

Epoxy og polyester som sammenføyningsmiddel for betongkonstruksjoner

Epoxy and polyester as a jointing material for concrete structures

Av sivilingeniør ÅGE HALLQUIST

Norges byggforskningsinstitutt

Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



Norges byggforskningsinstitutt tok ved utgangen av 1965 opp som forskningsoppgave å undersøke mulighetene for sammenføyning av prefabrikerte bygningsdeler av betong med plastlim eller plasmørtel.

Opgaven ble tatt opp fordi det med den raske utviklingen som finner sted innen polymerteknologien, åpner seg lovende muligheter for bruk av disse nye materialene i bygningsteknikken. Det kan nå i stadig større utstrekning spesialfremstilles kunstharpikser som vil egne seg til bestemte formål, for eksempel sammenføyning av bærende konstruksjoner.

Grunnen til at NBI først vil arbeide med sammenføyning av prefabrikerte bygningsdeler av betong, er at rasjonalisering innen bygningindustrien har ført til stadig større anvendelse av betongelementer, og behovet for nye metoder for sammenføyning av disse er stort. Det gjelder blant annet innspenning av søyler, monolitisk skjøting av søyler, peler og bjelker og bøyestive knutepunktsforbindelser. For å gjøre industribygninger av betong mer fleksible, eksisterer det et behov for å kunne lime nye bygningsdeler til betong.

Programmet for forskningsoppgaven er:

1. Litteraturstudier og orienterende forsøk.
2. En økonomisk og praktisk vurdering av enkelte konstruktive løsninger.
3. Prøving av enkelte konstruktive løsninger i full målestokk.

Alle delene i programmet griper inn i hverandre, og da særlig 2 og 3. Hittil har vi kun arbeidet med del 1 i programmet, men arbeidet med konstruktive løsninger vil bli tatt opp om kort tid. Vi ønsker derfor å orientere dem som innen ulike felt blir berørt av vårt arbeide om forskningsoppgaven, og vi håper å starte en diskusjon om hvilke konstruktive løsninger som er mest lovende. En slik diskusjon kan bli til stor hjelp for det videre arbeid.

Krav til nye sammenføyningsmetoder

Konstruktøren må ha det fulle kjennskap til sammenhengen mellom spenning, tøying, temperatur og tid for alle materialene som inngår i en

Limeteknikken har gjort store fremskritt i de senere år. Det er blitt aktuelt å lime betongkonstruksjoner også, og metoden er allerede i praktisk bruk i Norge. Man mangler imidlertid en god del erfaring for å kunne utnytte de mange fordelene med liming fullt ut. Norges byggforskningsinstitutt har derfor tatt opp liming av betongelementer på sitt arbeidsprogram, og i denne artikkel blir det redegjort for hvor langt dette arbeidet er kommet.

sammenføyning i en bærende konstruksjon. For å gi konstruktøren et sikrere beregningsgrunnlag, må nye sammenføyningsmetoder prøves i modeller, i redusert eller full målestokk, for å undersøke virkemåten til sammenføyningen — under de langtidspåkjenninger den vil bli utsatt for i praksis — og under bruddlast.

Praktisk vil en sammenføyningsmetode som krever fabrikkasjon og montering av betongenheter med små dimensjonstoleranser ha liten verdi; minste fugetykkelse bør antagelig være 5 mm. Andre praktiske krav er at man må tilstrebe å utvikle en metode som tillater rask montering og avstivning av betongelementene. Meget viktig er det at metoden må være anvendelig under de klimatiske forhold som vi har i Norge.

Nye sammenføyningsmetoder må vise at de er fordelaktige fremfor konvensjonelle metoder vurdert ut fra byggekostnad og byggetid.

Materialer

Kunstharpiksene består av eller inneholder som en hovedbestanddel et organisk stoff med høy molekylvekt — et stoff som kan bli myknet og formet ved økning av temperatur eller trykk på et eller annet trinn under fremstillingen.

