

Betongelementbygging

Prefabrication of concrete building elements

**Av sivilingeniørene Øivind Birkeland, Åge Hallquist,
Henry Hansen og Tore Ivar Svare,
Norges byggforskningsinstitutt**

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



Betongelementbygging

Av sivilingeniørene Øivind Birkeland, Åge Hallquist,
Henry Hansen og Tore Ivar Svare,
Norges byggforskningsinstitutt.

Norges byggforskningsinstitutt (NBI) har løst en del oppgaver i forbindelse med betongelementbygging, og et av NBIs arbeidsområder er tetthet mot regn og vind. Det er derfor naturlig at NBI har vært med på å utvikle tette fuger mellom betongelementer. Noen av de praktiske resultater av dette er offentliggjort (1), og en mer utførlig rapport om de utførte undersøkelser er utarbeidet (2). Dessuten er forskjellige fugetetningsmidler undersøkt (3-4).

Spørsmålet om målavvik, fastsettelse av toleranser og målemetoder for målavvik er viktig for betongelementer. NBI har i de senere år i en rekke tilfeller hatt som oppdrag å kontrollere betongelementers målavvik, toleransekrav osv. Basert på disse erfaringene er det nu skrevet en rapport (5), som konkluderer med fastsettelse av toleranser, måling av målavvik og de hensiktsmessigste målemetoder.

Kraftoverføring i fuger

De første forsøk som NBI utførte var et forsøk på å finne skjærfasthet og skjærmodul for en bestemt fugetype, figur 1, som brukes mellom bærende veggelementer i skiver utsatt for krefter i skivens plan. Forsøkene ble gjennomført dels med småprøver (en enkelt dybel) dels med større forsøk, figur 2. Ved disse forsøkene fikk man den på figur 3 viste skjærkraftfordeling (6).

Forsøkene ble fulgt opp med en undersøkelse som tok sikte på å undersøke gyldigheten av de forskjellige beregningsmetoder for skjærvegger av fordyblede betongelementer.

Det ble i alt laget tre modellvegger i målestokk 1:10 (unntatt tykkelsen som var i målestokk 1:2). Veggene skulle ettergjøre forholdene i et 7-etasjes hus. Det ble innsatt dekke-elementer for annenhver etasje for å avstive veggene mot utknekking (figur 4), og i en av prøveveggene var det anbragt døråpninger.

Resultatet av forsøkene viste at ved høye vegger med liten bredde kunne veggene regnes som en utkraget bjelke. Også i det mer kompliserte tilfellet med døråpninger viste det seg at de teoretiske beregninger (Finite element (7) og Rosman-metoden) gav god overensstemmelse med forsøkene. Resultatet av undersøkelsen er presentert i (8).

Andre undersøkelser av fasthetsproblemer i forbindelse med betongelementer

Statisk samvirke mellom indre og ytre skall i en sandwich-vegg av betong ble undersøkt for et veggelement som besto av to betongplater henholdsvis 10,5 cm og 5 cm tykke. Mellom

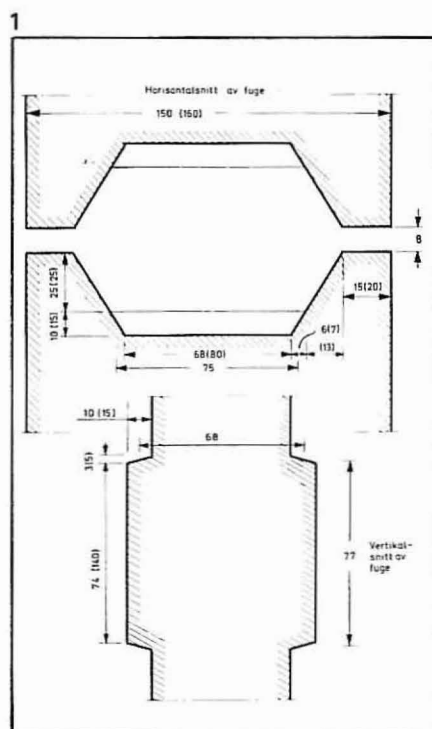


Fig. 1. Betongdybel brukt til fordybning av den undersøkte fugetype.

