



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Slutrapport for betonelementbyggeri i jordskælvsområder

Rathkjen, Arne

Publication date:
1994

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Rathkjen, A. (1994). *Slutrapport for betonelementbyggeri i jordskælvsområder*.

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.

Slutrapport
for
Betonelementbyggeri i jordskælvsområder

STVF ref. 16-5254-1

Betonelementbyggeri i jordskælvsområder

STVF ref. 16-5254-1

1. INDLEDNING OG PROJEKTOPLÆG

Denne rapport beskriver forløbet af ovennævnte program, idet der i nærværende kapitel 1 gøres rede for projektoplægget, herunder beskrivelse af de enkelte projekter, således som disse blev beskrevet ved programmets start i 1993.

I kapitel 2 beskrives projektførløbene for de enkelte projekter og i kapitel 3 resultater og konklusioner for de enkelte projekter.

Kapitel 4 giver en oversigt over de publikationer, som er udarbejdet af programmets medarbejdere under projekterne og i kapitel 5 beskrives resultaternes betydning.

Sluttelig indeholder kapitel 6 givet en kort regnskabsoversigt og kapitel 7 en kort afslutning.

Programmet er udført dels ved Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, DTU og dels ved Institut for Bygningsteknik, AAU og den altovervejende del af arbejdet er udført i form af Ph.D. projekter som følger:

- Projekt 1: Ultimate Capacity of Joints in Precast Large Panel Concrete Buildings
 Ph.D. studerende Jens Christoffersen, DTU
 Hovedvejleder: Professor, dr. techn. M. P. Nielsen, DTU
 Påbegyndt: 1.2.92.
- Projekt 2: Non-linear FEM Analysis of 2D Concrete Structures
 Ph.D. studerende Lars Jagd, DTU
 Hovedvejleder: Professor, dr. techn. M. P. Nielsen, DTU
 Påbegyndt: 1.6.93.
- Projekt 3: Key Joints in Shear Wall Structures subjected to Earthquakes
 Ph.D. studerende Kirsten Guldbæk Jensen, AAU
 Hovedvejleder: Lektor, lic. techn. Arne Rathkjen, AAU
 Påbegyndt: 1.9.93.
- Projekt 4: Constitutive Properties of Cracked Concrete Structures
 Ph. D. studerende Jin-Ping Zhang, DTU
 Hovedvejleder: Professor, dr. techn. M. P. Nielsen, DTU
 Påbegyndt: 1.6.93.

Projekt 5: Plastic Theory applied to Shear Walls
Ph. D. studerende Junying Liu, DTU
Hovedvejleder: Professor, dr. techn. M. P. Nielsen, DTU
Påbegyndt: 1.4.94.

Projekt 1 hører egentligt ikke med til programmet, og der er ikke benyttet økonomiske midler fra programmet til dette projekt. Alligevel er projektet medtaget i denne slutrapport, da der har været et nært samarbejde mellem projektdeltagerne i projekt 1 og 2. Endvidere virkede Jens Christoffersen som en væsentlig støtte og inspirator for programmet ved dets start.

Projekt 2 og 3 er "almindelige" Ph.D. projekter finansieret over programmets midler efter de sædvanlige regler, hvorimod projekt 4 og 5 med hensyn til finansieringen er specielle, idet disse projekter kun delvist er finansieret af programmets midler og kun i ret begrænset omfang, idet der har været tale om specielle Ph.D. finansieringer for disse 2 udenlandske studerende.

Det første skridt til programmet blev taget ved indsendelse af en ansøgning i december 1992 på ialt kr. 4,12 mill., se bilag A.

Som svar på denne ansøgning meddelte STVF d. 5. 2. 1993, at der kunne bevilges kr. 2,4 mill. til ansættelse af 2 VIP (Ph.D.) i 3 år, se bilag B, idet der så skulle foretages en revision af den oprindelige ansøgning svarende til den reducerede bevilling.

Det reviderede program er beskrevet i en skrivelse dateret 22.6.93, hvoraf det fremgår, at der arbejdes med 3 Ph.D. projekter, nemlig projekt 2, 3 og 4, som anført tidligere. Endvidere deltager Jens Christoffersen (projekt 1) i programmet. Der henvises til bilag C.

STVF bevilgede d. 25.6.93 en foreløbig projektbevilling på kr. 150.000,- og meddelte, at der senere ville blive taget stilling til den reviderede plan af 22.6.93, se bilag D.

Den endelige bevilling på kr. 2,4 mill. skete i skrivelse fra STVF dateret 8.9.93, se bilag E.

Der er udarbejdet en statusrapport for perioden 1.6.93 - 1.4.94, som er fremsendt til STVF 18.4.94. Rapporten er vedlagt som bilag F.

Endvidere blev Liu Junying, projekt 5, tilknyttet programmet 1.4.94 med beskeden økonomisk støtte.

Herudover er der til STVF indsendt delregnskaber både fra DTU og AAU.

2. BESKRIVELSE AF PROJEKTFORLØBENE

Dette kapitel indeholder en beskrivelse af de 5 projektførøb, som programmet består af, idet beskrivelsen af projekt 1 er lidt kortere end for de øvrige da projektet fagligt, men ikke økonomisk er knyttet til programmet.

2.1 Beskrivelse af projektforsløb for projekt 1

Ultimate Capacity of Joints in Precast Large Panel Concrete Buildings

Ph. D. studerende Jens Christoffersen, DTU

Projektet blev indledt med en gennemgang af litteratur inden for følgende områder:

- generelle metoder og specielt metoder for dimensionering af betonkonstruktioner i jordskælvsområder
- konstitutiv modellering af beton ved cyklisk belastning fortrinsvis ved anvendelse i bjælker, rammer og skiver
- virkningen af betons opførsel på grund ved stærk bøjlearmering eller andet, der hindrer betons tværudvidelse ved tryk (confined concrete)

Herefter blev der arbejdet med modellering af samlinger i betonelementbyggeri både for monoton og cyklisk last og der udvikledes nye beregningsmetoder for en del typiske samlinger ved monoton last. Der blev endvidere undersøgt forskellige muligheder for at udføre lodrette samlinger i betonelementbyggeri med skrå armeringsstænger monteret efter elementernes montering. Projektet blev afsluttet med studium af forskellige metoder til renovering og opgradering af samlinger efter en ødelæggende jordskælvspåvirkning.

Der er under projektforsløbet skrevet en række afhandlinger sammen med hovedvejlederen og Ph. D. studerende Lars Jagd (projekt 2) om de såkaldte HOTCH-POTCH plade-, skive- og skal-elementer samt en artikel om "Danish High Performance Concretes".

2.2 Beskrivelse af projektforsløb for projekt 2

Non-linear FEM Analysis of 2D Concrete Structures

Ph.D. studerende Lars Jagd, DTU

Ph.D. studiet blev indledt med et litteraturstudium. Herunder blev der studeret kontinuummekanik, numeriske metoder bl.a. elementmetoden samt eksisterende forslag til numerisk modellering af armeret beton (Ottosen, Vecchio/Collins, Cervenka, Okamura m.fl.).

I første halvår af 1994 fortsatte studiet af eksisterende edb-programmer for armeret beton, og der blev foretaget et indgående studium af plasticitetsteori, dels teorien for perfekt plastiske materialer og dels teorien for materialer med deformationshærdning og materialer med deformationssvækkelse (softening). Endelig blev studeret de forskellige forslag, der har været fremsat til behandling af revnedannelse i beton samt forslag til hensyntagen til skiftende revneretninger.

Det næste halvår af 1994 og i første halvår af 1995 studeredes hysteresemodeller og forslag til numerisk modellering af cyklisk belastning. Udarbejdelse af eget edb program blev påbegyndt. Herudover blev optimeringsrutiner også studeret - optimeringsrutiner, som er baseret på lineær programmering samt deres anvendelse ved bæreevneberegning og armeringsoptimering for konstruktioner af perfekt plastisk materiale.

I andet halvår af 1995 forsattes udviklingen af det førnævnte edb program. Formålet med

programmet er at kunne beregne armerede bjælker, skiver, plader og skaller af beton både for monoton og cyklisk last. Programmet blev afprøvet på en lang række konstruktionselementer for hvilke der foreligger forsøgsresultater.

Desuden deltog Lars Jagd i en international konkurrence vedrørende beregning af en væg for hvilken der var udført rystebordsforsøg i Japan.

Første halvår af 1996 fortsatte med afprøvning af edb programmet og Lars Jagd deltog i et møde i Japan vedrørende den ovenfor nævnte internationale konkurrence, hvor deltagerne fremlagde deres resultater.

Som anført under projekt 1 er der under projektforløbet skrevet en række publikationer.

2.3 Beskrivelse af projektforløb for projekt 3 **Key Joints in Shear Wall Structures subjected to Earthquakes** **Ph.D. studerende Kirsten Guldbæk Jensen, AAU**

Projektet omhandler lodrette, fortandede fuger i elementbyggeri udsat for jordskælv. Projektets udgangspunkt har været et ønske om at kunne udvide markedet for danske byggesystemer til at omfatte områder med jordskælv. Under store vekslende belastninger, som jordskælvsbelastninger, nedbrydes fugematerialet hurtigt, og projektets formål har været at belyse disse nedbrydningsforhold og om muligt at forbedre fugens lastoptagelse under vekslende last. Sammenhængen mellem fugernes last og flytningsforhold, d.v.s. arbejdskurver, er blevet nøjere undersøgt med særlig fokus på områderne efter maksimallast.

Det første studieår blev hovedsageligt benyttet til et litteraturstudium og til tilegnelse af grundlæggende teori.

Litteraturstudiet i forbindelse med projektet viste, at fortandede forskydningspåvirkede fugers arbejdskurve kun er undersøgt i området før maksimallast, og at disse undersøgelser er baseret på eksperimenter. Designformler for fuger er baseret på plasticitetsteorien og kalibreret til forsøgsresultater. Designformlerne kan derved kun estimere maksimallasten og siger ikke noget om arbejdskurverne. Endvidere viste studiet, at den hastige nedbrydning i beton under vekslende forskydningspåvirkning ikke er ukendt, og at udnyttelse af denne virkemåde direkte frarådes i jordskælvsområder af førende designere i jordskælvs kredse.

Det andet studieår blev benyttet til elementmetoden og dennes anvendelser specielt for jernbetonkonstruktioner samt til planlægning af den omfattende forsøgsserie med forskellige fugetyper.

Det tredje studieår blev benyttet til udførelse af forsøgene, forsøgsbearbejdning samt sammenligninger mellem de beregningsmæssige og eksperimentelle resultater.

I projektet er en fuge med givne dimensioner undersøgt under forskellige forhold. Undersøgelserne er i hovedsagen baseret på et stort antal forsøg med mange varierende parametre. Forsøgene er

således ikke regnet til statistisk resultatbehandling. Da der er forholdsvis få erfaringer vedrørende emnet, er de mange varierende parametre begrundet i ønsket om at få flest mulige oplysninger om fugernes opførsel indbyrdes under forskelligartede forhold. Arbejdskurverne er bestemt v.h.a. flytningsstyrede forsøg, hvorved områderne efter maksimallast kan findes. Der er udført forsøg for både statiske og vekslende belastninger, og forsøgene er ført helt frem til næsten nul-last, d.v.s. meget store flytninger. Forsøgene er udført i fuld skala for at undgå størrelseseffekter. Fugernes længde svarer dog kun til en halv etagehøjde.

