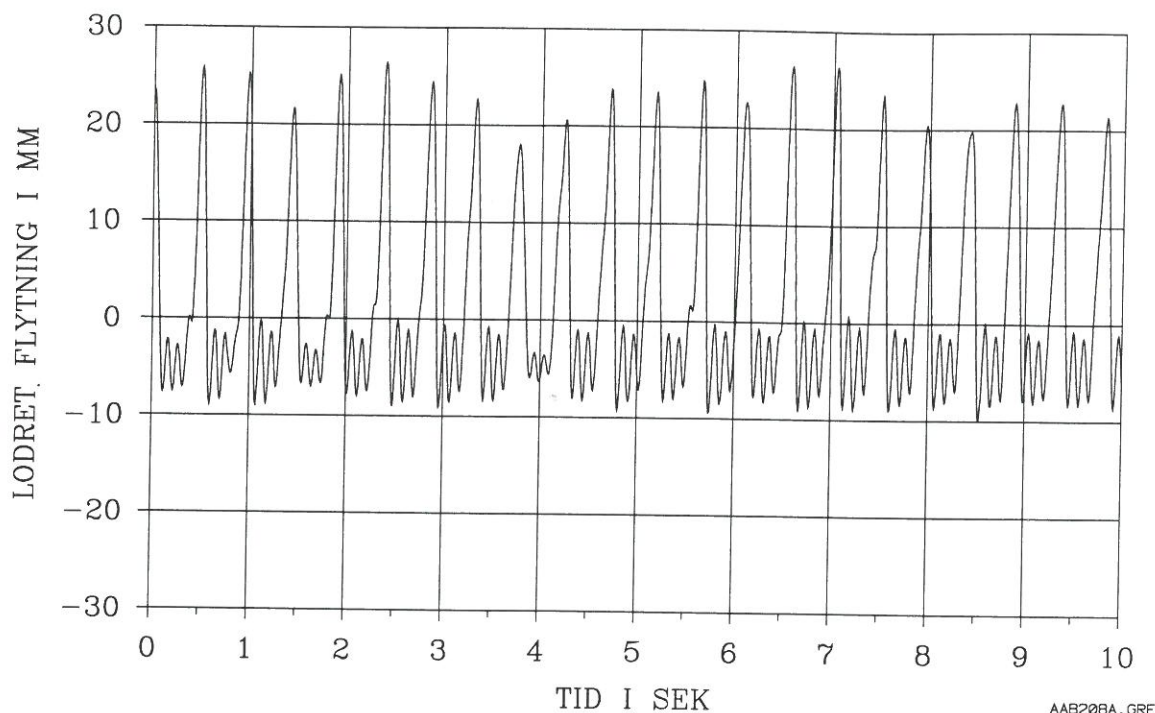


Figur J.3 Armeringstøjning fra 5 hoppende personer (utakt)

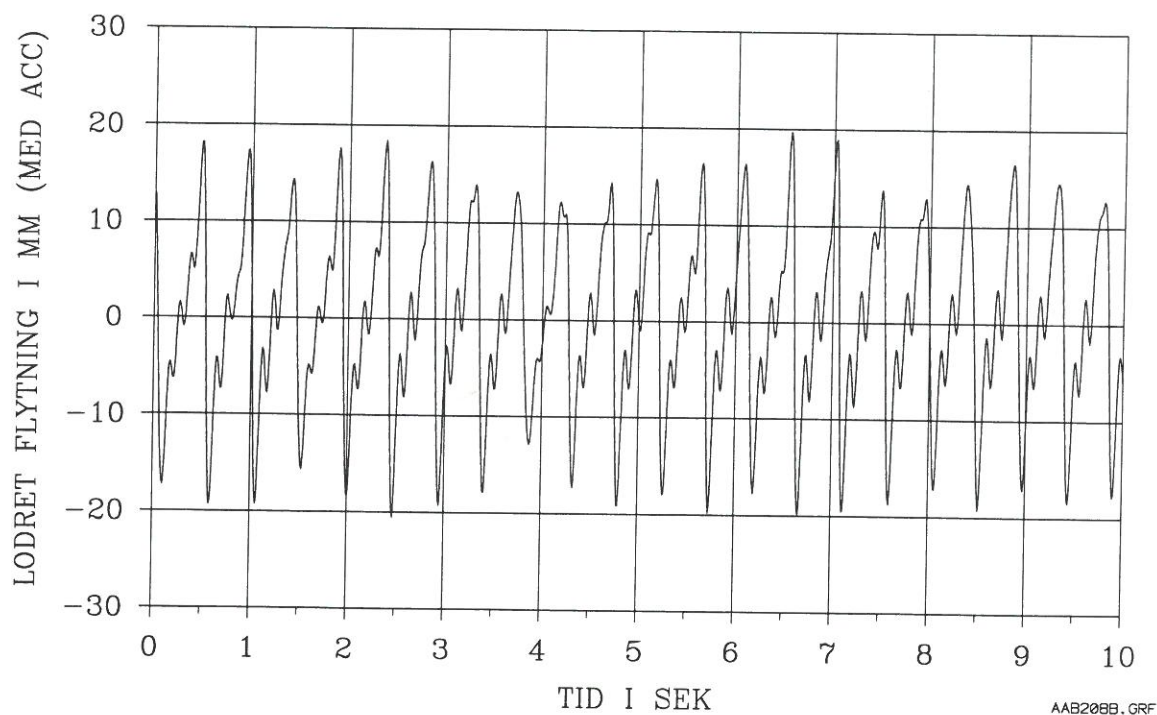


Figur J.4 Betontøjning i overside fra 5 hoppende personer (utakt)