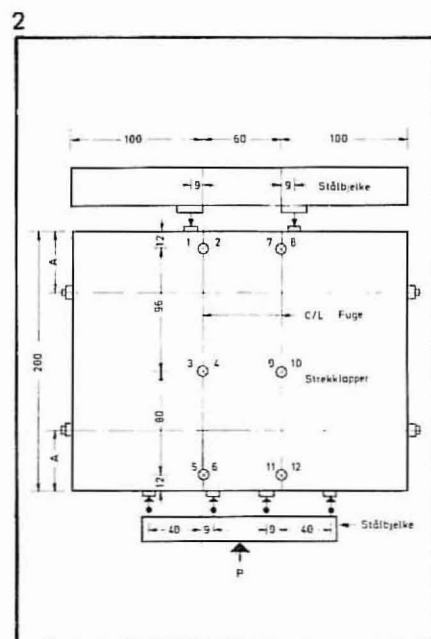


Fig. 2. Arrangement for prøvning av fordyblet fuge mellom store elementer.

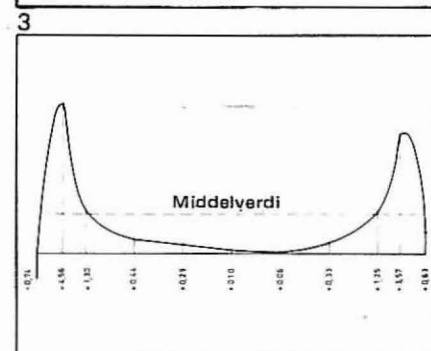


Fig. 3. Fordeling av skjærkrefter i den prøvede fuge (beregnet ved hjelp av "finite element"-metoden).

betongplatene var det lagt en varmeisolasjon av 9 cm tykk mineralull. Betongplatene var forbundet med bindere av 3 mm tråd, figur 5.

Spørsmålet var; når den 10,5 cm tykke platen ble belastet med vertikal kraft, i hvilken grad den 5 cm tykke platen ville virke knekkavstivende. Man anså det lite sannsynlig at mineralullen og binderne ikke kunne overføre noen skjærkraft av betydning, derimot kunne

strek og trykk til en viss grad overføres slik at de to platene fikk samme bøyingsdeformasjon. Man gikk derfor ut fra hypotesen om at veggens samlede treghetsmoment kunne bestemmes ut fra ligningen $I = I_1 + KI_2$. Denne antagelse ble bekreftet ved forsøkene og man fant i dette tilfelle $k = 0,85$. Dette vil da si at de to platene får omtrent lik bøyingsdeformasjon, unntatt ved endene.

Ved bruk av prefabrikerte dekker og vegger vil man få et etasjekryss som gjenstøpes med mørtel. Spørsmålet var hvilken vertikalbelastning et slikt etasjekryss kunne tåle. Man fant at utstøpning hadde tendens til å virke som kile, slik at brudd opptrådte ved at den underliggende vegg fikk et vertikalt riss omtrent midt i veggen.

En type etasjeskillere er slik utført at de har trekantformede knaster som tjener som opplegg. Spørsmålet er da hvor stor belastning slike knaster kan tåle. Som et ekstra kompliserende moment kommer at på grunn av monterings toleranser kan selve oppleggsflaten på disse knastene bare ha en lengde på 3 cm. Forsøkene viste at disse knastene var meget sterke.

Sammenføyning av betongkonstruksjoner med plastbindemidler

Plastlim er i de senere årene brukt endel for sammenføyning av prefabrikerte betongkonstruksjoner. Det er knyttet stor interesse til øket anvendelse av plast til dette formålet, da liming vil kunne by på mange konstruktive og produksjonstekniske fordeler. Ønskemålet er å utvikle liming til en mulig metode for innspenning av søyler i fundament, monolittisk skjøting av søyler, bjelker og for å gi bøyestive knutepunkter i rammer.