Beregningsmæssige undersøgelser af fugen er baseret på brudmekanik i beton. Indenfor dette felt forskes der meget, og under litteraturstudiet fandtes lidt mere relevant materiale end for det eksperimentelle område. Dog er det stadig sparsomt og går mere på lokale opførsler såsom enkeltrevner. Analysen af fugen er udført numerisk for nogle af de samme forholds vedkommende som under eksperimenterne. Beregningsresultaterne, altså arbejdskurverne, blev dog kun bestemt for området før og under maksimallast. Årsagen til dette ligger i, at dette forskningsområde er i sin vorden, og på trods af, at det anvendte program er specielt designet til brudmekanik i beton og anvender de nyeste modeller, er det stadig utilstrækkeligt for den givne konstruktion med de givne påvirkninger.

2.4 Beskrivelse af projektforsøg for projekt 4

Constitutive Properties of Cracked Concrete Structures

Ph. D. studerende Jin-Ping Zhang, DTU

Projektet startede i 1993 med et studium af den basale plasticitetsteori (Prager, Chen, Nielsen) samtidig med, at der blev foretaget et litteraturstudium med indsamling af skriftligt materiale om forsøg med ikke-forskydningsarmerede bjælker.

I første halvdel af 1994 begyndte Jin-Ping Zhang at udvikle sin egen model for forskydningsbæreevnen af ikke-forskydningsarmerede bjælker. Endvidere blev andre modeller studeret (plasticitetsteori, Kani, Collins).

Dette blev der arbejdet videre på i næste halvår og forskellige versioner blev sammenlignet med et stort antal forsøgsresultater. Den bedste model blev publiceret i en rapport.

I første halvdel af 1995 blev der udviklet en mikromekanisk model for forskydningsbrud i beton. Formålet var primært at behandle forskydningsforsøg på revnede elementer af den såkaldte "push-off" type. For at komme igennem med denne ide var det nødvendigt at foretage en mindre ændring i projektet for at studere de basale egenskaber for cementpasta, aggregater og beton (Neville) mere dybtgående. Det blev også nødvendigt at studere stereologi. Den udviklede model blev derved mere generel, idet den også kunne beskrive trykbrud. Endvidere blev et stort antal forsøgsresultater med "push-off" forsøg indsamlet og sammenlignet med modellen.

I det efterfølgende halvår blev skive/væg modellering nøjere studeret (den danske model, Vecchio/Collins). På baggrund af eget tidligere arbejde blev styrken fastlagt ved at studere glidning i de indre revner som for ikke-forskydningsarmerede bjælker og endvidere blev der arbejdet med styrkereduktion af skiver/vægge med revner og spændingspåvirket armering på tværs.

2.5 Beskrivelse af projektforsøg for projekt 5

Plastic Theory applied to Shear Walls

Ph. D. studerende Junying Liu, DTU

Emnet for dette projekt har været bestemmelse af bæreevne og deformationer for forskydningsvægge, hvor den grundlæggende teori er plasticitetsteorien og resultatet af projektet er et forslag til en simpel metode hertil. Dette er af stor betydning og et vigtigt skridt til design af jordskælvs-sikre konstruktioner.

Projektet består udelukkende af teoretisk arbejde og der er således ikke knyttet egne forsøg til projektet. Formålet er at udvikle metoder, som kan bruges til "håndregning" eller brug af simple standardprogrammer f.eks. optimeringsprogrammer. Der har også været en udstrakt udveksling af information med nogle af de mest aktive udenlandske forsøgscentre på dette område.

Følgende emneområder er behandlet:

- Bæreevnen for forskydningsvægge bestemmes enten som et bøjningsbrud eller et forskydningsbrud. Der vil specielt blive fokuseret på forskydningsbrudmekanismen som er resultatet af en kombination af "strut" og bjælkepåvirkning. Der undersøges forskellige vægformer for enten monoton eller cyklisk last. Resultaterne vil blive sammenlignet med forsøgsresultater fundet i litteraturen.
- Forskydningsvæggens deformationer vil blive beregnet og resultaterne vil være af stor betydning for udviklingen af plasticitetsteorien.

Projektet er nært knyttet til det arbejde som udføres ved OECD Nuclear Energy Agency.

3 RESULTATER OG KONKLUSIONER

Dette kapitel indeholder en beskrivelse af de væsentligste resultater og konklusioner, som er opnået under arbejdet med de 5 projekter.

3.1 Resultater og konklusioner for projekt 1

Ultimate Capacity of Joints in Precast Large Panel Concrete Buildings

Ph. D. studerende Jens Christoffersen, DTU

Der gives i afhandlingen en oversigt over de vigtigste elementer i det såkaldte "Capacity Design Principle" samt en kort oversigt over plasticitetsteorien.

For en af de vigtigste samlinger i elementbyggeri, den fortandede fugesamling (shear key joint) opstilles en ny teori ved anvendelse af en gitteranalogi og der findes god overensstemmelse med forsøgsresultater. Der behandles både fuger med konventionel armering, forspændt armering og

med ydre normalkraft.

Endvidere er vandrette fuger, herunder etagekrydset behandlet og der udvikles en teori for beton under koncentreret last, som er mere generel end hidtil set. Der er udledt nye resultater for etagekrydsets bæreevne under hensyntagen til armering i væggenes top og bund. Også her findes der god overensstemmelse med forsøgsresultater fundet i litteraturen.

Sluttelig er der udviklet en ny model for styrken af beton sammenholdt på tværs af bøjler (confined concrete), hvor også forsøgsresultater og teori stemmer fint overens.

Det kan således konkluderes, at der er opstillet en del nye teorier, hvor specielt teorien for fortandede fuger og den nye teori for "omsluttet beton" (confined concrete) må forventes at få stor betydning i fremtiden.

3.2 Resultater og konklusioner for projekt 2 **Non-linear FEM Analysis of 2D Concrete Structures** **Ph.D. studerende Lars Jagd, DTU**

Der er i dette projekt udviklet et edb program baseret på finite element metoden (FEM), der kan beregne betonskiver, -plader og -skaller ud fra ikke-lineær materialeopførsel.

Der er blevet udviklet konstitutive betingelser, der beskriver betons opførsel i hele spændingsintervallet. Modellen tager udgangspunkt i betons enaksede ikke-lineære spændings-tøjningsrelation. Der er indført revnekriterier og betonens opførsel er modelleret i såvel urevnet som revnet tilstand. De konstitutive modeller er baseret på forholdsvis simple modeller med få parametre (sammenlignet med andre edb programmer).

De to vanskeligste problemer er modellering af glidning i tidligere dannede revner og reduktion af betons trykstyrke og disse to fænomener har en dominerende indflydelse på armeret betons bæreevne. Ved modelleringen af reduktionen af betonens trykstyrke benyttes resultater fra projekt 4, Jin-Ping Zhang.

I overensstemmelse med observationer ved forsøg giver modellen mulighed for roterende revneretninger (flere revneretninger er mulige). Endvidere kan der forekomme glidning i såvel gamle som nye revneflader.

FEM programmet har været benyttet til at foretage en beregning svarende til et stort antal forsøg fundet i litteraturen, hvilket gælder både bjælker, skiver, plader og skaller. Der er foretaget sammenligninger mellem beregnede resultater og forsøgsresultater og generelt er der fundet en meget fin overensstemmelse.

Det kan konkluderes, at programmet allerede på nuværende tidspunkt kan benyttes til beregning af armerede betonkonstruktioner og at resultaterne i form af f.eks. last/deformationskurver er pålidelige.

Projektets væsentligste nyskabelser er den udviklede model for hensyntagen til glidning i revner samt påvisningen af, at modellen fra projekt 4, Jin-Ping Zhang modellen, for den reducerede trykstyrke virker særdeles effektiv. Projektet vil således formentlig vise sig at have meget stor betydning for den fremtidige udvikling af ikke-lineære modeller for armeret beton.

3.3 Resultater og konklusioner for projekt 3

Key Joints in Shear Wall Structures subjected to Earthquakes

Ph.D. studerende Kirsten Guldbæk Jensen, AAU

De generelle resultater fra forsøgene og de numeriske analyser er, at en fuge udført med den af Den danske Betonelementforening anbefalede fugemørtel har en maksimallast, der kommer tæt på designformlens resultat. Fugen er meget skør, hvilket ses på et kraftigt fald på kurven efter maksimallast. For statisk belastning er der dog en vis bæreevnereserve, også for store flytninger. For vekslende belastninger er denne reserve dog udtømt allerede anden gang flytningen foretages, altså for den anden cyklus.

Fugens skøre opførsel efter maksimallast er søgt forbedret ved hjælp af tilsætning af stålfibre til fugemørtelen. Dette giver en klart forbedret duktilitet for den statiske belastning, mens der for den vekslende belastning ikke opnås den ønskede effekt, nemlig en større hysteressedæmpning.

Årsagen til den hurtige nedbrydning af fugematerialet ligger i fugens strukturelle virkemåde og den ændres ikke ved ændring af materialesammensætningen. Projektets hovedkonklusion er, at hvis fugernes dæmpning skal forøges, skal selve virkemåden af fugen ændres. Som strukturen er opbygget i øjeblikket, virker fugearmeringen først efter forholdsvis store deformationer og på det tidspunkt er fugemørtelen godt i gang med nedbrydningen. Hvis dæmpningen skal ske i form af friktion i fugematerialet, skal dette på en eller anden måde indkapsles, så det ikke forsvinder ud af fugerummet, samtidigt med, at normalkraften fra vægelementerne på fugen bevares. Alternativt kan armeringens funktion ændres, således at det er denne, der bestemmer duktiliteten og dæmpningen derved sker ved deformationer af stålet.

3.4 Resultater og konklusioner for projekt 4

Constitutive Properties of Cracked Concrete Structures

Ph. D. studerende Jin-Ping Zhang, DTU

Baggrunden for dette projekt er den erfaring man har fået inden for de sidste årtier om, at de konstitutive egenskaber for beton er meget mere influeret af revnetilstanden end tidligere antaget. Dette har medført, at hovedvægten i dette projekt er lagt på styrkeforholdene for revnet beton.

Der blev først udviklet en model, den såkaldte "crack sliding theory", for styrken af armerede betonbjælker og -plader uden forskydningsarmering. Den grundlæggende ide er, at en eller flere af de udviklede revner kan omdannes til flydelinier som så styrer forskydningskapaciteten. Ved at anvende en Mohr - Coulomb type brudbetingelse for en revne kan bæreevnen beregnes ved anvendelse af plasticitetsteorien. Ved at sammenligne med et stort antal forsøgsresultater fandtes

god overensstemmelse mellem teori og forsøg for en række forskellige tilfælde herunder forspændte bjælker og plader.

De grundlæggende antagelser blev begrundet ved udviklingen af en mikromekanisk model for bruddet langs en revne. Denne model kan endog anvendes til at forklare grundlæggende karakteristiske træk for brud af beton i tryk og træk, når kun mikrorevner er tilstede. Modellen har givet gode resultater sammenlignet med forsøgsresultaterne for cementpasta og beton.

Sluttelig er der foreslået en mekanisme for styrkereduktionen i elementer med revner, som krydses af armering. Ved at bruge denne teori sammenholdt med den før nævnte "crack sliding theory" er styrken af elementer bestemt.

Konklusionen på projektet er, at undersøgelsen af revnernes indflydelse på styrken af beton skal undersøges nøjere i fremtiden. Det foreliggende projekt kan være begyndelsen til en ny epoke i betonforskningen, hvor hovedvægten mere lægges på udviklingen af modeller fremfor at arbejde med empiriske formler.