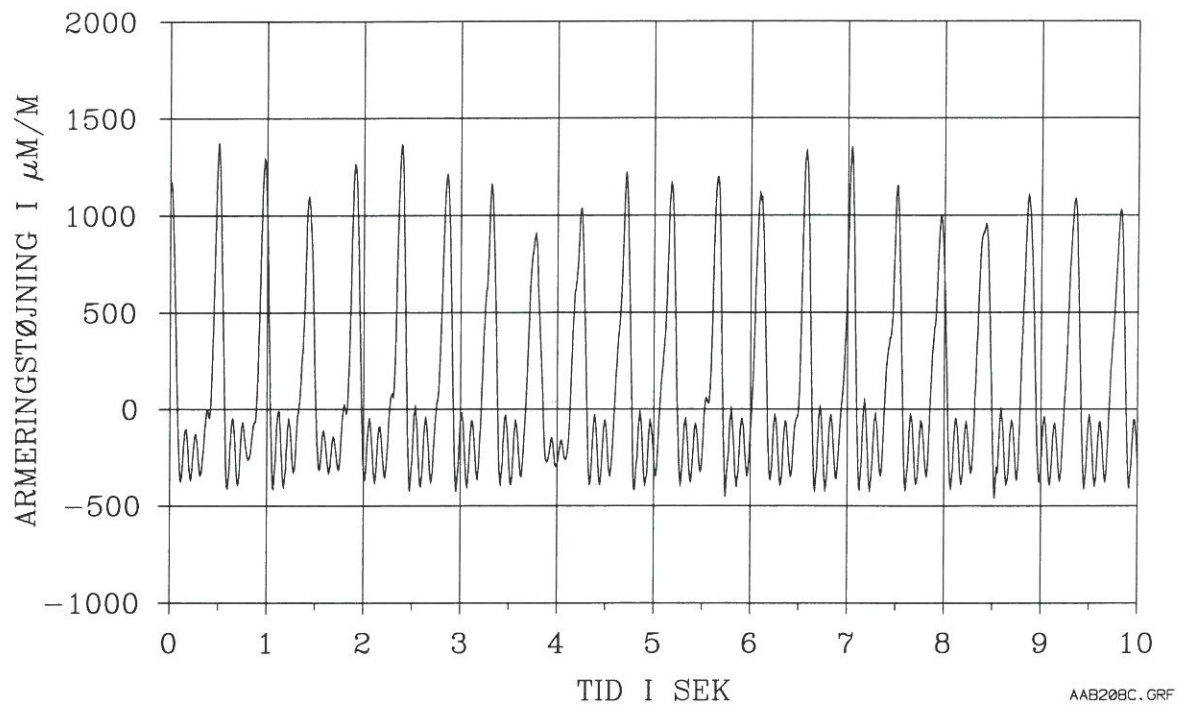
BILAG K Forsøgsresultater med 7 personer, som hopper i takt



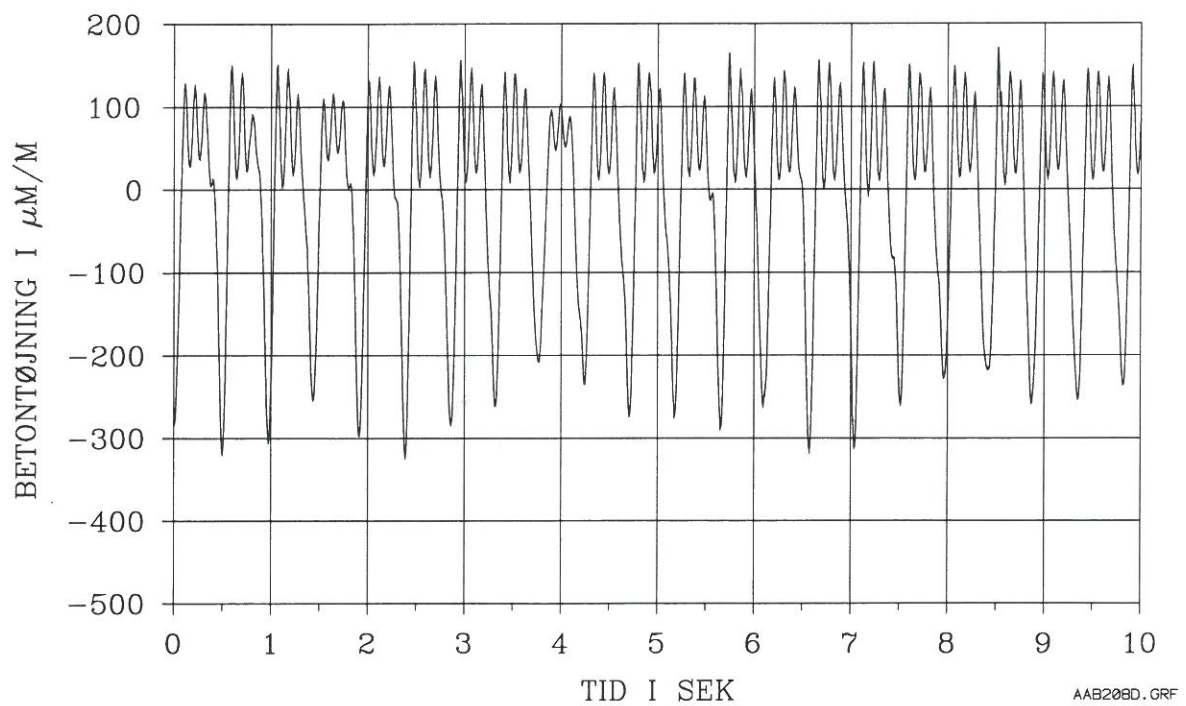
Figur K.1 Lodret flytning fra 7 hoppende personer (takt) målt med induktiv flytningstransducer



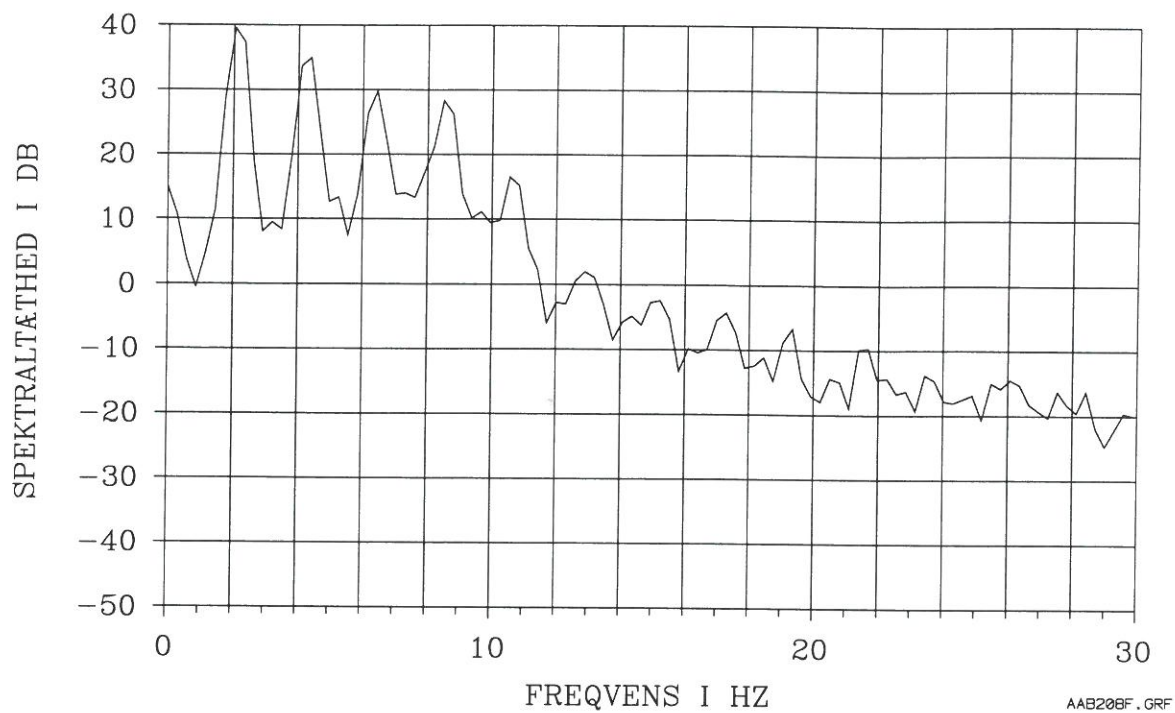
Figur K.2 Lodret flytning fra 7 hoppende personer (takt) fra accelerometer