Limeteknikken har i første rekke blitt tatt i bruk for følgende skjøte-typer:

- Tynne fuger mellom betongelementer som blir mekanisk spent sammen etter at limfugen har herdet.
- Tynne horisontale trykkfuger mellom seksjoner av prefabrikerte pynesøyler i fasader hvor det er en dybel mellom søylene.
- Forskjellige skjøteforbindelser for prefabrikerte peler, trappeseksjoner osv.

Plasttypene som er mest brukt til liming av betong, er epoksy og polyester. Begge typer gir ved tilsetning av fyllmateriale — som for eksempel mørtel-sand — høye fastheter og god heft til betong og stål.

Norges byggforskningsinstitutt har i (9) orientert om endel forberedende forsøk utført ved instituttet. Ved videre undersøkelser søkte man å lage en plastmørtel med høyere fasthet, og det ble også prøvet en hylseskjøt for skjøting av armeringstål.

For en mørtel bestående av 20 vektprosent epoksy og 80 vektprosent sand oppnådde man en trykkfasthet på over 1600 kp/cm² og en bøyefasthet på 370 kp/cm². Tabell 1 viser prøvningsresultatene.

Tabell 1. Prøving av 25 mm x 25 mm x 170 mm mørtelprismer.

Prøvestykke Nr	Elastisitetmodul, kp/cm ²	Bøyefasthet, kp/cm ²	Trykkfasthet, kp/cm ²	
			1	2
1-1	173 000	395	1600	1555
1-2	154 000	380	1605	1600
1-3	160 000	372	1595	1615
2-1	196 500	362	1600	1570
2-2	196 500	362	1600	1570
2-3	—	369	1620	1610
Middeltall, $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$	176 000	373	1588	
Spredning, $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	20 000	13	21	
Variasjonskoef., $v = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$	11,4 %	3,5 %	1,3 %	

Notater:

Epoksybindemiddel: CIBA x 183/2313 — 85 vektdele
CIBA x 157/2273 — 15 vektdele

Fyllstoff: Svelviksand ≤ 1,19 mm — 3 vektdele
Filler — 1 vektdele

Blandeforhold: Bindemiddel — 20 vektdele
Fyllstoff — 80 vektdele

Tabell 2. Prøving av hylseskjøt

Prøvestykke Nr	Første glipp kp	Bruddlast kp	Notater
1 (L=3,2 cm)	4500	6850	Mørtelbrudd
2 (»)	2400	6800	»
3 (»)	5700	6800	»
Middel	4200	6800	
1 (L=4,8 cm)	8600	9100	Mørtelbrudd
2 (»)	4000	9000	»
3 (»)	5300	9300	»
Middel	6000	9100	
1 (L=6,4 cm)	8450	11 900	Mørtelbrudd
2 (»)	8600	12 000	»
3 (»)	8400	11 650	»
Middel	8500	11 900	
1. (L=4,8 cm)	4000	5700	Fett i hylse Glidning, koning rettet ut
2. (L=4,8 cm)	6600	6600	Fett på kamstål Skjærbrudd mellom kammer og mørtel
3. (L=4,8 cm)	1100	5800	Fett i hylse og på kamstål Glidning mellom mørtel og hylse, koning rett ut

Notater: Armeringstål, KS40 — 16 mm
Stålhylser, utvendig diameter — 41 mm
godstykkelse — 3 mm
konet de siste 30 mm i hver ende ned til
utvendig diameter 36 mm

Tabell 3. Prøvning av hylseskjøt ved konstant belastning og temperatur, se notater tabell 2