3.5 Resultater og konklusioner for projekt 5 **Plastic Theory applied to Shear Walls** **Ph. D. studerende Junying Liu, DTU**

I dette projekt har Liu Junying behandlet ca. 200 forsøg med vægge (shear walls) fra litteraturen. Bæreevnen er bestemt ved hjælp af plasticitetsteorien og sammenlignet med forsøgsresultaterne. Sammenligningen viser god overensstemmelse. Forsøgene dækker et meget stort område af materialestyrker og geometri (væggeometri/armering).

4 PUBLIKATIONER

Jens Christoffersen, Lars Jagd og M.P.Nielsen:
HOTCH-POTCH Pladeelementet. Finite element til beregning af armerede betonplader.
Serie R No. 307, 1993, Afd. for Bærende Konstruktioner, DTU.

Jens Christoffersen, Lars Jagd og M.P.Nielsen:
HOTCH-POTCH Disk Element. Finite Element for Analysis of Reinforced Concrete Disks.
Serie R No. 317, 1994, Afd. for Bærende Konstruktioner, DTU.

Jens Christoffersen, Lars Jagd og M.P.Nielsen:
HOTCH-POTCH Shell Element. Finite Element for Analysis of Reinforced Concrete Shells.
Serie R No. 318, 1994, Afd. for Bærende Konstruktioner, DTU.

Jens Christoffersen, M.P.Nielsen og Jens M. Frederiksen:
Danish High Performance Concrete.
ACI Special Publication, SP-158, 1996.

Jens Christoffersen:

Ultimate Capacity of Joints in Precast Large Panel Concrete Buildings.

Ph.D. afhandling forsvaret 9.4.1996.

Foreløbig udgave foreligger. Endelig udgave forventes sommeren 1997.

Lars Jagd:

Non-Linear FEM Analysis of 2D Concrete Structures.

Ph.D. afhandling forsvaret 18.11.1996.

Foreløbig udgave foreligger. Endelig udgave forventes sommeren 1997.

Kirsten Guldbæk Jensen:

Keyed shear joints subjected to static and time-varying loads

Ph.D. afhandling. Forsvar har ikke fundet sted.

Instituttet for Bygningsteknik, AAU, April 1997.

Jin-Ping Zhang:

Strength of Cracked Concrete. Part 1.

Shear Strength og Conventional Reionforced Concrete Beams, Deep Beams, Corbels, and Prestressed Reinforced Concrete Beams without Shear Reinforcement.

Serie R, No. 311, 1994, Afd. for Bærende Konstruktioner, DTU.

Del af Ph.D. afhandling forsvaret 16.12.1996

Jin-Ping Zhang:

Strength of Cracked Concrete. Part 2.

Micromechanical Modelling of Shear Failure in Cement Paste and in Concrete.

Serie R, No. 17, 1997, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, DTU

Del af Ph.D. afhandling forsvaret 16.12.1996

Jin-Ping Zhang:

Strength of Cracked Concrete. Part 3.

Load Carrying Capacity of Panels Subjected to In-Plane Stresses.

Serie R, No. 18, 1997, Institut for Bærende Konstruktioner og Materialer, DTU

Del af Ph.D. afhandling forsvaret 16.12.1996

Jin-Ping Zhang:

Diagonal cracking and shear strength of reinforced concrete beams.

Magazine of Concrete Research, 1997, 49, No. 178, Mar., 55-65.

Afhandling for Junying Liu findes i en foreløbig udgave. Endelig udgave forventes at foreligge vinter 1997.

5 PROJEKTRESULTATERNES BETYDNING

Den i kapitel 1 omtalte reduktion af det oprindelige projekt har medført, at visse kerneområder måtte udgå.

Hovedkonklusionerne af de udførte undersøgelser er følgende:

Plasticitetsteoretiske løsninger giver gode resultater ved jævnt voksende belastninger, når man benytter en betontrykstyrke, som er modificeret på grund af revnedannelsen.

Den i projekt 1 udviklede teori for fortandede fugers styrke indebærer væsentlige modifikationer af eksisterende empiriske formler, der kun gælder for de fugegeometrier, der er benyttet ved forsøgene.

FEM program er udviklet, som kan benyttes til beregning af disse forbedrede løsninger (projekt 2, 4 og 5).

Ved vekslende belastning nedbrydes fugematerialet i traditionelle samlinger mellem betonelementer i løbet af 1-2 cykler. Forbedring af samlingens bæreevne kan formentlig ske ved udvikling af en fugetype, som effektivt indeslutter fugematerialet, eventuelt kombineret med et andet armeringsarrangement i fugen end det som tidligere er anvendt (projekt 1 og 3).

De under projekt 4 udviklede teorier for revnet betons styrke vil have stor betydning for fremtidige anvendelser af plasticitetsteorien, hvor der vil blive taget hensyn til glidning i tidligere dannede revner. Den største ændring af de hidtidige teorier vil være for ikke-forskydningsarmerede bjælker, bjælker med svag forskydningsarmering og skiver.

De under projekt 5 foretagne undersøgelser af forskydningsvægge har formentlig givet den endelige løsning for den statiske bæreevne. Dette problem har været studeret intensivt i mange lande med jordskælv i det seneste årti.

6 ØKONOMI

I dette kapitel anføres kortfattet de økonomiske midlers anvendelse, idet der iøvrigt henvises til regnskaberne udarbejdet af DTU og AAU.

| | |
|---|--------------|
| Bevilling fra STVF i skrivelse af 22.6.93 | 2.400.000,00 |
| Tillægsbevilling for 1995 på grund af ændrede OH regler | 131.200,00 |
| Ialt incl. OH | 2.531.200,00 |

Fordeling mellem DTU og AAU:

DTU andel:

Fra STVF er anvist:

| | |
|------------------|--------------|
| Bevilling | 1.102.000,00 |
| Tillægsbevilling | 49.528,00 |

Fra AAU er overført:

| | |
|--------------|-----------|
| pr. 10.10.96 | 72.534,28 |
| pr. 1.3.97 | 45.000,00 |

| | |
|------|--------------|
| Ialt | 1.269.062,28 |
|------|--------------|

AAU andel:

Fra STVF er anvist:

| | |
|------------------|--------------|
| Bevilling | 1.298.000,00 |
| Tillægsbevilling | 81.672,00 |

Til DTU er overført:

| | |
|--------------|------------|
| pr. 10.10.06 | -72.534,28 |
| pr. 1.3.97 | -45.000,00 |

| | |
|------|--------------|
| Ialt | 1.262.137,72 |
|------|--------------|

Af AAU's midler er endvidere gennem projektforløbet anvendt 43.104,82 til dækning af udgifter på DTU.

Det samlede regnskab udviser et overskud på 1.234,58, idet BKM, DTU selv dækker det på DTU regnskabet angivne underskud på kr. 61.641,33 .

Midlerne er på DTU anvendt til finansiering af Ph.D. studerende Lars Jagd ("normal" Ph.D. finansiering) samt til delvis finansiering af Ph.D. studier for Jin-Ping Zhang og Junying Liu.

Midlerne er på AAU anvendt til finansiering af Ph.D. studerende Kirsten Guldbæk Jensen ("normal" Ph.D. finansiering) samt til udførelse af forsøg i tilknytning hertil.

7 AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

Som det fremgår af ovenstående er der i tilknytning til programmet gennemført 2 almindeligt finansierede Ph.D. studier og 2 Ph.D. studier med en delvis finansiering fra programmet. I tilknytning til det ene Ph.D. projekt er der af programmets midler finansieret en større forsøgsserie. Hertil kommer tilknytningen til et andet Ph.D.studium, som dog ikke har været finansieret af dette program.

I tilknytning til Ph.D. studierne er der udarbejdet publikationer, som beskrevet i kapitel 4. Nogle af disse foreligger p.t. kun i foreløbig udgave, men vil så hurtigt som muligt blive publiceret i endelig form.

Aalborg, d. 24.4.97

Lars Pilegaard Hansen

BILAG A

SKEMA 1

Dato:



Forskningsrådene
The Danish Research Councils

H.C. Andersens Boulevard 40
DK-1553 København V
Danmark
Fax +45 3332 3501
Tel +45 3311 4300

Ansøgning om støtte til projekter

Fra Statens Teknisk-Videnskabelige Forskningsråd

Læs vejledningen og informationsfolderen, før skemaet udfyldes

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Ansøgerens navn (den over for forskningsrådet ansvarlige) | Lars Pilegaard Hansen |
| | CPR-nr. for ansøger | 190140-1183 |
| 2 | Stilling og uddannelse | Docent, Lic. Techn. |
| 3 | Arbejdsplads Adresse og telefon | Instituttet for Bygningsteknik Sohngårdsholmsvej 57, 9000 Aalborg 98 15 85 22 |
| | Privatadresse og telefon | Borgergade 18, 9000 Aalborg 98 13 88 17 |
| | Sted for projektets udførelse Adresse og telefon | Inst. for Bygningsteknik, AUC, 98 15 85 22 Afd. for bærende konstruktioner, DtH, 42 88 35 11 |
| 4 | Projektets titel (højest 20 ord) | Betonelementbyggeri i jordskælvsområder |
| 5 | Ansøgt beløb for det 1. år 1993 (excl. moms) | Beløbet ønskes anvendt i perioden: 231.800,00 kr. 1.7.93 - 31.12.96 |
| 6 | Projektets forventede samlede varighed | Start: 1.7.93 Slut: 31.12.96 |
| | Projektets forventede fremtidige behov for støtte fra forskningsrådet ud over det i punkt 5 anførte beløb | 2. år: 1.143.300,00 kr. 3. år: 1.637.700,00 kr. 4. år: 1.107.200,00 kr. 5. år: |
| 7 | Er det under punkt 5 anførte beløb søgt andet steds (helt eller delvis) Hvorfra og med hvilke beløb? | Sæt kryds: er ikke søgt <input checked="" type="checkbox"/> søges <input type="checkbox"/> |
| 8 | Soges der om midler fra et særprogram angives dette ved navn | STVF rammeprogrammer 1993 - 1997: nr. 11: Modeller for konstruktionsmaterialer |
| 9 | Hastansøgning | Sæt kryds: <input type="checkbox"/> Begrundelse vedlægges <input type="checkbox"/> |

Forbeholdt sekretariatet:

Modtaget

Fagkode

Prioritetskode

Behandlingskode

Forbehandling

Lektor Rune Brincker, AUC

Civilingeniør Jens Christoffersen, ABK, DtH

Professor M.P. Nielsen, ABK, DtH

Lektor A. Rathkjen, AUC

1 Kort projektbeskrivelse, der er egnet til offentliggørelse

Programmet "Betonelementbyggeri i jordskælvsområder" omfatter undersøgelser af styrke- og stivhedsegenskaberne for revnet beton og fuger under statisk og vekslende last.

Programmet udføres i et samarbejde mellem medarbejdere ved Afdelingen for Bærende Konstruktion, DtH, og Instituttet for Bygningsteknik, AUC. Programmet består af analytisk/teoretisk modellering samt omfattende eksperimentelle undersøgelser inden for tre projekter:

- Undersøgelse af fuger
- Udvikling af nye fugetyper
- Undersøgelse af skadet (revnet) beton

Et fjerde og afrundende projekt omfattende "Jordskælvsundersøgelse af udvalgte betonelementbyggerier" er ikke på nuværende tidspunkt indeholdt i programmet men vil blive forsøgt startet på et senere tidspunkt.