Figur K.3 **Armeringstøjning fra 7 hoppende personer (takt)**

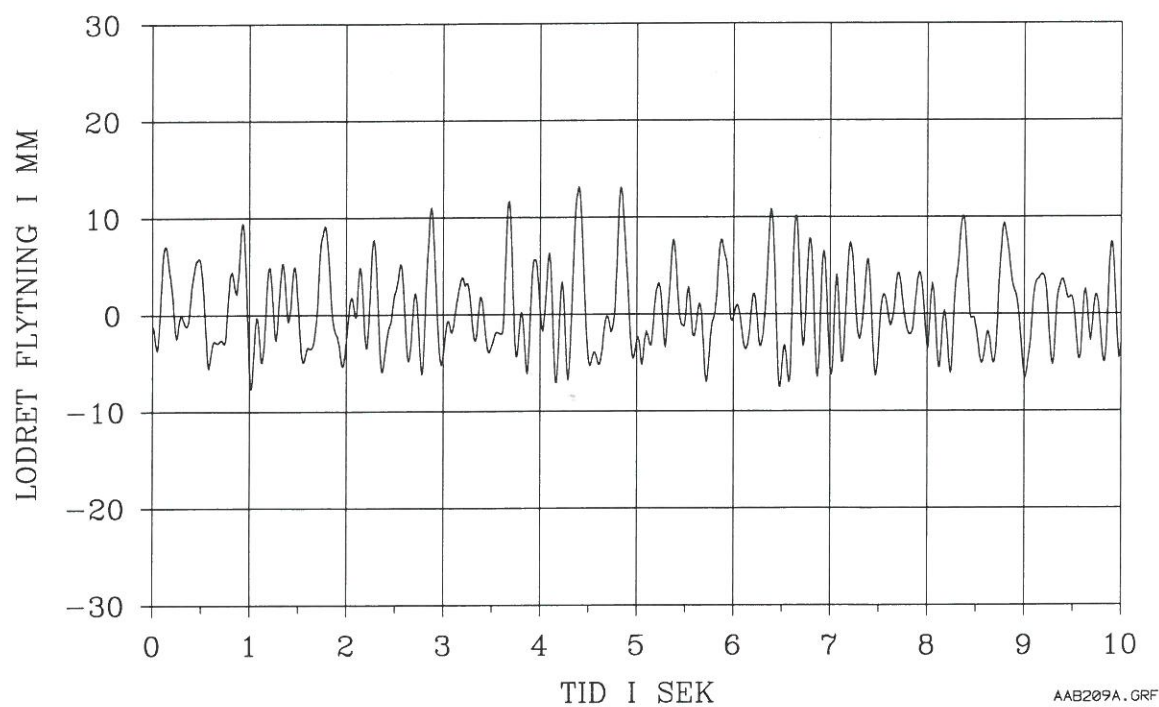


Figur K.4 **Betontøjning i overside fra 7 hoppende personer (takt)**

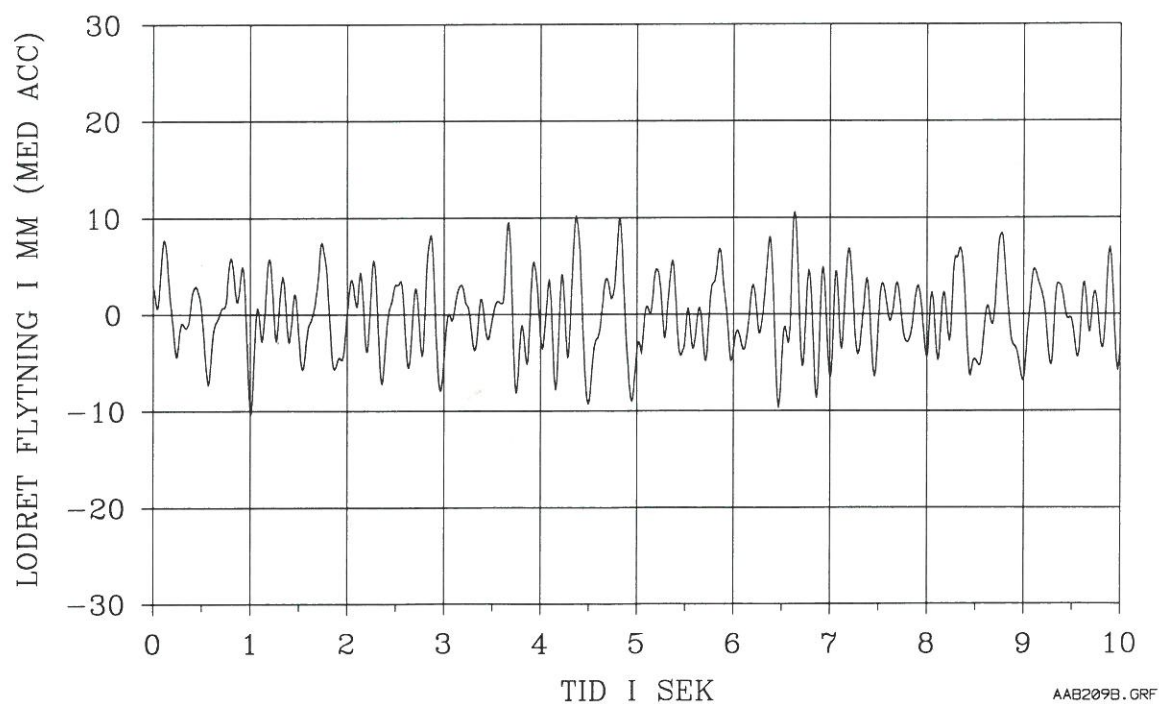


Figur K.5 **Spektraltæthed for lodret flytning fra induktiv flytningstransducer fra 7 hoppende personer (takt)**