Belastning, tonn	Belastningstid		Forlengelse i 1/1000 mm, måleområde nr						
	Døgn	Timer	Temperatur 40°C				Temperatur 20°C		
		Min.	3 ¹⁾	4 ¹⁾	\bar{x}	$\Delta\bar{x}$	5 ¹⁾	6 ²⁾	$\Delta\bar{x}$
5	1	1	360	292	336		300	212	
		2	180	204	192	-144	305	220	7
	2	1	175	168	171	-21	302	220	-1
		2	218	343	281	110	325	228	16
		3	239	374	306	25	307	228	-9
		4	231	376	303	-3	300	232	-2
		7	274	406	340	37	350	248	33
		8	281	411	331	-9	325	254	-10
		9	287	432	360	29	338	256	8
		10	277	437	357	-3	338	258	1
5 0	14	287	444	336	9	338	260	1	
	15	294	456	375	9	338	262	1	
		56	114	85	295	20	38		
5	2	15	Temperatur 60°C				Temperatur 20°C		
		2	409	322	336		305	238	
		3	601	455	528	162	318	242	9
		7	622	512	567	39	198	244	
		8	640	530	585	18	330	246	8
		9	650	538	594	9	330	246	0
5			635	533	584	-10	330	246	0

Notater: 1) Målelengde 10" = 25,4 cm
 2) Målelengde 20 cm
 Forankringslengde — 4 stangdiametre
 \bar{x} — midlere målt forlengelse
 $\Delta\bar{x}$ — avvik fra middeltall målt ved forrige avlesning

Den samme mørtelen ble brukt ved prøvning av hylseskjøt for armeringsstål. Hylsen som hadde noe større diameter enn armeringsstangen ble først fylt med mørtel, og så ble en armeringsstang ført inn fra hver ende. Forsøkene viste at selv når innspenningslengden bare var tre ganger stangdiameteren oppsto flytning i armeringsstålet før brudd oppsto i skjøten, se tabell 2. Dette var ved romtemperatur. Andre forsøk ble utført hvor skjøtene ble oppvarmet til henholdsvis 40°C og 60°C og belastet i to uker med en uttrekkskraft som ga 2500 kp/cm² strekkspenning i armeringen. Forsøkene avdekket hovedproblemet med anvendelse av plastlim i strekk-belastede skjøter da det oppsto flytning i skjøten ved den høyeste temperaturen, se tabell 3.

Ved en temperatur mellom 40°C og 60°C oppsto flytningen i plastmørtelen. Sannsynligvis ligger flytningstemperaturen på noe over 50°C. Et avgjørende spørsmål for om plasttyper som nå synes aktuelle, epoksy og polyester, kan anvendes i strekkpåkjennte skjøter, er om skjøtene må dimensjoneres for temperaturer over 50°C. NBI har utviklet et EDB-program som gjør det mulig å analysere temperaturforløpet i betong ved brannpåvirkninger. Før det blir gjort noe mere med utvikling av selve skjøtemetoden, vil man derfor foreta en

analyse av dimensjonerende temperaturer.

Viser temperaturberegningene at plastmørtler ikke er egnet for strekkpåkjennte skjøter, mister man et interessant anvendelsesområde. Men det er en rekke andre sammenføyningsproblemer med betongelementer som plastmørtler vil være egnet til å løse. Man kan derfor vente utstrakt bruk av plastlim til liming av betong etterhvert som limeteknikken blir utviklet. NBI vil derfor arbeide videre med plastlim som sammenføyningsmiddel som en deloppgave av forskningsoppgaven betongelementbygging.

Betongelementbyggingens fremtid

De beskrevne undersøkelser dekker spredte problemer innen feltet montasjebygging. I 1969 fant vi tiden inne til å engasjere oss mere systematisk. Det ble da påbegynt en perspektivanalyse. Undersøkelsen tok sitt utgangspunkt i betongelementbygging, men vi hadde som formål å prøve å belyse montasjebygging generelt. Undersøkelsen ser 15 år frem i tiden. Den prøver å indikere hvilken betydning elementbyggingen da vil ha, hvilke faktorer som innvirker på denne utviklingen, hvilke typer elementer som vil bli brukt osv.