12 Detaljeret budget for det ansøgte beløb for 1. projektår og bemærkninger vedr. følgende år

Detaljerede budgetter for delprojekterne er anført i ansøgningen.

| Budgetpost | Fra forskningsråd | | Fra anden side | | Søges/bevilget fra anden side | |
|---------------------------|-------------------|--------------|------------------|---------------|-------------------------------|-----|
| | antal månedsværk | kr. | antal månedsværk | kr. | antal månedsværk | kr. |
| 1. år 1993 | | | | | | |
| VIP-løn | | 140.000,00 | 6 | 175.000,00 *) | | |
| TAP-løn + forsøg | | 70.000,00 | 2 | 30.000,00 *) | | |
| Apparatur over 40.000 kr. | | | | | | |
| Driftsudgifter | | 15.000,00 | | | | |
| Adm. bidrag/overhead | | 6.800,00 | | | | |
| I alt | | 231.800,00 | | | | |
| 2. år 1994 | | | | | | |
| VIP-løn | | 600.000,00 | 12 | 350.000,00 *) | | |
| TAP-løn + forsøg | | 450.000,00 | 2 | 30.000,00 *) | | |
| Apparatur over 40.000 kr. | | | | | | |
| Driftsudgifter | | 60.000,00 | | | | |
| Adm. bidrag/overhead | | 33.300,00 | | | | |
| I alt | | 1.143.300,00 | | | | |
| 3. år 1995 | | | | | | |
| VIP-løn | | 900.000,00 | 12 | 350.000,00 *) | | |
| TAP-løn + forsøg | | 600.000,00 | 2 | 30.000,00 *) | | |
| Apparatur over 40.000 kr. | | | | | | |
| Driftsudgifter | | 90.000,00 | | | | |
| Adm. bidrag/overhead | | 47.700,00 | | | | |
| I alt | | 1.637.700,00 | | | | |
| 4. år 1996 | | | | | | |
| VIP-løn | | 750.000,00 | 12 | 350.000,00 *) | | |
| TAP-løn + forsøg | | 250.000,00 | 2 | 30.000,00 *) | | |
| Apparatur over 40.000 kr. | | | | | | |
| Driftsudgifter | | 75.000,00 | | | | |
| Adm. bidrag/overhead | | 32.200,00 | | | | |
| I alt | | 1.107.200,00 | | | | |
| 5. år | | | | | | |
| VIP-løn | | | | | | |
| TAP-løn | | | | | | |
| Apparatur over 40.000 kr. | | | | | | |
| Driftsudgifter | | | | | | |
| Adm. bidrag/overhead | | | | | | |
| I alt | | | | | | |
| I alt for de 5 år | | 4.120.000,00 | | 1.345.000,00 | | |

*) Forsøgsfaciliteter ikke medregnet.

8/12 92
 Institut for Bygningsskolen
 Aalborg Universitetscenter
 Sprogårdsholmvej 57
 9000 Aalborg
 Stempel og underskrift fra institutionen

Delvis fortsættelse af rammeprogrammet "Høj kvalitetsbetoner i 90'erne"

Har De inden for de sidste 3 år fået bevilget støtte fra et forskningsråd til dette eller andre projekter?

| Samme projekt | | År | J.nr. | Bevilget beløb | Projekt titel |
|---------------|-----|----|-------|----------------|---------------|
| Ja | Nej | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Bilagfortegnelse:

Ansøgning inklusiv kortfattede CV'er.

Ansøgt af:
 Forskningsråd:
 Projekt nr.:

San Vigand Ben
Underskrift

BETONELEMENTBYGGERI I JORDSKÆLVSOMRÅDER

STYRKE OG STIVHED AF REVNET BETON OG FUGER UNDER STATISK OG
VEKSLLENDE LAST

Baggrund

Interessen fra dansk side i at udvikle konstruktioner, og specielt betonelements-systemer, der er velegnede til at modstå seismisk last, kan henføres til flere overordnede forhold.

Der mistes stadig meget store menneskelige og økonomiske ressourcer hvert år i store dele af verden ved jordskælvs ødelæggende virkninger, og der forskes af denne grund meget intensivt i en række lande i at mindske disse effekter. I denne forbindelse har specielt betonelementbyggeri af shear-wall typen vakt interesse, idet det ved en række jordskælv har vist sig, at godt dimensioneret og udført byggeri af denne type er i stand til at modstå selv meget store jordskælv med et acceptabelt skadesniveau.

Præfabrikeret byggeri er generelt kendetegnet ved et højt industrialiseringsniveau og dermed under rette betingelser meget god økonomi, når der sammenlignes med andre typer byggeri. Den danske byggeindustri var blandt pionererne inden for det præfabrikerede byggeri, og den danske betonelementindustri hører på nuværende tidspunkt til blandt de mest udviklede på verdensplan. Denne industri er derfor interesseret i at ekspandere ind på nye områder. De sidste 15 års udvikling af kvalitetsbyggeri i Danmark vil kunne skabe en god konkurrencemæssig position, såfremt de specielle hindringer, der findes på nye områder som f.eks. andre designkriterier i seismiske zoner, kan overvindes. At danske rådgivende ingeniørfirmaer er interesseret i netop at øge deres arbejdsopgaver i seismiske områder, er tydeligt. Et stort antal af disse virksomheder viser kraftig interesse i markederne i det tidligere Østeuropa samt visse dele af Asien. Med hensyn til forholdene i Europa, må det her nævnes, at der netop er initialiseret et projekt i EF regi til koordinering af den forskning, der nødvendigvis må foretages inden Euro-code 8, den fælles EF norm for byggeri i seismiske zoner, kan overgå fra at have status som Pre-code til egentlig norm. Afdelingen for Bærende Konstruktioner på DtH er blevet opfordret til at ansøge om fuld deltagelse i dette projekt, hvilket vil medføre adgang til store forsøgsfaciliteter til dynamiske forsøg (shake-tables) i 30 dage årligt i 3 år. Ud over at stille forsøgsfaciliteter til rådighed af en størrelse, der ikke kan forventes at forefindes i de enkelte lande, har dette EF projekt (under Human Resources and Mobility) til formål at øge udvekslingen af resultater og ny viden.

Kombinationen af ovenstående forhold samt det yderligere forhold, at der foregår en meget stor byggeaktivitet i en række seismiske områder som f.eks. USA, Japan, Korea, Syd-

og Østeuropa har medført, at der lægges betydelig vægt på at indføre godt betonelementbyggeri i seismiske områder.

Svigt af konstruktioner udsat for dynamiske belastninger kan for hovedpartens vedkommende henføres til det forhold, at dele af konstruktionen under de gentagne belastninger i skiftende retninger har udvist stivhedsdegenererende egenskaber, såkaldt pinching. Efterfølgende påvirkninger har ført konstruktionen ud i et område med deformationer af en størrelse, der enten direkte har medført svigt af bærende elementer eller gennem anden-ordens effekter som P- δ effekten til stabilitetssvigt af den samlede konstruktion.

Ved opførelse af betonelementbyggeri, er virkemåden af samlingerne mellem elementerne, fugerne, generelt af væsentlig betydning for den samlede konstruktions respons fra lastpåvirkninger. Er der tale om kraftige dynamiske påvirkninger af konstruktionen, vil fugerne være af stor betydning, idet stivheden af disse typisk vil være lavere end for elementerne. Der vil af denne årsag være en tendens til, at en stor del af deformationerne stammende fra dynamiske laste koncentrerer her. Det er således af væsentlig betydning ikke blot at kende styrken af samlingerne, men også deformationsegenskaberne herunder forskellige samlingstypers tendens til styrkedegenerering ved kraftige cykliske belastninger. Dette er også udtrykt i samlingens hysteresse-egenskaber, der udtrykker sammenhængen mellem last og deformation og dermed variationen af samlingens stivhed under det samlede forløb af en dynamisk lastsekvens. Disse deformationsegenskaber karakter kan for en væsentlig dels vedkommende henføres til revnet betons mekaniske virkemåde ved cyklisk last.

De ovenfor omtalte dynamiske påvirkninger kan mere specifikt siges af være forskellige former for ulykkesbelastninger stammende fra eksempelvis jordskælv, meget kraftige tyfoner eller eksplosioner. For eksplosionernes vedkommende, har det de sidste 25 år været kendt, at egenskaberne ved samlingerne mellem elementerne er af særdeles stor betydning for afværgelsen af progressive kollaps. Udnyttelsen af en skadet bygnings redundans kræver, at det er muligt at omfordele kræfterne i konstruktionselementerne, hvilket udsætter samlingerne for belastninger, der kan være væsentligt forskellige fra de statiske belastninger.

Programbeskrivelse

Programmet udføres i et samarbejde mellem medarbejdere ved Afdelingen for Bærende Konstruktioner, DtH (ABK) og Institutet for Bygningsteknik, AUC (AUC).

Under programmet vil hovedformålet være ud fra teoretisk kontinuummekanisk modellering samt forsøg at fastlægge egenskaber for samlinger, der kan anvendes i danske betonelementsystemer. Der vil være tale om samlinger, der modificeres kraftigt i forhold til de, der anvendes her i landet, idet forsøg foretaget i Korea i 1991 på overbevisende vis gjorde det klart, at danske standard samlinger udviser kraftige tendenser til pinching, og således er uegnede til byggeri i seismisk aktive områder.

Endvidere vil styrke- og stivhedsegenskaberne af skadet (revnet) beton blive undersøgt på tilsvarende vis, som nærmere beskrevet i det følgende.

Programmet består af 3 enkeltprojekter, som nærmere beskrevet i det følgende. Projekterne vil bestå af teoretiske og eksperimentelle dele. Der vil blive lagt meget vægt på, at projekterne koordineres, så de delene nøje tilpasses til hinanden.

Et 4. projekt "Jordskælvsundersøgelser af udvalgte betonelementbyggerier", som bygger på de 3 i dette program beskrevne projekter ønskes udført i årene 1995-97. Projektet er ikke beskrevet og midler til projektet er ikke indeholdt i denne ansøgning, men vil senere blive fremsendt, når de i dette program beskrevne projekter er kommet godt igang.

Analytisk/teoretisk modellering.

De teoretiske dele af programmet vil som formål have at udvikle analytiske beregningsmetoder til fastlæggelse af de mekaniske egenskaber. Der lægges i dette arbejde vægt på, at metoderne har et solidt fysisk/mechanisk grundlag og ikke svarer til mange af de empiriske metoder, der på nuværende tidspunkt anvendes ved en række beregninger. I det følgende er angivet hovedpunkterne for det teoretiske arbejde.

1. Opstilling af metoder baseret på plasticitetsteorien til bestemmelse af fugers ultimative styrke ved kombineret normal- og forskydningskraftpåvirkning. Beskrivelse af hystereseegenskaber for fuger, der påvirkes i det ikke-lineære område under stigende grad af skader i fugematerialet.
2. Udvikling af en eller flere fugetyper, der i særlig grad er i stand til at omsætte en stor mængde energi ved hysteresedæmpning under dynamisk last, uden at vise udprægede tendenser til styrkedegenerering.
3. Udvikling af modeller til beskrivelse af skadet beton og mørtels mekaniske egenskaber, herunder bl.a. styrke-/deformationsforhold, som funktion af revnevidden.

ad 1. For den første problemstilling vedkommende er en plasticitetsteoretisk metode til bestemmelse af den ultimative styrke ved statisk påvirkning af fuger på nuværende tidspunkt under udvikling på ABK. Metoden medtager den gunstige effekt af en given normalkraft vinkelret på fugen samt effekten af størrelse og geometri af fugen. Ved udviklingen af denne metode vil der blive anvendt metoder og edb-programmer til bæreevnebestemmelse ud fra optimerede nedreværdiløsninger. Disse programmer har vist sig som meget stærke hjælpemidler til fastlæggelse af gode tilnærmelser til konstruktioners ultimative styrke, idet løsningen optimeres med en modificeret version af simplex-algoritmen. Det kan endvidere nævnes, at metoden vil kunne anvendes til analyse af følsomheden over for montagenøjagtighed for en fuges styrke. Dette forhold er væsentligt, idet bredden af fugen i et præfabrikeret byggeri kan varieres for at kompensere for andre unøjagtigheder.