Kunstharpiksene er bygget opp av kjempemolekyler, *polymerer*. To forskjellige prinsipper ligger til grunn for oppbyggingen av de store molekyler som er nødvendige for å gi stoffene den ønskede fasthet, nemlig polymerisasjon og kondensasjon.

Polymerisasjon er flere molekylers sammenslutning til ett uten avspaltning av atomer.

Kondensasjon er sammenslutning av flere molekyler til ett under avspaltning av enkle forbindelser som vann, alkohol, klorvannstoff og lignende. Sluttproduktets egenskaper avhenger av reaksjonsbetingelsene, det vil si blant annet temperatur, trykk, katalysatormengde og utgangsstoffenes renhet. Ved å variere disse faktorene har man store muligheter til å variere de fremstilte stoffers egenskaper.

Inndeling

Kunstharpiksene kan deles inn i to hovedgrupper som betegnes henholdsvis *termoplastiske* og *varmeherdende*. Disse to gruppene skiller seg fra hverandre i måten de påvirkes av varme.

Termoplastiske kunstharpikser blir myke når de oppvarmes og herdner når de blir avkjølt. Til de termoplastiske kunstharpiksene hører blant annet polyvinyl-acetat, polyvinylklorid, polystyren og mettet polyester.

Varmeherdende kunstharpikser herder irreversibelt: etter at herdning har funnet sted kan de ikke gjøres myke igjen ved forandring av trykk og temperatur; utgangsmaterialene undergår en kjemisk forandring ved herdningen. Til de varmeherdende kunstharpikser hører for eksempel: fenol-formaldehyd epoxy, furaner, umettede polyestere og silikoner.

Aktuelle kunstharpikser

Vi regner med at epoxy, furaner og umettede polyestere vil egne seg best til vårt formål. Det har imidlertid vist seg umulig å få kjøpt furanharpiks kommersielt i Norge, og foreløpig vil vi derfor ikke arbeide videre med denne type harpiks.

De kommersielt viktigste epoxyharpikser fremstilles for tiden av jordoljederivatene difenylpropan og epiklorhydrin. Ved å variere forholdet mellom disse utgangsstoffer og mengden av den katalysator som brukes for å få en reaksjon igang, fås forskjellige typer epoxyharpikser med molekyler som har ulike lengder eller ulik polymerisasjonsgrad.

Alene er epoxyharpiks en mer eller mindre viskøs væske eller et sprøtt fast stoff som er lite brukbart. Det trengs et herdemiddel eller en katalysator for å danne en herdeplast med tredimensjonal molekylstruktur. Eksempler på herdemidler er aminer, polyamider, syreanhydrider, sterke baser og metallsalter, isocyanater og visse kunstharpikser (fenol-, urea- og melaminharpikser). Noen herdemidler trenger varmetilførsel for å herde harpiksen. Rent praktisk deles de derfor i kaldt- og varmtherdende systemer. Herdereaksjonen starter umiddelbart ved tilsetning av herder, men hastigheten varierer sterkt med hvilket herdemiddel som er brukt. Den tid som man har til rådighet før blandingen blir ubearbeidelig, kalles åpen-tid, geltid eller «potlife». Herdereaksjonen forløper hurtigere ved høye temperaturer, dessuten er den varmeavgivende slik at den akselereres. Som regel gjelder derfor at jo større stoffmasser som blandes og jo høyere temperatur dette skjer ved, desto kortere blir geltiden.

De to største leverandører av epoxyharpikser på det norske marked er CIBA (Gesellschaft für Chemische Industrie, Basel) og Shell Kjemi. Av andre produsenter kan nevnes Dow Chemical og Union Carbide i U.S.A., Reichold og Bayer AG i Tyskland, Leicester, Lovell & Co Ltd., England som har samarbeid med AB Casco, Sverige, og til slutt AB Cementex, Sverige.

CIBA markedsfører sine epoxyharpikser under navnet Araldit mens Shell bruker betegnelsen Epikote på sine.

For generelle opplysninger om epoxyharpiksers oppbygning og egenskaper vises det til [1]. For spesielle opplysninger om de ulike epoxysystemer vises det til fabrikanterens brosjyrer.