Analysen ble utført ved hjelp av en

analysemetodikk kalt Delphi (10). En Delphi-undersøkelse karakteriseres som en diskusjon på papiret som benytter seg av "informert intuisjon" til å forutsi fremtiden. En Delphi-analyse, som andre etablerte analyseformer, benytter seg av dagens tenkning og tidligere utvikling til å forutsi fremtiden. Dette er en begrensning alle perspektivanalyser har, og de må tolkes i lys av dette. En perspektivanalyse kan derfor slå helt feil ved at uforutsette hendelser inntreffer.

Undersøkelsen viste at det er mange faktorer som vil innvirke på bruken av prefabrikerte elementer frem til 1985. De faktorer som vil ha sterk innvirkning på utviklingen kan deles inn i tre hovedpunkter:

- Automatisasjon og rasjonalisering innen fabrikkasjon, transport og montering av elementer.
- Arbeidsmarkedet.
- Nytenkning.

Det første punktet spenner over et meget vidt område. Den standardisering som nå foregår vil ha en stor innvirkning. For å se på det materiale som er mest brukt, betong, så vil produksjonen bli sterkt rasjonalisert og automatisert i fremtiden. Det vil bli tatt i bruk metoder for raskere herdning, bedre utstøpningsmetoder, ekstrudering av elementer og fabrikk-fremstilling av armeringsnett.

Det vesentligste for det andre punktet er kravet om at arbeidsplassen skal ha en fast lokalisering, og at den skal være innendørs. Arbeidsmarkedet innen byggebransjen vil antagelig også i fremtiden være stramt.

Med nytenkning tenker vi spesielt på to ting:

1. De prosjekterende vil begynne å tenke på prefabrikerte elementer tidligere i planleggingsperioden.
2. Utvikling av fleksible prefabrikerte systemer.

Det som er nevnt foran vil naturligvis i fremtiden ha forskjellig innvirkning på de forskjellige typer bygg. Figur 6 gir en oversikt over den i 1985 forventede fordelingen av relativt byggevolum som undersøkelsen gav for de forskjellige bygg.

Ved byggemåte nr 1 støpes bæresystemet på stedet. På figur 5 har vi valgt å dele dette volumet igjen i to. Oppdelingen er foretatt ut fra måten byggeprosessen er organisert på. Det skraverte feltet representerer det volum av typehus som støpes på stedet. Denne utviklingen vil antagelig begynne for fullt i siste halvdel av 1970-årene for å presse ned prisene. Entreprenører tilbyr typehus tilpasset de forskalingssystemer

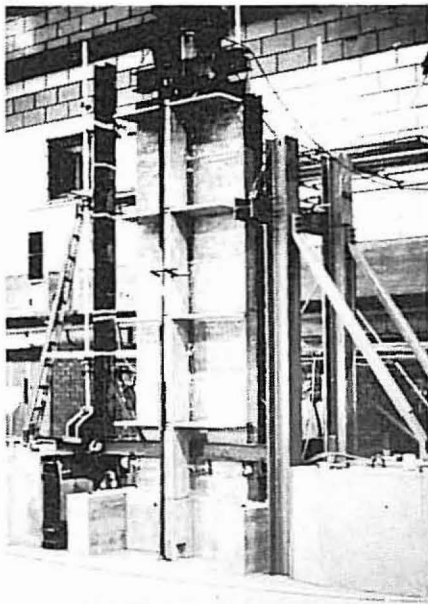


Fig. 4. Modell klar til prøvning.

Fig. 5. Vegg bestående av indre og ytre skall hvor samvirke mellom de to skallene ble undersøkt.

Fig. 6. Tre forskjellige byggemåters anvendelse i 1985 til forskjellige bygningstyper.

1. Støpt på stedet.

2. Kombinasjon av støpt på stedet og prefabrikasjon.

3. Prefabrikerte elementer.

3a. Skreddersydde elementer.

3b. Bæresystem av standardiserte bærende søyler, dragere og etasjeskillere.