Modellering af fugers hystereseegenskaber under hensyntagen til geometri, armering, materialeegenskaber samt lasthistorie, vil være en betydningsfuld del af projektet. Målsætningen vil være at komme frem til en metode baseret på fysisk/mechaniske principper og undgå empiriske metoder baseret på shear/friction analogier. Fastlæggelsen af teoretiske modeller inden for dette felt vil også bygge på resultaterne fra punkt 3. En del af den videre udvikling

vil kunne foregå ved anvendelse af numeriske simuleringer udført på edb ved anvendelse af et brudmekanik baseret finite element program. Herved kan det numerisk modelleres, hvorledes de mekaniske egenskaber ændres under lastopbygning i ikke-lineære områder.

ad 2. De samlingsmetoder, der anvendes på nuværende tidspunkt i danske elementsystemer kan gøre udmærket fyldest ved statisk belastning af en given betonelementkonstruktion. Imidlertid har det ved forsøg vist sig, at disse samlinger har stærkt uheldige egenskaber ved cyklisk belastning. Det er således nødvendigt, at modificere disse samlinger på væsentlige punkter, hvis danske elementsystemer skal anvendes i seismiske områder. Denne modificering skal foretages på en sådan vis, at de øvrige dele af elementsystemet kan anvendes så uændret som muligt. Der skal også tages hensyn til montagefasen for betonelementbyggeriet, da denne fase i særdeleshed er af betydning for byggemetodens konkurrencedygtighed i forhold til andre byggemetoder og bygningsmaterialer.

ad 3. Skadet betons mekaniske egenskaber er et forskningsområde der langt fra er begrænset til at omhandle materialeegenskaberne i cyklisk påvirkede samlinger. Inden for en række andre felter som eksempelvis rehabilitering af bygninger og broer samt ved probabilistiske beregninger af konstruktioners levetid, er det af stor betydning ikke alene at foretage beregninger ud fra materialeegenskaberne svarende til konstruktionsfasen eller umiddelbart herefter. I projektet vil der bl.a. blive udført undersøgelser af den skadede betons trykarbejdslinie, bøjningstrækstyrke, triaksiale påvirkninger m.v. for forskellige grader af skade i betonen.

Endvidere undersøges størrelses effekter og de brudmekaniske parametre fastlægges til anvendelse ved numeriske simuleringer med et brudmekanisk baseret finite element program.

Eksperimentelt arbejde

Sideløbende med det teoretiske arbejde, der er beskrevet ovenfor, vil der i programmet blive foretaget eksperimentelt arbejde, hvis hovedformål vil være at understøtte de teoretiske modeller. Programmet er imidlertid planlagt så forsøgene, der ønskes udført, også i høj grad vil have forskningsmæssig værdi inden for grundlæggende materialeteknologi. At dette er muligt skyldes, at de aktive zoner i en cyklisk belastet samling vil være kendetegnet af stadigt stigende skadesgrad, hvorfor tøjningsmålinger i disse zoner under forsøgene sammen med den ydre lasthistorie, kan anvendes ved fastlæggelse af styrke- og stivhedsegenskaber for skadet beton.

Nedenfor vil hovedgrupperne af forsøg blive angivet, hvorefter en nøjere beskrivelse af de enkelte forsøgstyper vil blive givet.

- A. Cyklisk belastning (belastning med skiftende retning) af fuger mellem betonelementer.
- B. Dynamiske forsøg (real time) på shake-table til verificering af egenskaberne for de samlingstyper der teoretisk/praktisk under programmet er anset for at være mest lovende.

- C. Enaksede trykforsøg med standard cylindre af skadet beton.
Tre/fire-punkts bøjning af betonbjælker af skadet beton.
Triaksiale forsøg af cylindre af skadet beton.

ad A. Disse eksperimentelle undersøgelser knytter sig til de teoretiske emner anført under pkt. 1 og 2. Det drejer sig om bestemmelse af sammenhørende værdier af laster/deformationer, idet indflydelsen fra bl.a. armeringsføring, fugegeometri og forspænding undersøges. Dette vil være af stor betydning ved vurdering af teoretiske modeller for fugers mekaniske egenskaber herunder stivhedsdegenerering samt ved udformning af nye fugetyper. Endvidere skal tøjningsforløbet i fugernes aktive zoner fastlægges, hvilket vil være af interesse materialeteknologisk, idet der herved kan skabes en kobling til undersøgelse af skadet beton, se pkt. C.

Forsøgene kan udføres både på AUC og ABK, men kræver opbygning af specielle forsøgsarrangementer afpasset efter prøvelegemernes størrelse og andet eksisterende udstyr.

ad B. Disse eksperimentelle undersøgelser knytter sig også til de teoretiske emner anført under pkt. 1 og 2. Formålet med forsøgene er en verificering af hystereseegenskaberne for de mest lovende fugetyper påvirket med lasthistorier, som er meget nær forholdene under virkelige jordskælv. Tre komponenter af virkelige eller simulerede accelerogrammer anvendes til real-time styring af påvirkningen, der som ved et virkeligt jordskælv overføres til konstruktionen gennem bevægelse af undergrunden.

Det er som nævnt i indledningen forudsat, at disse forsøg udføres i tilknytning til EF programmet, som ABK er inviteret til at deltage i.

ad C. Disse eksperimentelle undersøgelser knytter sig til de teoretiske emner, anført under pkt. 3. Formålet med forsøgene er at fastlægge en række af en skadet betons mekaniske egenskaber og disses afhængighed af skadesgraden. Kendskabet hertil kan bl.a. benyttes ved beskrivelse af fugers mekaniske egenskaber. Der tænkes her på forsøg til fastlæggelse af en skadet betons trykarbejdslinie (også den nedadgående gren), fastlæggelse af bøjningstrækstyrke samt betonens egenskaber under triaksial påvirkning. Størrelseseffekter undersøges ligeledes.

Forsøgene kan udføres på ABK og AUC. For de fleste forsøgs vedkommende kan det prøveudstyr, som allerede findes ved de to institutioner, benyttes.

Organisation

Der vil blive nedsat en styregruppe bestående af medarbejdere fra ABK og AUC, omfattende bl.a.:

- * Lektor Rune Brincker, AUC
- * Civ. ing. Jens Christoffersen, ABK
- * Docent Lars Pilegaard Hansen, AUC
- * Professor M. P. Nielsen, ABK
- * Lektor A. Rathkjen, AUC

Herudover vil det være nødvendigt at inddrage rådgivende firmaer og betonelement-producenter i programmet. Der er ikke truffet endelige aftaler, men flere virksomheder har vist interesse for programmet.

Det foreslås endvidere, at Lars Pilegaard Hansen leder den administrative og økonomiske del med M.P.Nielsen som faglig leder.

Kortfattede CV'er samt en oversigt over udvalgte publikationer er anført i bilag A.

Budget

Omkostningerne af dette forskningsprogram skal dække 2 Ph.D. studier, svarende til punkterne 1. og 3. anført under afsnittet om analytisk/teoretisk modellering. Omkostninger i forbindelse med projektet nævnt under punkt 2 skal væsentligst dække anden ingeniørløn.

Hertil kommer udgifter i forbindelse med de betydelige eksperimentelle undersøgelser, som er beskrevet under afsnittet om eksperimentelt arbejde.

ABK og AUC yder gennem styregruppe og vejledere for Ph.D. studerende en arbejdsindsats i programmet på overslagsmæssigt 1 mandår pr. år af programmets varighed. Hertil kommer en del TAP assistance samt benyttelse af laboratoriefaciliteter.

En oversigt i 1000 dKkr. er vist i efterfølgende skema.

| | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | Sum |
|------------------|-------|--------|--------|--------|------|
| 1. Fuger | 155 | 630 | 630 | 165 | 1580 |
| 2. Nye fuger | | | 430 | 430 | 860 |
| 3. Skadet beton | | 380 | 430 | 380 | 1190 |
| Sekretær, tegner | 20 | 50 | 50 | 50 | 170 |
| Uforuds. udg. | 50 | 50 | 50 | 50 | 200 |
| Sum | 225 | 1110 | 1590 | 1075 | 4000 |
| Adm. 3% | 6,8 | 33,3 | 47,7 | 32,2 | 120 |
| Total | 231,8 | 1143,3 | 1637,7 | 1107,2 | 4120 |
| Akkumuleret | 231,8 | 1375,1 | 3012,8 | 4120 | |

De enkelte projekters budgetter er som følger i 1000 dKr.:

| | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 |
|------------------------|------|------|------|------|
| <u>1. Fuger</u> | | | | |
| VIP, løn | 140 | 300 | 300 | 150 |
| Drift | 15 | 30 | 30 | 15 |
| Forsøg | | 300 | 300 | |
| Total | 155 | 630 | 630 | 165 |
| <u>2. Nye fuger</u> | | | | |
| VIP, løn | | | 300 | 300 |
| Drift | | | 30 | 30 |
| Forsøg *) | | | 100 | 100 |
| Total | | | 430 | 430 |
| <u>3. Skadet beton</u> | | | | |
| VIP, løn | | 300 | 300 | 300 |
| Drift | | 30 | 30 | 30 |
| Forsøg | | 50 | 100 | 50 |
| Total | | 380 | 430 | 380 |

*) Det forudsættes, at de væsentligste forsøg udføres i tilknytning til EF projektet.

Programmet løber således over 3½ år startende medio 1993 og afslutning ultimo 1996.

Bilag A

Curriculum Vitae for Rune Brincker

Rune Brincker, civilingeniør 1977, lic. techn. 1982, HD 1983. Lektor i bærende konstruktioner ved Institut for Bygningsteknik, AUC siden 1985. Forskningsingeniør ved Afd. for bærende konstruktioner, DTH, 1982-1985. Væsentlige forskningsområder: Brudmekanik, eksperimentelle teknikker, eksperimentel dynamik.

Tidsskrifter

1. J.D. Sørensen & R. Brincker: Simulation of Stochastic Loads for Fatigue Experiments. *Experimental Mechanics*, June 1989, pp 174-182.
2. R. Brincker & J.D. Sørensen: High-Speed Stochastic Fatigue Testing. *Experimental Mechanics*, March 1990, pp 4-9.
3. R. Brincker & H. Dahl: On the Fictitious Crack Model of Concrete Fracture. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 41, No. 147, June 1989, pp 79-86.
4. P.H. Kirkegaard, I. Enevoldsen, J.D. Sørensen & R. Brincker: Reliability Analysis of a Mono-Tower Platform. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, ASME, Vol. 112, Aug. 1990, pp 237-243.
5. P.H. Kirkegaard, J.D. Sørensen & R. Brincker: Fatigue Reliability Analysis of a Mono-Tower Platform. *Marine Structures*, Vol. 4, 1991, pp 413-434.
6. L. Gansted, R. Brincker & L. Pilegaard Hansen: Fracture Mechanical Markov Chain Crack Growth Model. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 38, No. 6, 1991, pp 475-489.
7. R. Brincker, S. Krenk, P. H. Kirkegaard & A. Rytter: Identification of Dynamical Properties From Correlation Function Estimates. *Bygningsstatistiske Meddelelser*, Vol. 63, 1992.
8. A. Rytter, R. Brincker & L. Pilegaard Hansen: Vibration based Inspection of Civil Engineering Structures. *Bygningsstatistiske Meddelelser*, Vol 62 No. 4, 1991.
9. J. Laigaard Jensen, P. H. Kirkegaard & R. Brincker: Modal and Wave Load Identification by ARMA Calibration. *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 118 No. 6, June 92.