Fremstilling av umettede polyestere skjer ved forestring av ftalsyre og maleinsyre med en glykol. Produktet som er hårdt og sprøtt ved vanlig temperatur, løses i styren, og man får derved en klar lakkliknende væske. Det anvendte styren som utgjør ca. 30 vektprosent av blandingen, har en tosidig oppgave; for det første bringes polyesteren over i en flytende form, og dernest vil styren under herdeprosessen reagere med esterproduktet til en hård masse. Denne reaksjonen skjer først ved tilsetning av herdestoff eller ved tilførsel av lys eller varme.

Umettet polyester vil herde i løpet av noen dager hvis den tilsettes en katalysator; herdetiden kan nedsettes til noen minutter hvis man tilsetter tilstrekkelig mengde akselerator.

Katalysatoren setter herdeprosessen i gang. Som regel benyttes det et peroksyd — enten cyclohexanonperoksyd eller benzoylperoksyd. Katalysatorer kan fåes i væske- eller pulverform.

Akseleratoren har til oppgave å påskynde herdeprosessen. Dette er særlig nødvendig ved spesielt lave temperaturer. Som akselerator benyttes et metall, de mest vanlige er koboltnaftenat og dimetylanilin. Til små blandinger er det svært små mengder katalysator og akselerator som skal tilsettes, og man kan da med fordel få levert polyester med innblandet akselerator.

I Norge produseres polyester av A/S DE-NO-FA og Lilleborg fabrikker; produktet markedsføres under navnet Delipol. I Tyskland er det flere store produsenter av polyester — Badische Anilin- und Sodafabrikken (BASF) som kaller sine polyestere Palatal, Bayer AG som kaller sine Leguval og Chemische Werke Hüls (CWH) som bruker navnet Vestopal.

For generelle opplysninger om polyesterharpiksers oppbygning og egenskaper vises det igjen til [1]. For spesielle opplysninger om de ulike polyester-systemer vises det likeledes til fabrikanterens brosjyrer.

Tilsetningsstoffer til kunstharpikser

Av tilsetningsstoffer kan nevnes fortynningsmidler, myknere, ekstendere, tixotrope stoffer, pigmenter, fyllstoffer og armeringsstoffer. De to sistnevnte vil bli omtalt i all korthet.

Både av prismessige og materialtekniske hensyn vil det i mange tilfeller være en fordel å bruke en tilsetning av filler til kunstharpiksen. Således vil den redusere herdningsvinnnet for polyester betraktelig. Når fyllstoffer settes til rene kunstharpikser, får man iflg. [2]:

1. Tilstanden hvor tilslaget virker som urenheter i plastmassen og styrken på materialet synker.
2. Setter man til mer tilslag, øker styrken igjen, og ved en viss mengde tilslag vil man nå plastrørtelens optimale styrke.
3. Ytterligere tilsetning av tilslag vil frembringe hulrom i mørtelen, styrken synker og man får økt vannpermeabilitet.

Interessant er det faktum at for bindemiddelinhold under 20 volumprosent (~ 10 vektprosent) er ikke trykkstyrken meget forskjellig om bindemidlet er epoxy, polyester eller furaner.

Som eksempler på fyllstoffer kan nevnes sand, kalk, og steinmel.

Armeringsstoffer

Disse kan virke retningsforsterkende. Eksempler på armeringsstoffer er glassfiber, asbestfiber og metallduk.

Orienterende forsøk [3].

Første ledd i forskningsoppgaven var at man på grunnlag av litteraturstudier og orienterende forsøk skulle velge sammenføyingsmaterialer. Det presiseres at de orienterende forsøk ikke vil bli avsluttet, fordi om man kommer frem til materialer som virker lovende. Prøving av nye materialer må pågå parallelt med optimalisering av egenskapene til de sammen-setninger man tidligere har prøvet, og utprøving av konstruktive løsninger.