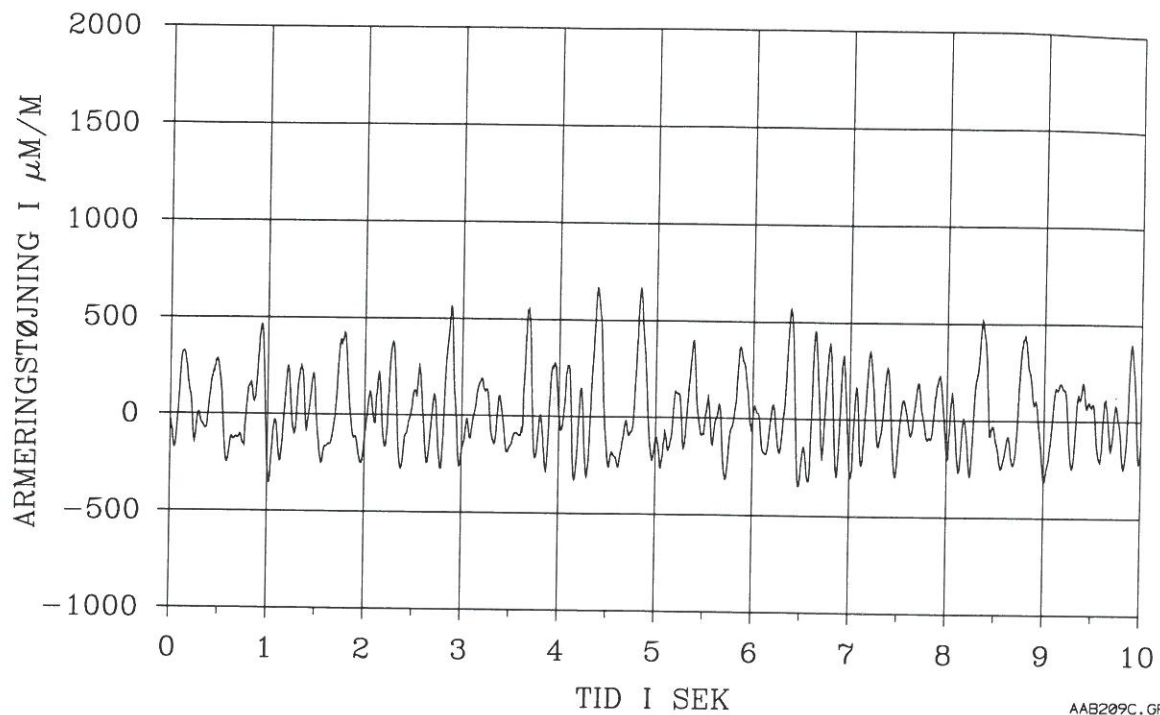
BILAG L Forsøgsresultater med 7 personer, som hopper i utakt



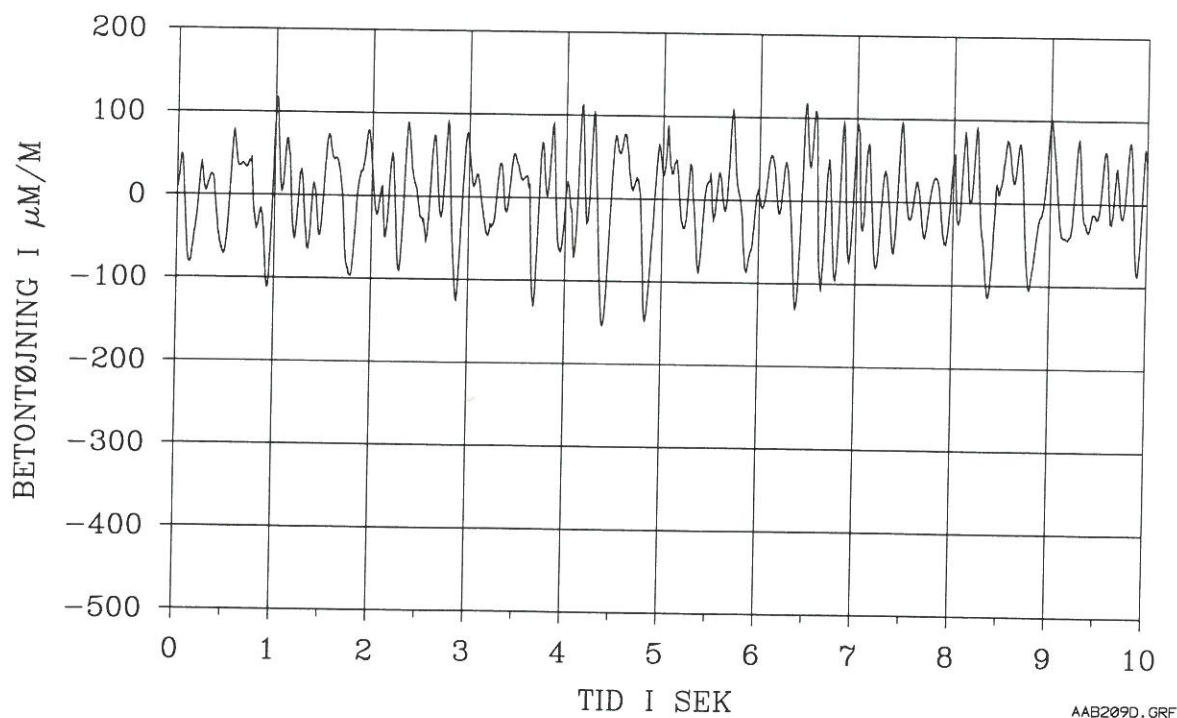
Figur L.1 Lodret flytning fra 7 hoppende personer (utakt) målt med induktiv flytningstransducer