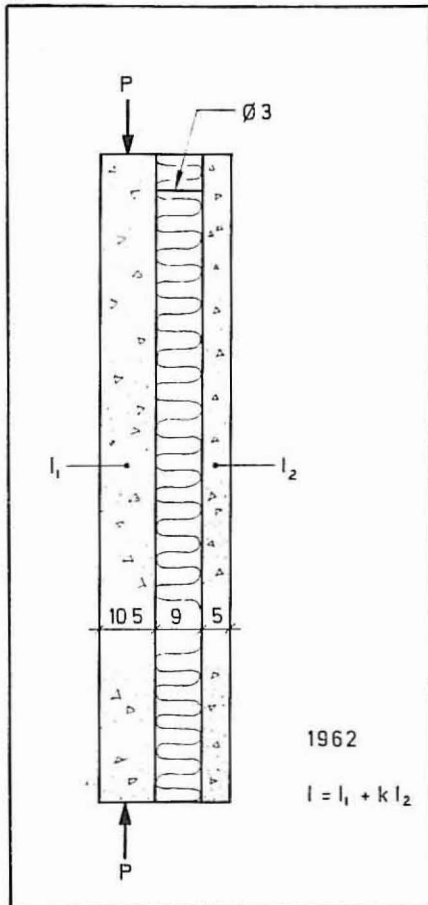
3c. Bæresøylene av standardiserte bærende veggelementer og etasjeskillere.

3d. Bokser (volumelementer).

de har til rådighet. Resten av diagrammet antyder hvor stor del av det totale volum som prosjekteres i hvert enkelt tilfelle.

Ved byggemåte nr 2 er bæresystemet en kombinasjon av bygningsdeler støpt på stedet og prefabrikerte elementer. Ett bygg med bæresystem støpt på stedet, men med ikke-bærende prefabrikerte fasadelementer, indre skillevegger, trapper osv. har vi tatt med her. Ett bygg med bare prefabrikerte fasadelementer og trapper hører med til byggemåte 1.

Ved byggemåte nr 3 består bæresystemet av prefabrikerte elementer. Men vi må legge til at et bygg med vindavstivning støpt på stedet også kan høre med under byggemåte 3. Forutsetningen må da være at vindavstivningen opptar svært lite av gravitasjonskreftene. For å kunne studere denne formen litt nærmere har vi i figur 6 delt den opp i fire. Oppdelingen er foretatt ut fra elementenes utseende og produksjonsmåte. I punkt a består hoveddelen av bæresystemet av "skreddersydde" elementer (elementers dimensjoner bestemmes i hvert enkelt tilfelle).



I punkt b består den av standardiserte søyler, dragere og etasjeskillere, i punkt c av standardiserte bærende veggelementer og etasjeskillere (boksenheter for våtrommene er inkludert i denne byggeformen), og i punkt d av bokselementer.

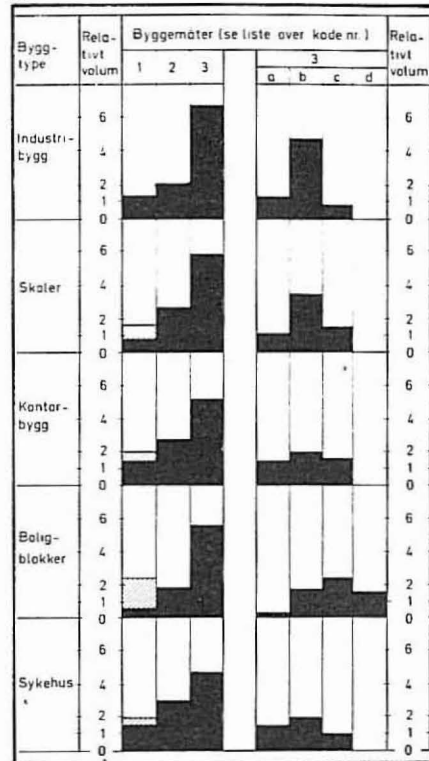
I gruppen standardiserte elementer kommer alle elementtyper som er standardiserte for hele bransjen pluss de elementer som fabrikantene bruker i sine typehus.