Internationale Konferencer

1. J. Laigaard Jensen, R. Brincker & A. Rytter: Identification of Light Damping in Structures. *Eighth International Modal Analysis Conference*, Jan. 29 - Febr. 1, 1990, Orlando, Florida, USA.
2. J. Laigaard Jensen, R. Brincker & A. Rytter: Uncertainty of Modal Parameters Estimated by ARMA Models. *Proc. of The 9th International Conference on Experimental Mechanics*, August 20-24, 1990, Copenhagen, Denmark, pp 2095-2104.
3. R. Brincker, J. Laigaard Jensen & S. Krenk: Spectral Estimation by the Random Dec Technique. *Proc. of The 9th International Conference on Experimental Mechanics*, August 20-24, 1990, Copenhagen, Denmark, pp 2049-2058.
4. P.H. Kirkegaard, J.D. Sørensen & R. Brincker: Optimization of Measurements on Dynamically Sensitive Structures Using a Reliability Approach. *Proc. of The*

9th International Conference on Experimental Mechanics, August 20-24, 1990, Copenhagen, Denmark, pp 967-976.

5. R. Brincker, S. Krenk & J. Laigaard Jensen: Estimation of Cross Correlation Functions by the Random Decrement Technique. *Proc. of the 9th International Modal Analysis Conference and Exhibit*, Firenze, Italy, April 14-18, 1991, pp 610-615.
6. P. H. Kirkegaard, J. D. Sørensen & R. Brincker: Optimal Design of Measurement Programs for the Parameter Identification of Dynamic Systems. *Proc. of the Florence Modal Analysis Conference*, Firenze, Italy, September 10-12, 1991, pp 495-502.
7. A. Rytter, R. Brincker & L. Pilegaard Hansen: Detection of Damage in a Steel Member. *Proc. of the Florence Modal Analysis Conference*, Firenze, Italy, September 10-12, 1991, pp 373-380.
8. R. Brincker, P. H. Kirkegaard & A. Rytter: Identification of System Parameters by the Random Decrement Technique. *Proc. of the Florence Modal Analysis Conference*, Firenze, Italy, September 10-12, 1991, pp 465-472.

Curriculum Vitae for Jens Christoffersen

Jens Christoffersen, civilingeniør 1992, Ph.D. studerende siden 1992. Væsentlige forskningsområder: Seismisk resistente betonbygninger.

Curriculum Vitae for Lars Pilegaard Hansen

Lars Pilegaard Hansen, civilingeniør, lic. techn., docent ved Institutet for Bygningsteknik, AUC. Leder af Instrumentcenter for Dynamiske Undersøgelser ved AUC siden dets start i 1991. Væsentlige forskningsområder: Eksperimentel mekanik, udmattelse af betonkonstruktioner.

Tidsskrifter

1. L. Gansted, R. Brincker & L. Pilegaard Hansen: Fracture Mechanical Markov Chain Crack Growth Model. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 38, No. 6, pp. 475-489, 1991.

Internationale Konferencer

1. L. Pilegaard Hansen: Preliminary Fatigue Tests of Concrete Reinforced with Steel Fibres. *Nordic mini seminar in Göteborg*, Chalmers Tekniska Högskola, P-90:8, pp. 37-49, 1989.
2. J. Laigaard Jensen, A. Rytter & L. Pilegaard Hansen: System Identification from Output Measurements. *Eighth International Conference, Society for Experimental Mechanics*, Orlando, Florida, USA, 1990.
3. L. Pilegaard Hansen: Experimental Investigation of Fatigue Properties of Laminated Wood Beams. *International Timber Engineering Conference*, London, pp. 4.203-4.210, 1991.
4. A. Rytter, R. Brincker & Lars Pilegaard Hansen: Detection of damage in a steel member. *Proc. of the Florence Modal Analysis Conference*, Firenze, Italy, September 10-12, pp. 373-380, 1991.

Curriculum Vitae for M. P. Nielsen

M. P. Nielsen, civilingeniør, lic.techn., dr. techn., professor i betonkonstruktioner ved Danmarks tekniske Højskole siden 1972. Ingeniørdocent i ren og anvendt mekanik ved Danmarks Ingeniørakademi, Aalborg, 1966-72. Partner og direktør i AEC, Rådgivende Ingeniører A/S siden 1974. Væsentlige forskningsområder: Anvendt mekanik, specielt udvikling af beregningsmetoder for betonkonstruktioner under anvendelse af plasticitetsteori. Medlem af internationale normkommiteer for betonkonstruktioner.

Tidsskrifter

1. B. S. Andreassen & M. P. Nielsen: Dome Effect in Reinforced Concrete Two-Way Slabs. *Bygningsstatistiske Meddelelser*, Vol. 60, No. 3-4, pp. 79-120, 1989.
2. B. Feddersen & M. P. Nielsen: Dimensionering af betonbjælkers vederlag. *Dansk Beton*, No. 3, pp. 19-24, 1990, No. 4, pp. 10-13, 1990.
3. Y. Xiaoqing, N. S. Ottosen, S. Thelandersson & M. P. Nielsen: Review of Constitutive Models for Concrete. *Commission of the European Communities, Nuclear Science and Technology, Shared Cost Action, Reactor Safety Program 1985-87. Final Report*, ISPRA, 1989.
4. M. P. Nielsen: An Energy Balance Crack Growth Formula. *Bygningsstatistiske Meddelelser*, Vol. 61, No. 3-4, pp. 71-125, 1990.

Internationale Konferencer

1. M. P. Nielsen: Concrete Beams Shear Design according to Eurocode 2. *Int. Symp. on Concrete Eng.*, Southeast University, Nanjing, China, pp. 1949-1954, 1991.

Curriculum Vitae for A. Rathkjen

A. Rathkjen, akademiingeniør, lic. techn., lektor i ren og anvendt mekanik, Instituttet for Bygningsteknik, AUC. Væsentlige forskningsområder: Konstitutive ligninger for konstruktionsmaterialer.

Internationale Konferencer: A. Rathkjen: Concentrated Load on Reinforced Concrete Beam. *Proc. II International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques*, Vilnius, February 3.-7., 1992, pp 7-10.

BILAG B



Docent Lars Pilegaard Hansen
Inst. f. Bygningsteknik
Sohngårdsholmsvej 57
9000 Ålborg

5. februar 1993
J.nr. 16-5254

Vedrørende ansøgning om støtte.

Det meddeles hermed, at forskningsrådet har behandlet Deres ansøgning af 8. december 1992 om 4.120.000 kr. til et projekt om betonelementbyggeri i jordskælvszoner.

Det søgte beløb overstiger væsentligt, hvad rådet vil kunne afsætte til gennemførelsen af et enkeltprojekt på området, jfr. rådets brev af 1992-09-17.

Rådet har besluttet at ville støtte et projekt, baseret på ansættelse af 2 VIP'er, herunder Ph.D.-studerende, med en varighed på ca. 3 år, afhængig af det tidsmæssige uddannelsesforløb.

Den samlede økonomiske ramme er fastsat til maksimalt 2,4 mio.kr. Der skal i budgetteringen tages hensyn til de økonomiske konsekvenser af gældende regler om gennemførelse af Ph.D.-studier. Rådet ønsker en særskilt begrundelse for afholdelse af forsøgsudgifter inden for rammen.

Hvis der på et senere tidspunkt ansøges om støtte til det af Dem nævnte 4. projekt, må der gives en begrundelse for, at dette støttemæssigt henhører under STVF. Der er i øvrigt ikke taget stilling til støttemulighederne.

Med venlig hilsen

Per Grønberg
afdelingsleder

Direkte tlf. 3315 4645 - 244

BILAG C



Aalborg, d. 22. juni 1993

Statens Teknisk-Videnskabelige Forskningsråd
att. afdelingsleder Per Grønberg
H.C.Andersens Boulevard 40
1553 København V.

Vedr.: J.nr. 16-5254

I fortsættelse af skrivelse af 10.6.93 og som svar på STVF skrivelse af 5.2.93 fremsendes hermed et revideret program for "Betonelementbyggeri i Jordskælvsområder".

Tillige er der anført en særskilt begrundelse for afholdelse af forsøgsudgifter.

Såfremt der måtte være uklarheder eller emner, som ønskes nærmere uddybet, står projektets deltagere gerne til rådighed hermed.

Vedrørende det rent regnskabsmæssige er kontaktperson på DtH: Hanne Hochstenbach, Afdelingen for Bærende Konstruktioner, 45931222..1732 og på AUC: Marianne Pedersen, 98154211..7704.

Med venlig hilsen

Lars Pilegaard Hansen

Kopi: Institutleder P. Thoft-Christensen, AUC
Professor M.P.Nielsen , DtH
Civ.ing. Jens Christoffersen, DtH
Lektor Arne Rathkjen, AUC
Hanne Hochstenbach, DtH
Marianne Pedersen, AUC



RAMMEPROGRAMMET: BETONELEMENTBYGGERI I JORDSKÆLVSONRÅDER

Rammeprogrammet består af 3 ph.d. projekter, som kort omtales i det følgende:

Projekt 1. Analyse og numeriske beregninger af armerede betonkonstruktioner i brugs- og brudstadiet

ph.d. studerende: Lars C. Jagd, DtH
Projektstart: 1.6.93
Projekt afslutning: 1.6.96
Vejleder: M.P.Nielsen, DtH
Budget: 850.000,- for de 3 år
Kort beskrivelse: Projektet omfatter 3 hoveddele, nemlig:
 1. Plane Hotch-Potch finite elementer for plader, skiver og skaller
 2. Udvikling af finite elementer i brudstadiet for betonkonstruktioner
 3. Computer simulering af betonbygninger udsat for jordskælv

Projekt 2. Konstitutive ligninger for revnet beton herunder undersøgelse af fuger i præfabrikeret betonelementbyggeri

ph.d. studerende: Kirsten Guldbæk, AUC
Projektstart: 1.9.93
Projektafslutning: 1.9.96
Vejleder: Arne Rathkjen, AUC
Budget: 850.000,- for de 3 år
Kort beskrivelse: Projektet omfatter en beskrivelse af betons opførsel ved at kombinere
 plasticitetsteoretiske og brudmekaniske modeller. Denne materialemodel
 benyttes til undersøgelse af simple konstruktionselementers og fugers opførsel
 under cyklisk last.

Projekt 3. Bestemmelse af styrken for revnet beton

ph.d. studerende: Jin-Ping Zhang, DtH
Projektstart: 1.6.93
Projektafslutning: 1.6.96
Vejleder: M.P.Nielsen, DtH
Budget: 250.000,- for de 3 år
Kort beskrivelse: Projektet omfatter 4 hoveddele, nemlig:
Undersøgelse af styrken for ikke-forskydningsarmerede bjælker
Undersøgelse af styrken for forskydningsarmerede bjælker
Undersøgelse af forskydningstyrken for ortotrop armerede betonskiver
Undersøgelse af push-off forskydning for revnet højstyrkebeton

Eksperimentelle undersøgelser for de 3 projekter

Der forventes ikke udført forsøg i tilknytning til projekt 1, men i forbindelse med projekt 2 og 3 skal der udføres en lang række forsøg.