Figur L.2 Lodret flytning fra 7 hoppende personer (utakt) fra accelerometer

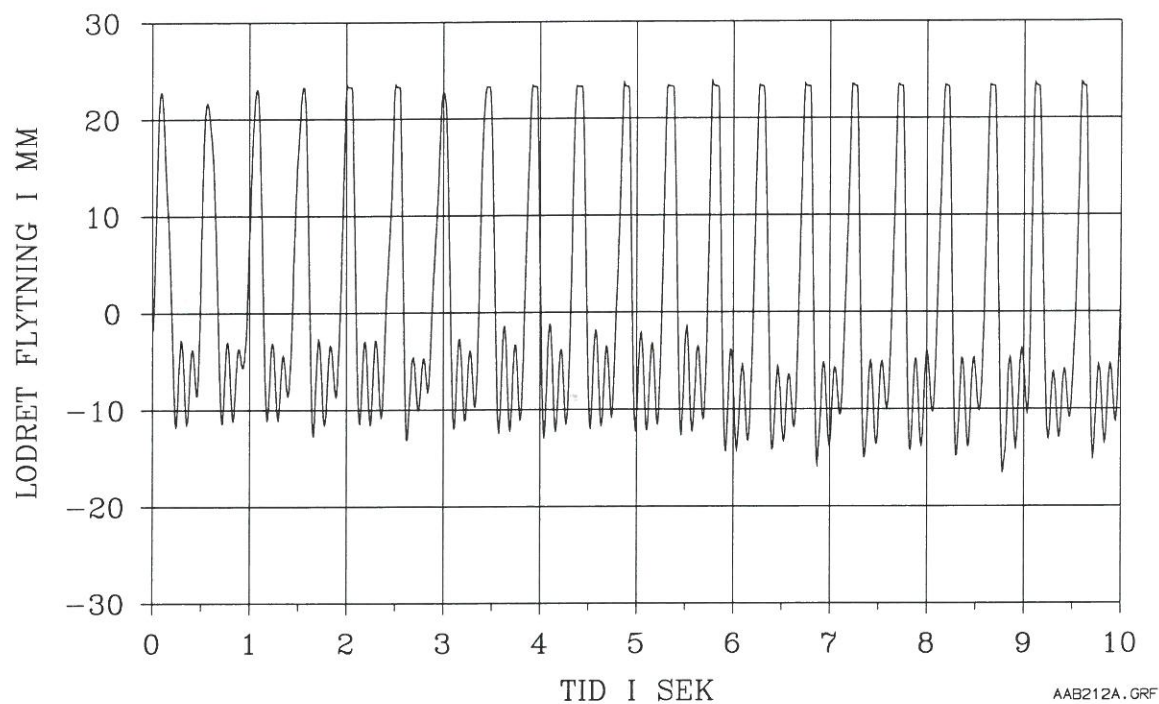


Figur L.3 Armeringstøjning fra 7 hoppende personer (utakt)

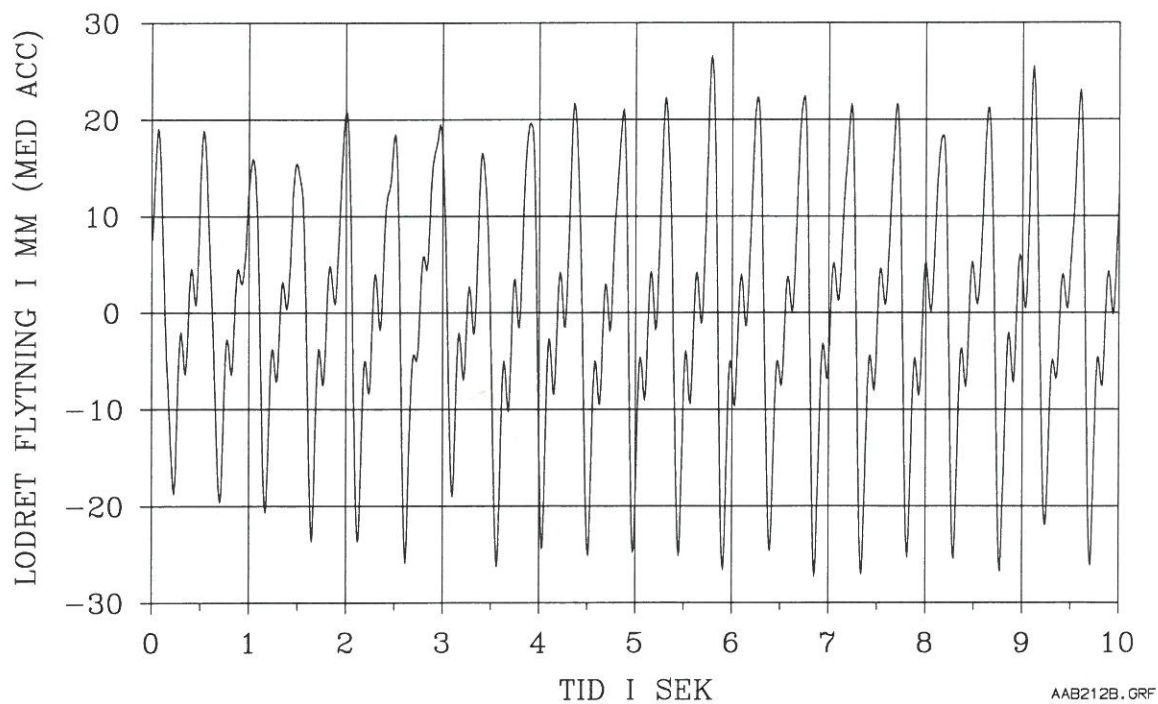


Figur L.4 Betontøjning i overside fra 7 hoppende personer (utakt)