Vi bør vel også legge til at byggemåte nr 1 i flere tilfeller benytter seg av prefabrikerte elementer. Det gjelder særlig for trapper og fasader.

Undersøkelsen er nøyere omtalt i Bygg 1/72. (11)

Videre arbeider

Som et resultat av Delphi-undersøkelsen er følgende i gang: en litteraturundersøkelse av virkemåten av fire knutepunktstyper. Det er søylefundament, søyle-søyle, søyle-bjelke og bjelke-bjelke. Vi har samlet 70-80 publikasjoner som omhandler hvordan kreftene overføres i disse forbindelses-typer og hvordan de kan dimensjoneres. Vi vil prøve så snart som mulig å begynne å publisere sammendrag av disse studiene. Disse sammendragene skal antagelig inneholde de vanligste typer forbindelser og hvordan disse skal



kunne dimensjoneres. Dimensjoneringsreglene vil basere seg vesentlig på bruddteorier som er blitt satt frem på grunnlag av prøver som er foretatt rundt i verden. Sammendragene i seg selv vil ikke være fyldige nok til å gi en fullstendig oversikt over de problemene som behandles, men vi vil i tillegg gi litteraturhenvisninger.

Fortsettelsen av dette arbeidet vil muligens bli å foreta prøver i laboratoriet, og å undersøke hvordan forbindelsene i virkeligheten blir utført på byggeplassen. Vi vil også her ta for oss fuger i systemer bygget opp av bærende veggelementer.

Efterhvert som vi kommer over informasjonen om byggesystemer brukt i utlandet eller i Norge, samler vi på opplysningene og vi får en oversikt over hva som bygges i de forskjellige land, og om hvordan de praktiske problemene løses. Vi håper at dette arbeidet skal kunne hjelpe til med å ta i bruk nye og forbedre noen av de systemene som brukes idag. Dette arbeidet er bare så vidt påbegynt.

Å finne frem til preferansemål for betongelementbygg synes viktig. Arbeidet med denne oppgaven er ennå ikke påbegynt. Hensikten er at vi ut fra funksjonskrav og målinger i eksisterende bygg skal kunne komme frem til de dimensjoner som er mest hensiktsmessig for forskjellige romtyper.

Litteratur

- 1 NBI (21). 602 Fuger i yttervegger.
- 2 Trygve Isaksen: Upublisert manuskript. Vil bli trykket som NBI-rapport.
- 3 Margrete Dalaker: Tettelister, NBI-rapport nr 40, Oslo 1965.
- 4 NBI Dt. 401. Fugemasser. Egenskaper materialvalg.
- 5 Brynjulv Slettebø: Betongelementer, målnøyaktighet og målkontroll. Intern NBI-rapport, kan fåes ved henvendelse til NBI. Vil senere bli publisert som NBI-rapport.
- 6 Henry Hansen: Mortar joints between concrete elements in shear walls. NBI-rapport nr 53, Oslo 1967.
- 7 Ole Edvard Hansteen: Analysis of stress distribution in shear walls by the finite element displacements method. NBI særtrykk nr 160, Oslo 1969.
- 8 Andrej Cholewicki og Ole L. Prestrud: Shear walls—Model tests on prefabricated concrete element. NBI-rapport nr 70, Oslo 1971.
- 9 Åge Hallquist: Epoksy og polyester som sammenføyningsmiddel for betongelementer. NBI Særtrykk nr 155.
- 10 Tore Ivar Svare: Erfaringer og tanker fra to Delphi-analyser innen bygningsindustrien. Bygg nr 2, 1972, NBI Særtrykk nr 205.
- 11 Tore Ivar Svare: Dagens montasjebygging år 1985. Resultatet av en Delphi-analyse ved NBI. Bygg nr 1, 1972. NBI Særtrykk nr 204.