CIBA har utviklet en bestemt bindemiddelsammensetning for liming av betong; dette gjorde at vi allerede i de orienterende forsøk prøvde noen enkle sammenføyninger. Ved en sammenligning mellom resultatene for CIBA's produkt og de andre kunst-



Fig. 1. Måling av bindemidlets viskositet.

harpikstypene brukt ved forsøkene, må man huske på at for de sistnevnte arbeidet vi kun med forslag til sammensetninger.

Ved forsøkene prøvde vi 3 epoxyharpikser, 2 polyesterharpikser, 3 fyllstoffer, 3 blandingsforhold og 3 herdebetingelser. To av harpiksene ble prøvet ved NBI's laboratorium i Trondheim av to av prof. Granums studenter i særkurs i Husbygningsteknikk ved NTH.

Valg av kunstharpiksker

Vi anser oss på ingen måte som eksperter på kunstharpiksker, og det vil være lite hensiktsmessig at vi selv velger ut en blanding som vil egne seg til sammenføyning. Isteden ønsker vi et nært samarbeid med leverandører og fabrikanter av kunstharpiksker som sitter inne med den nødvendige ekspertise som vi må søke å utnytte.

Følgende kunstharpiksker ble valgt til de orienterende forsøk etter råd fra CIBA's representant i Norge O. Pers-Pleyrn & Co., Shell Kjemi og

Tabell 1. Fortegnelse over tre av de anvendte kunstharpiksker.

Bindemiddel nr.	Polymer betegnelse	Herder betegnelse	Blandeforhold vekt-%	Viskositet ved 22 °C, cps
(Epoxy, CIBA)	x 183/2313	x 157/2273	85 15	440
(Polyester, DE-NO-FA)	Delipol z-5 Delipol 70	Peroksyd	78 20 2	1100
(Epoxy, (SHELL))	Epikote	Versamid 140 N.A.E.P. Fenol	59 26,5 10,5 4	0721

Tabell 2. Mekaniske egenskaper til den herdete epoxymørtel ifølge CIBAs forsøk med egne produkter.

	Prøveforskrift	Enheter	Prøvedata
Romvekt	—	kg/dm ³	2,0
Trykkfasthet	VSM 77102	kp/cm ²	1500
Strekkfasthet	VSM 77101	kp/cm ²	260
Bøyefasthet	VSM 77103	kp/cm ²	500
E-modul	VSM 77111	kp/cm ²	300 000–350 000
Linerær varmeutvidelseskoef. .	VSM 77110	mm/mm °C	26 · 10 ⁻⁶
Formbestandighet i varme etter Martens	DIN 53458	°C	63
Varmeledningsevne	DIN 52612	kcal/mh °C	0,852

A/S DE-NO-FA og Lilleborg fabrikk, tabell 1.

De prøvedata CIBA selv har oppnådd for en mørtel bestående av 20 vektprosent bindemiddel og som tilslag 24 vektprosent kvartsmel og 56 vektprosent kvartssand er følgende: Geltiden er avhengig av temperaturen og mørtelmengden. Ved 25 °C er den 25–30 min. for 1 l mørtel og 20–25 min. for 10 l mørtel.

Herdning:

Temperatur, °C	Tid, timer
0–5	14–24
5–10	10–14
10–20	6–10
20–30	3–6

De lavere verdier gjelder for tynne sjikt (max. 5 mm), de øvre for tykkelser over 20 mm, se tabell 2.

Valg av fyllmiddel

Høye fasthetsegenskaper er oppnådd med et mineral som fyllmiddel for plastrørtel, og vi ønsket derfor å prøve en ren plastrørtel.

Det er antatt at kornkurven vil ha noenlunde samme innflytelse i en

plastrørtel som i en vanlig mørtel. Har den flytende kunstharpiksen samme virkning på blandingen som bindemiddel + vann i vanlig mørtel, må man imidlertid tilsette forholdsvis mer grovkornete materialer av hensyn til bearbeidbarheten siden viskositeten for kunstharpiks er forholdsvis høy. Utelatelsen av finstoffet som bindemidlet i konvensjonelle mørtler utgjør, ble forsøksvis antatt å gi den ønskede forskyvning i kornkurven.