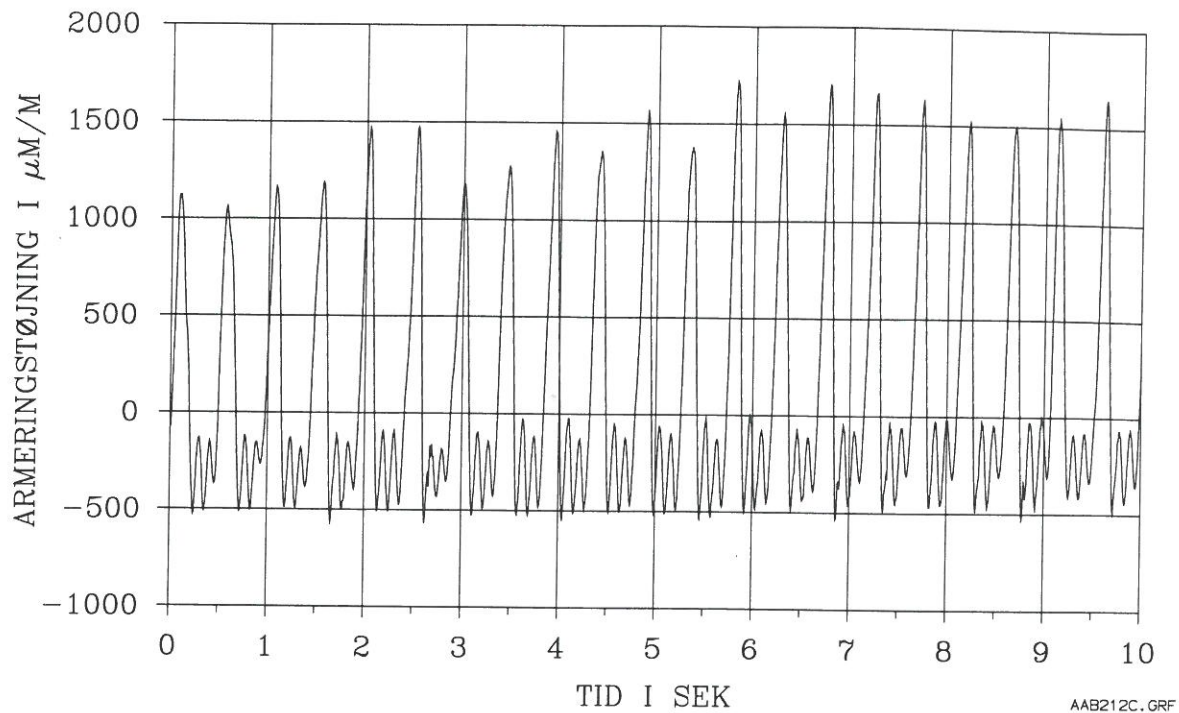
BILAG M Forsøgsresultater med 12 personer, som hopper i takt



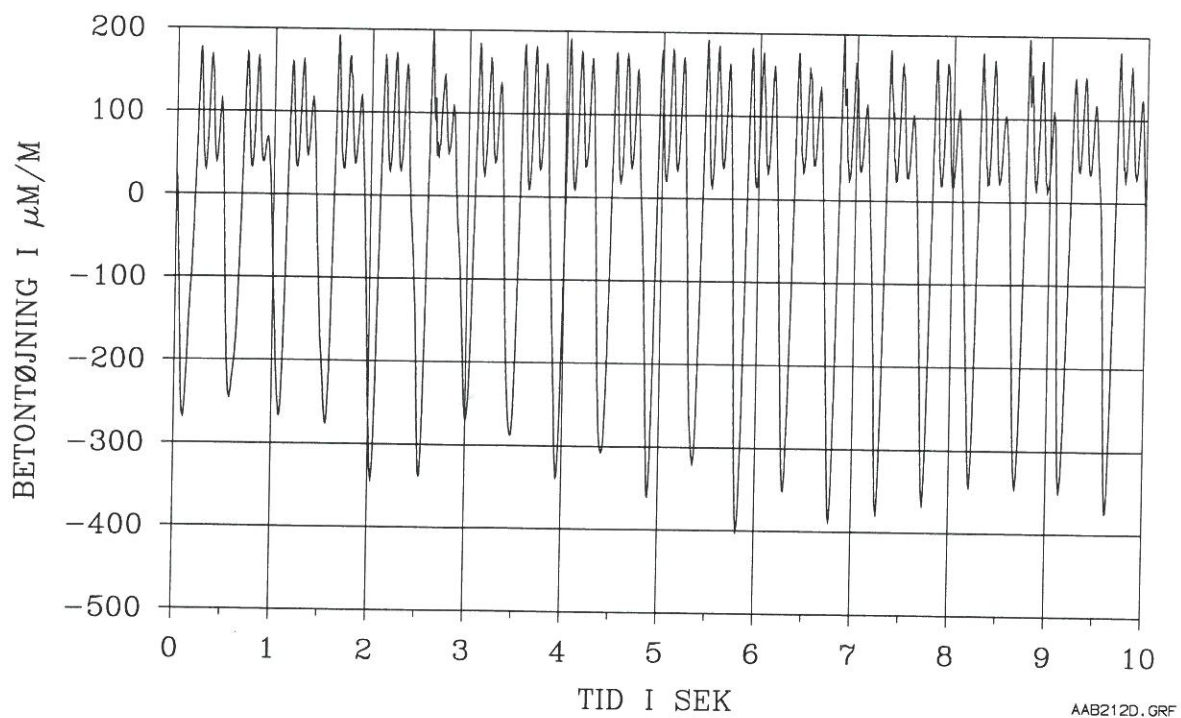
Figur M.1 Lodret flytning fra 12 hoppende personer (takt) målt med induktiv flytningstransducer



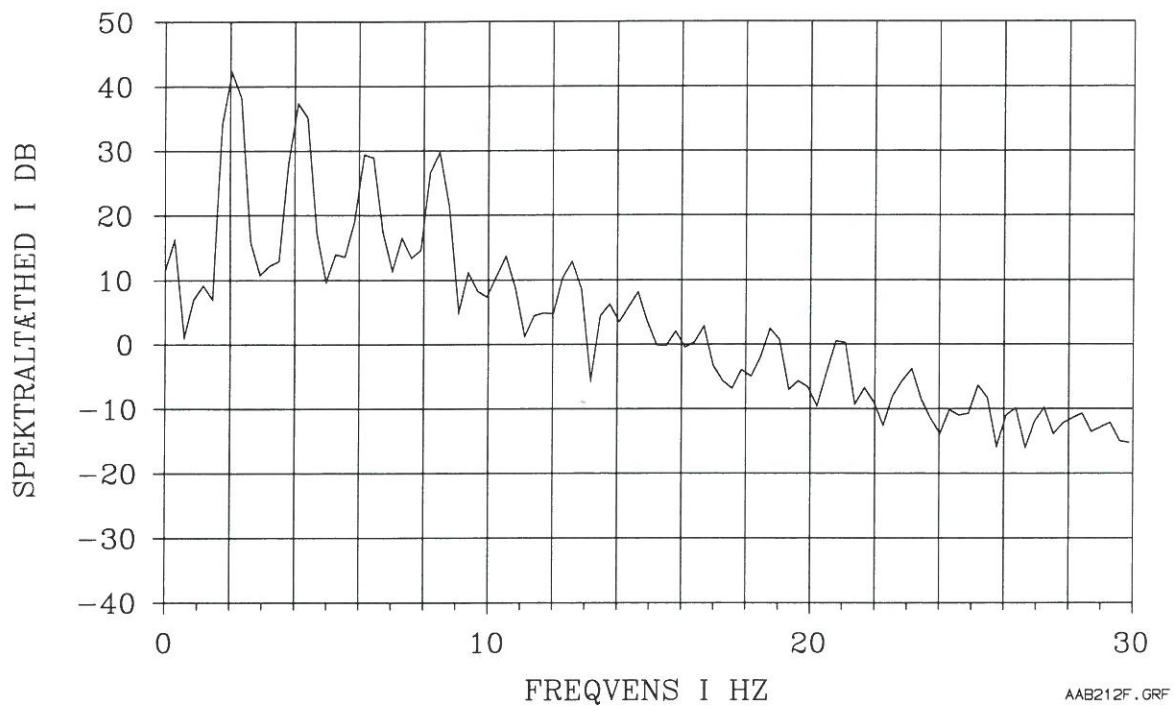
Figur M.2 Lodret flytning fra 12 hoppende personer (takt) fra accelerometer