Forsøgene påtænkes i den udstrækning det er praktisk og teknisk gennemførligt, udført ved Laboratoriet for Bærende Konstruktioner, AUC.

Da ph.d. studieplanerne ikke er udarbejdet endnu, kan der på nuværende tidspunkt ikke gives nøjagtige beskrivelser af forsøgene, men kun en oversigt, som vist i det følgende:

I tilknytning til projekt 2 forventes følgende forsøg udført:

Bestemmelse af materialeparametre (styrke, stivhed m.v.) under såvel rolig som vekslende last.

Bestemmelse af samlingers (fugers) egenskaber (styrke, stivhed, dissipation m.v.) ligeledes under rolig, men især vekslende last.

Endvidere undersøges forskellige fugetyper med forskellige former for påvirkning (forskydning, tryk, kombinerede påvirkninger) udsat for statisk påvirkning samt simuleret jordskælvspåvirkning. Der undersøges dele af betonelementer, men med fuger i naturlig størrelser.

Der rådes over det nødvendige udstyr til frembringelse af de fleste påvirkninger på forsøgsemnerne ligesom de fleste nødvendige transducere og dataopsamlingssystemer forefindes. Derimod er der betydelige omkostninger ved fremstilling af forsøgsopstilling, prøveemner samt udførelse af forsøgene.

Forsøgene i projekt 2 vil blive koordineret med det ph.d. arbejde som for tiden udføres af Jens Christoffersen på DtH ligesom det også kan komme på tale at nogle forsøg fra dette projekt vil blive udført under dette program.

I tilknytning til projekt 3 forventes følgende forsøg udført:

Supplerende forsøg i forbindelse med undersøgelsen af ikke-forskydningsarmerede bjælker.

I forlængelse af de forsøg, som er udført under et tidligere rammeprogram "Høj kvalitetsbetoner i 90'erne" forventes udført forsøg med bestemmelse af push-off forskydning af revnet højstyrkebeton.

Samlet budgetoversigt

| | |
|--|---------------|
| Lønudgifter, ph.d. studerende, projekt 1, DtH: | kr. 850.000,- |
| Lønudgifter, ph.d. studerende, projekt 2, AUC: | kr. 850.000,- |
| Lønudgifter, ph.d. studerende, projekt 3, DtH: | kr. 250.000,- |
| Udførelse af forsøg, AUC(DtH): | kr. 350.000,- |
| Edb, mindre forsøg, DtH | kr. 50.000,- |
| Rejser, ikke disponeret | kr. 50.000,- |

Ialt: kr. 2.400.000,-

Supplerende bemærkninger

De endelige regler og økonomiske vilkår for ph.d. studier ved DtH og AUC foreligger desværre endnu ikke fuldt klarlagt.

Der er i ovenstående regnet med de oplysninger, som er tilrådighed d.d., d.v.s at der til et Ph.D. studium regnes med udgifter til SU klip samt 120.000,- pr. år. Det der specielt er uafklaret synes at være, hvorledes institutionerne anvender de 120.000 pr. år.

Det står imidlertid klart, at der ikke er afsat nogen form for midler til laboratoriearbejde i de 120.000,-.

Ifølge oplysninger fra M.P.Nielsen, DtH, er reglerne for udlændinges Ph.D. studier heller ikke endeligt fastlagte.

Bevillingen fra STVF på 2,4 mill. ønskes, som det fremgår af oversigten anvendt dels på DtH og AUC. Det vil derfor nok være det mest praktiske om der overføres 1.15 mill. til DtH og 1.25 mill. til AUC. Lars Pilegaard Hansen, AUC har påtaget sig at koordinere det økonomiske og vil nøje følge midlernes anvendelse.

Projekterne forventes at afføde yderligere nye projekter, hvortil der vil blive søgt midler fra flere forskellige eksterne bidragsydere på et senere tidspunkt. Her tænkes bl.a på yderligere aktiviteter i forbindelse med Jens Christoffersens arbejde.

AUC, 22.6.93.


Lars Pilegaard Hansen

BILAG D



Docent, lic.techn.
Lars Pilegaard Hansen
Institut for Bygningsteknik
AUC, Sohngårdsholmsvej 57
9100 Aalborg

Vor ref.: 16-5254-1

Dato: 25-06-1993

Forskningsrådet har, jfr. lov nr. 346 af 24. maj 1989 om Forskningspolitisk Råd og forskningsråd, §5, nr. 4, behandlet Deres ansøgning af 08-12-1992 om støtte til projektet:

Betonelementbyggeri i jordskælvsområder.

Rådet har besluttet at yde en foreløbig projektbevilling på 150.000 kr. som støtte til projektet. Bevillingen har virkning fra 21. juni 1993.

De vil senere modtage besked om rådets stillingtagen til den revideret plan af 22. juni 1993.

Ph.D.-stipendier bevilges i henhold til lov om Statens Uddannelsesstøtte og udgør 149 stipendierater a 3.310 kr. (1993-niveau) i den samlede projektpæ-riode på 3 år.

I tilknytning til et Ph.D.-stipendium ydes et årligt uddannelsestilskud på 120.000 kr.

I det omfang uddannelsestilskuddet overføres fra projektkontoen til en anden konto på institutionen, sker regnskabsaflæggelsen i form af kontoudtog, som dokumenterer overførslen.

Bevillingen forudsættes administreret af Deres institution.


De nærmere vilkår for bevillingens anvendelse og administration fremgår af vedlagte:

- Generelle bestemmelser for bevillinger fra Forskningsrådene
- Vejledning om Forskningsrådenes bevillinger til forskeruddannelse

Regnskabs- og rapportfrister vil blive meddelt senere.

P.R.V.


Knud Østergaard


/ Per Grønberg

BILAG E



Docent, lic.techn.
Lars Pilegaard Hansen
Institut for bygningsteknik
AUC, Postboks 159
9100 Aalborg

Vor ref.: 16-5254-1 PG

Dato: 08-09-1993

Forskningsrådet har, jfr. lov nr. 346 af 24. maj 1989 om Forskningspolitisk Råd og forskningsråd, §5, nr. 4, behandlet Deres ansøgning af 08-12-1992 om støtte til projektet:

BETONELEMENTBYGGERI I JORDSKÆLVSONRÅDER

Rådet har besluttet at yde en 3-årig rammebevilling på 2.250.000,-00 kr. som støtte til projektet.

Bevillingen er fordelt således på finansår:

1993: 650.000,00 kr.

1994: 800.000,00 kr.

1995: 800.000,00 kr.

Der er endvidere ydet en foreløbig bevilling af 25/6-93 på 150.000,00 kr.

Det er en forudsætning for bevillingen, at der hertil indsendes et total-budget for projektet, udarbejdet i henhold til reglerne om indtægtsgivende forskningsvirksomhed i Finansministeriets budgetvejledning. Bemærk særligt, at institutionens bidrag til projektet maksimalt må udgøre 50% af projektets totalomkostninger. Hvis denne regel ikke opfyldes, vil rådet ikke have hjemmel til at yde støtte.

Totalbudgettet skal godkendes af institutionen. Det anbefales, at De også tager kontakt med institutionen, hvis De har behov for bistand til udarbejdelsen af budgettet.

Der kan ikke forventes yderligere rådsstøtte til dette projekt.

Inden for rammebevillingen kan gives støtte til Ph.D.-studerende. Støtten gives som et Ph.D.-stipendium i henhold til SU-loven eller, hvis særlige betingelser er opfyldt, som et kandidatstipendium i henhold til overenskomst.

I tilknytning til et Ph.D.-stipendium ydes et årligt uddannelsestilskud på 120.000 kr. Uddannelsestilskuddet er til institutionens disposition og dækker udgifter til vejledning, kurser, biblioteks-, edb- og laboratorieforbrug, udlandsophold m.v.

Ph.D.-stipendiater under SU-loven er omfattet af Aftalen mellem Finansministeriet og Akademikernes Centralorganisation om aflønning af Ph.D.-studerende for arbejdsopgaver i forbindelse med forskeruddannelse. Udgifter forbundet hermed afholdes af institutionen. Hvis den ansvarlige for rammebevillingen ønsker en særlig opgave i tilknytning til projektet udført af den Ph.D.-studerende, kan aflønning på den projektsansvarliges foranledning ske inden for rammebevillingen.

Rådet forudsætter, at Ph.D.-stipendier tildeles personer, der har opnået kandidatgrad. I henhold til SU-loven er der mulighed for at tildele et Ph.D.-stipendium før kandidatniveau, og rådet accepterer, at den projektsansvarlige i særlige tilfælde anvender denne mulighed.

Videnskabelige medarbejdere, som aflønnes af rådsmidler, kan pålægges undervisningsarbejde i et begrænset omfang og primært inden for det forskningsområde, pågældende beskæftiger sig med. Dette arbejde må - incl. forberedelsen af undervisningen - normalt ikke overstige 8 ugentlige timer.

Udbetaling af stipendiet forudsætter, at den pågældende er indskrevet som Ph.D.-studerende ved institutionen.

I det omfang uddannelsestilskuddet overføres fra projektkontoen til en anden konto på institutionen, sker regnskabsaflæggelsen i form af kontoudtog, som dokumenterer overførslen.

Ændringer i Ph.D.-studerendes institutionstilknytning forudsætter den projektsansvarliges og rådets accept.

Det bevilgede beløb er ekskl. moms. De henvises til at søge købsmoms refunderet via Deres institutions konto for ikke-fradragsberettiget købsmoms.

Bevillingen forudsættes administreret af Deres institution.

I bevillingen er inkluderet et administrationsbidrag på 3%. Såfremt det endelige godkendte regnskab afviger fra bevillingen, reguleres administrationsbidraget tilsvarende.

De nærmere vilkår for bevillingens anvendelse og administration går af vedlagte Generelle bestemmelser for bevillinger fra Forskningsrådene.

Desuden gælder følgende specielle betingelser for denne bevilling:

Der skal inden 20. april 1994 indsendes en statusrapport på indtil 5 sider i 11 expl. Rådet forbeholder sig ret til at standse projektet med et varsel på 3 måneder, hvis projektforløbet skønnes utilfredsstillende. Desuden gælder følgende frister:

Frist for delregnskab (1993): 1. november 1994.

Frist for delregnskab (1994): 1. november 1995.

Frist for slutregnskab og slutrapport: 1. november 1996.

Vedlagte skemaer bedes benyttet.

P.R.V.


Knud Østergaard


/ P. Grønborg

BILAG F

INST. FOR BYGNINGSTEKNIK AALBORG UNIVERSITETSCENTER

Lars Pilegaard Hansen Sohngårdsholmsvej 57, 9000 Aalborg

Telefon: 98 15 85 22, lokal 6652 Fax: 98 14 23 66

18. april 1994

Statens Teknisk - Videnskabelige Forskningsråd
att. afdelingsleder Per Grønborg
H.C. Andersens Boulevard 40
1553 København V.

Vedr.: J.nr. 16-5254 Betonelementbyggeri i jordskælvsområder

I henhold til skrivelse af 8.9.93 fremsendes hermed statusrapport i 11 eksemplarer for ovennævnte projekt for perioden 1.6.93 - 1.4.94.