Figur M.3 **Armeringstøjning fra 12 hoppende personer (takt)**



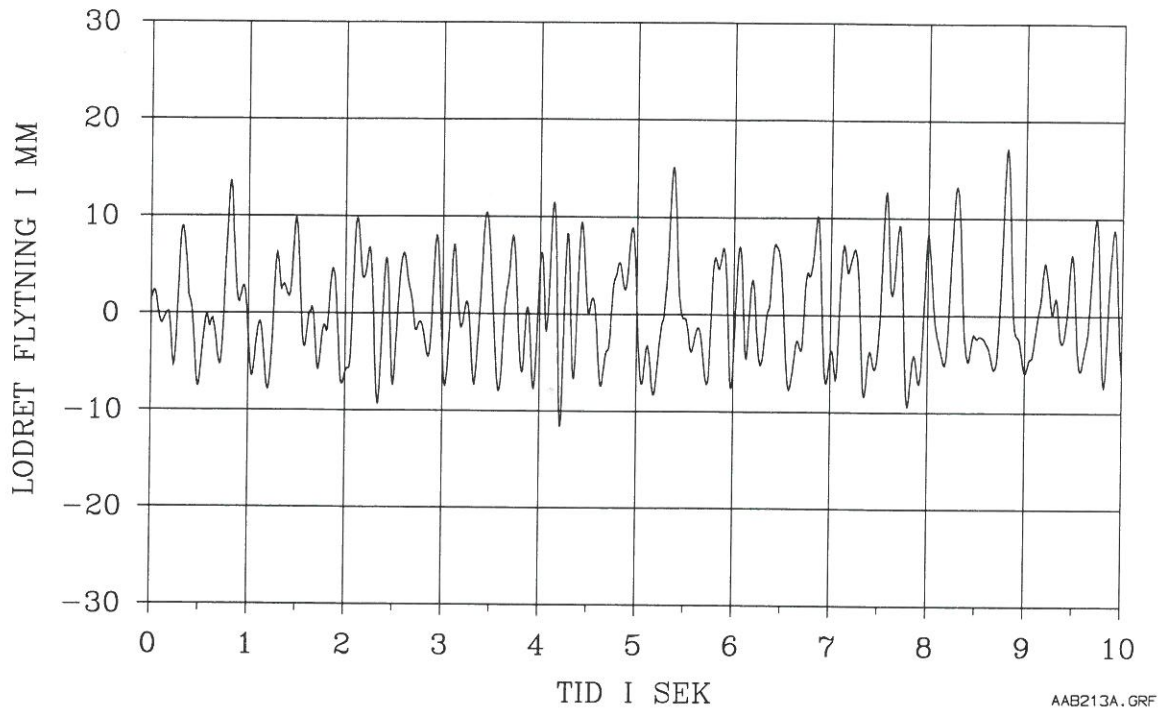
Figur M.4 **Betontøjning i overside fra 12 hoppende personer (takt)**



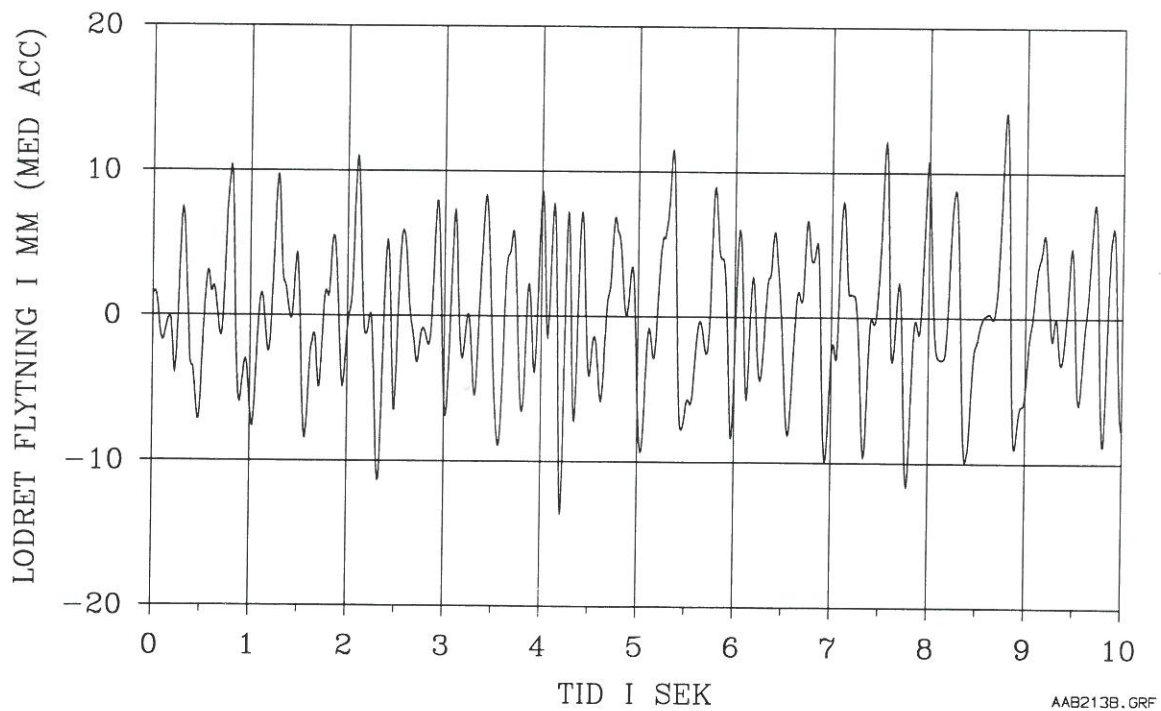
AAB212F.GRF

Figur M.5 **Spektraltæthed for lodret flytning fra induktiv flytningstransducer fra 12 hoppende personer (takt)**