Med venlig hilsen

Lars Pilegaard Hansen

15. april 1994

STVF projekt: BETONELEMENTBYGGERI I JORDSKÆLV SOMRÅDER (16-5254)

Statusrapport for perioden 1.6.93 - 1.4.94.

Projektet består af 3 projekter

1. Numeriske metoder til beregning af armeret beton i brugs- og brudtilstande.
2. Konstitutive modeller for fuger samt undersøgelse af nye fuger i præfabrikeret elementbyggeri.
3. Constitutive properties of cracked concrete.

Grunden til den engelske tekst for projekt 3 er, at den projektansatte er ph.d.studerende Jin-Ping Zhang, som er kineser.

1. Beskrivelse af de 3 projekter

Projekt 1. Numeriske metoder til beregning af armeret beton i brugs- og brudtilstande
Ph.D. studerende: Lars Kristian Jagd, DtU
Projektstart: 1.6.93.

Ph.D. studiet består i udvikling af numeriske metoder til beregning af betonkonstruktioner ved såvel statisk som cyklisk belastning. Teorigrundlaget udgøres i væsentlig grad af plasticitetsteorien for betonkonstruktioner, numerisk analyse herunder elementmetoden samt bygningsdynamik.

I det første halve år er der udover litteraturstudium blevet arbejdet med udvikling af tre nye elementer, de såkaldte "Hotch-Potch" - elementer (HP elementer), som kan anvendes ved elementmetodeberegninger af plade-, skive- og skalkonstruktioner. Skalelementet kan iøvrigt også benyttes til stabilitetsberegninger.

Grundlaget for modellerne er simple mekaniske modeller, som bl.a. medfører, at det krævede beregningsarbejde for at opnå et resultat med en given præcision er lille sammenlignet med andre elementer. Alle elementer er blevet grundigt testet og alle resultater er meget tilfredsstillende.

De tre elementer bliver beskrevet i tre rapporter, hvoraf den første "Hotch-Potch pladeelementet. Finite element til beregning af armerede betonplader" er udkommet som

rapport R307 ved Afdelingen for Bærende Konstruktioner, DtU. De to efterfølgende rapporter er skrevet og udkommer i nærmeste fremtid.

I 1994 er der indtil nu blevet arbejdet med udvikling af et generelt ikke-lineært elementmetodeprogram til beregning af betonkonstruktioner med vilkårlig arbejdskurve udsat for en vilkårlig lasthistorie. Som grundlag for programmet ligger de tre HP elementer. Programmet tager hensyn til skiftende revneretninger samt eventuel glidning i gamle revner eller langs stringere.

Indtil videre er der først og fremmest blevet arbejdet med de grundlæggende numeriske løsningsrutiner. I den kommende tid er det tanken at sammenligne resultater fra programmet med en række forsøgsresultater fra litteraturen. Bl.a. vil der blive undersøgt bjælker, der bryder ved forskydningsbrud - et emne, der behandles i det parallelt kørende projekt 3, hvortil der henvises. Efter testfasen er det planlagt at indbygge hystereseegenskaber i programmet således, at betonkonstruktioner udsat for cyklisk belastning kan analyseres.

I andet halvår af 1994 er det tanken at arbejde med numeriske metoder til beregning af betonkonstruktioner med ideal-plastiske konstitutive betingelser. Sluttelig vil projektet blive afsluttet med computersimulationer/ - analyser af betonkonstruktioner udsat for seismiske påvirkninger. Speciel opmærksomhed vil her blive rettet mod betonelement-byggeri.

Projekt 2 Konstitutive modeller for fuger samt undersøgelse af nye fuger i præfabrikeret elementbyggeri
Ph.D. studerende: Kirsten Guldbæk Jensen, AUC
Projektstart: 1.9.93.

Baggrund: Fugerne er det svage led i elementbyggeri, da de oftest udføres under ugunstige forhold og med en i forhold til elementerne ofte ringere beton. Det er hensigtsmæssigt, at fugerne er svagere end elementerne, og at de lodrette fuger er svagere end de vandrette. Herved fås et mere kontrolleret og mindre fatalt brud i konstruktionen. Men fugerne ønskes dog stærkere over for tidsvarierende påvirkninger (jordskælv) end de er på nuværende tidspunkt.

Projektets baggrund: Projektets formål er dels at søge en beskrivelse af fugers virkemåde, som ikke er baseret på empiri og dels at forbedre fugernes modstand overfor jordskælv. Fortrinsvis undersøges de lodrette fuger, og hvis tiden tillader det, da også de vandrette fuger. Hensigten er således:

1. at få opstillet nogle konstitutive modeller for fugernes virkemåde og
2. at forsøge at forbedre fugernes træk-, forskydnings-, trykarbejdskurver m.h.t. duktilitet, dissipation og evt. brudstyrke. De tre ting hænger mere eller mindre sammen. Kort sagt skal arealet under arbejdskurven (svarende til brudenergien) forøges. F.eks. kan brudtøjningen (svarende til nulspænding) forøges. Herved bliver kurvens nedadgående gren fladere, svarende til en mere duktil opførsel. Arealet under kurven kan også forøges ved at hæve brudstyrken, men herved

mindskes duktiliteten, hvilket ikke er ønskeligt. Derfor skal brudtøjningen forøges tilsvarende. Dog skal fugernes brudstyrke ikke være større end elementernes, da man ønsker, at fugerne skal virke som konstruktionens flydeled. Endelig kan hele arbejdskurven løftes. For en cyklisk last ønskes hysteresekurvernes omsluttede arealer ligeledes forøget svarende til en øget energidissipation.

Projektets indhold:

1. Projektet vil indeholde en beskrivelse af fugens (fugebetonens) opførsel under såvel statisk som dynamisk belastning. Beskrivelsen skal baseres på en kombination af brudmekaniske overvejelser og plasticitetsteorien. Den teoretiske del, der skal indeholde analytiske betragtninger og numeriske løsninger, skal underbygges af en række forsøg. Vedrørende omfanget af forsøg, se senere.
2. Der skal undersøges alternative fugetyper for de samme parametre og belastninger, evt. opstilles konstitutive modeller svarende til under punkt 1.

Aktiviteter indtil nu:

Der er indhentet og læst diverse litteratur vedr.: Plasticitetsteori, brudmekanik, jordskælvspåvirkning og -respons, beton under vekslende last, elementbyggeri. Indenfor nævnte emner både generel, men især fugespecifik litteratur. Endvidere diverse normer og codes samt diverse rapporter om fuger i elementbyggeri. Der er afholdt studiekreds i plasticitetsteori og brudmekanik. Derudover arbejdes der med en "State-of-the-Art"-rapport, der skal indeholde en gennemgang af beregning af fuger samt skivebygninger, som den foretages idag, såvel statisk, som når bygningen er udsat for jordskælv. Endvidere skal stedet for brudmekanikken og plasticitetsteorien vedr. fuger opridses.

Forsøgsvirksomhed:

Der ønskes (på nuværende tidspunkt) udført følgende forsøg:

- * cylinderprøver til bestemmelse af de til fugeforsøg anvendte betoners materialeparametre (hvormange vides ikke nu, ca. 10-20 stk.)
- * statiske fugeforsøg til bestemmelse af arbejdskurver (brudlast, bruddeformationer/brudtøjninger), ét, (gerne flere) forsøg pr. betontype, fuldskala, elementstørrelser svarende til halve væghøjder, antal betontyper: (ca.)
 - a. 2 alm. (gerne flere) med forskellige styrker
 - b. 2 alm. (gerne flere) med forskellig armering
 - c. 2 med fiberbeton, forskellig type eller armeringsgrad
 - d. 2 med højstyrkebeton, forskellig styrke
 - e. 2 med fiberarmeret højstyrkebeton, hvis det kan udføres, forskellig armering eller styrke
- * dynamiske fugeforsøg i antal svarende ca. til de statiske.

Der vil således alt i alt blive tale om ca. 20-30 fugeforsøg

Forsøg under pkt a. skal tjene til reference for de efterfølgende forsøg og dels til indbyrdes sammenligning mellem betonstyrker og dels til eftervisning af beregnede resultater. Forsøgene under punkterne b. - e. begrundes med, at der på baggrund af

litteraturstudiet forventes relativt større dissipation og duktilitet ved at foretage ændringer i betonstyrker og armeringsgrader i forhold til ændringer i fugegeometri. Det relative lave forsøgstal skyldes omfanget af elementer. Kan elementerne evt. genbruges, kan der evt. udføres flere forsøg. Forsøgene skal så vidt muligt udføres deformationsstyret. Fugeudstøbningen bør så vidt muligt ligne den i praksis udførte, således at resultaterne forhåbentlig kan anvendes direkte.

Projekt 3. Constitutive properties of cracked concrete
Ph.D. studerende: Jin-Ping Zhang, DtU
Projektstart: 1.6.93.

The topic of this project is the constitutive properties of cracked concrete. In reality concrete structures are in a cracked state even before they are loaded. The cracking of concrete reduces the stiffness and strength of the structure, especially the shear strength, to a considerable low value. Therefore it is of importance to get a thorough understanding of the behavior of cracked concrete and thus to predict the load carrying capacity reasonably.

The first part of the work deals with the load carrying capacities of non shear reinforced concrete beams failing in shear. The problems are solved by means of the theory of plasticity. It has been observed that in general the shear failure of non shear reinforced concrete beams is featured by the formation of a critical diagonal crack. Under the hypothesis that cracking introduces potential yield lines which are more dangerous than those found in the usual plastic theory of concrete, a new theory is developed to explain the shear failure mechanism of concrete beams. By using a few experimental parameters, the shear capacity of non reinforced concrete beams may be determined in a more rational way and even the position of the critical diagonal cracks may be predicted approximately.

Various experimental results reported in the literature of conventional reinforced concrete beams subjected to both concentrated loading and uniform loading, deep beams and corbels, prestressed beams under concentrated loading, have been investigated. Good agreement between the theoretical results and test results has been found. The comparison of theoretical calculation and test results shows that this theory can lead to a thorough understanding of the shear failure mechanism of reinforced concrete beams and the principle in this theory may be applied to both conventional and prestressed reinforced concrete beams subjected to any kind of loadings. A report on this subject has been prepared and is going to be printed soon.

Next part to be dealt with is shear transfer across cracks. Investigations of push-off and pull-off tests are done at the moment. The major part of literature searching has been finished and theoretical calculations and verifications by tests are under way. A report on this topic will be finished around October 1994.

2. Kommentarer til projektforsløb

Der har været afholdt et koordinerende projektmøde på AUC d. 22.3.94. I dette møde deltog de 3 Ph.D. studerende, deres vejledere, M.P.Nielsen og A. Rathkjen, Ph.D. studerende Jens Christoffersen, DtU, som også arbejder med jordskælvsproblemer, samt undertegnede. På mødet fortalte de Ph.D. studerende om deres hidtidige arbejde og skitserede planerne for det kommende arbejde, svarende til foranstående beskrivelser. Udviklingen følger nært planerne for projektet både tidsmæssigt og emnemæssigt og mødet gav således ikke anledning til de store korrektioner i planerne.

3. Økonomi

Der er indtil nu praktisk talt kun afholdt udgifter til de Ph.D. studerende, så projektet må også på dette område siges at følge planerne. Som anført i bevillingsskrivelsen vil der blive fremsendt delregnskab for 1993 inden 1. november 1994.

Aalborg, d. 15.4.94.


Lars Pilegaard Hansen