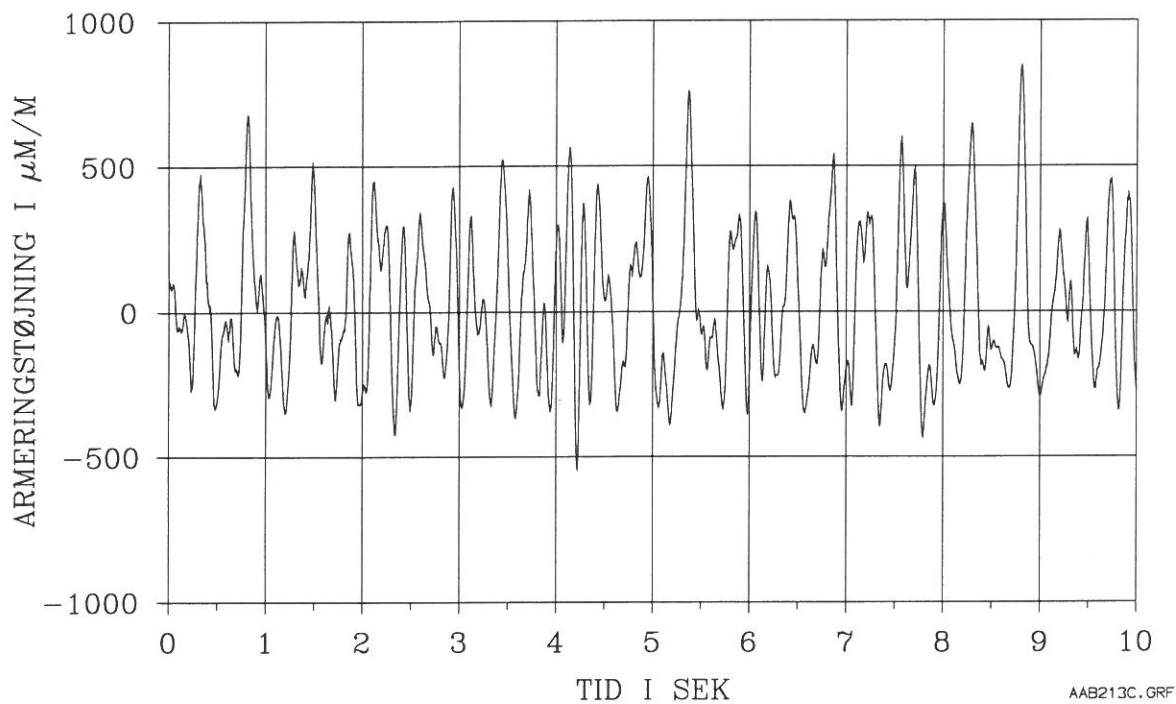
BILAG N Forsøgsresultater med 12 personer, som hopper i utakt



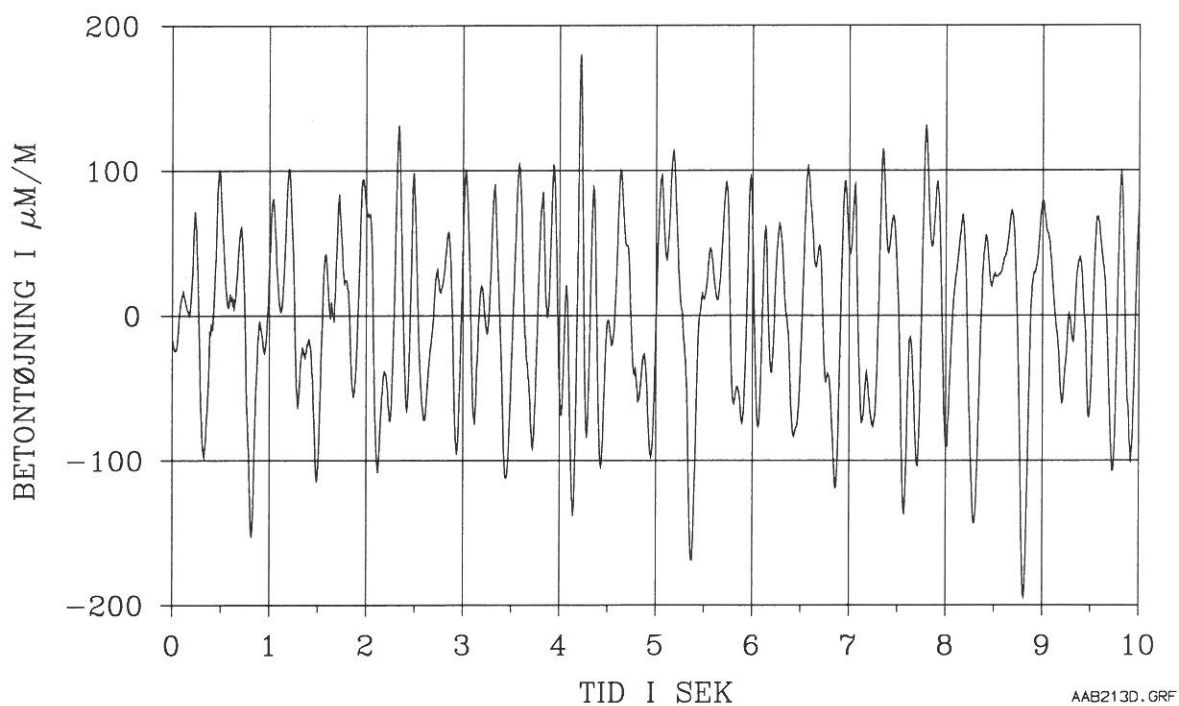
Figur N.1 Lodret flytning fra 12 hoppende personer (utakt) målt med induktiv flytningstransducer



Figur N.2 Lodret flytning fra 12 hoppende personer (utakt) fra accelerometer



Figur N.3 Armeringstøjning fra 12 hoppende personer (utakt)



Figur N.4 Betontøjning i overside fra 12 hoppende personer (utakt)