Følgende tilslag ble brukt:

1. Mørtelsand ifølge Norsk Standard NS 422 A.
2. En blanding av 30 vektprosent kvartsmel og 70 vektprosent kvartssand.
3. Belgisk normalsand ifølge Norsk Standard NS 425. Samtlige tre tilslag hadde lavt fuktinnhold.

Herdebetingelser

1. 7 døgn i 20 °C — 30 ± 5 % R.F.
2. 7 døgn i 20 °C — 65 ± 5 % R.F.
3. 7 døgn i 20 °C — 85 ± 5 % R.F.

Plastmørtel

Mørtelen ble blandet i en 13 liters motstrømsblander. Hver blanding veide 4 kg og besto av følgende delmaterialer i vekt-% for hver type tilslag:

1. Bindemiddel 15 % — Tilslag 85 %
2. » 20 % — » 80 %
3. » 25 % — » 75 %

Provestykker

Plastmørtelprismer:

9 mørtelprismer med målene 25 × 25 × 170 mm fra hver blanding ble støpt ut i metallformer og fordelt i de tre herdetilstander.

6 stkr. 100 × 50 mm sylindre ble sammenføyet parvis, og 3 stkr. 70,7 mm terninger og 2 stkr. 40 × 100 × 250 mm bjelker ble sammenføyet med mørtel fra hver blanding.

Betongen hadde en 28-døgns terningfasthet på 300—350 kp/cm². Betongflater i kontakt med mørtel var stålborstet. Provestykkene ble herdet i 20 °C og 65 % R. F.

En armeringsstang 20 mm Ks40 ble plasert vertikalt i et stativ, et 200 mm langt emnesrør med 46 mm utvendig og 28 mm innvendig diameter ble satt fast i stativet slik at stangen gikk 100 mm inn i røret. Så ble røret fylt med mørtel og armeringsstang nr. 2 skjøvet inn i røret så langt som mulig og helst til den buttet mot stang nr. 1.

Alle jernoverflater i kontakt med mørtelen var vasket med trikloretylen. Provestykkene ble herdet i 20 °C og 65 % R. F.

Prøving

Prismene ble først bøyeprovet, *fig. 2*.

For å kunne påføre en strekkraft på betongsylindrene, ble 35 mm tykke stålplater pålimt hver ende av prøvestykkene med epoxylim. Leddstenger ble skrudd inn i stålplatene, og prøvestykkene strekkbelastet til brudd, *fig. 3*. De fleste av bruddene for betongsylindrene inntraff i de første 3 mm av betongoverflaten, mot mørtelfugen eller mot limfugen for stålplaten.

De tre terningene som var sammenføyet til ett prøvestykke ble opplag-

ret på utsiden av fugene for midtre terning og belastet til brudd med linjelaster på innsiden av fugen. Dette var en dårlig skjærprøve, da man for mørtler med god heft til betongen fikk bøyebrodd i midtre terning.

Sammenføyete bjelker ble fritt opplagret med en spennvidde på 450 mm. Bjelkene ble belastet til brudd med linjelaster i 1/3 punktene. Også de fleste bruddene i bjelkene kom i de første 3 mm av betongoverflaten mot mørtelfugen. Noen få brudd kom i mørtelfugen eller i betongen.

Armeringstengene ble trukket fra hverandre i rent strekk som vist i *fig. 4*. Uttrekkforsøkene viste at man fikk flytning i stålet når armeringstengene var innstøpt med sterke mørtler. For svake mørtler, eller for prøvestykker hvor stengene bare var delvis innstøpte, kom bruddet i mørtelfugen.

Vurdering

Ved sammenligning av prøveresultatene for mørtler med forskjellig bindemiddelinhold må man ta i betraktning i hvilken grad det er mulig å komprimere mørtler med lav bearbeidbarhet. Forsøkene kan således ha gitt høyere bruddlaster enn man vil oppnå ved vanlig bruk av de mørtler som hadde lav bearbeidbarhet.

Hvis man i spaltestrekprøven fikk knusninger av prismeoverflaten under påførte linjelaster, ville dette ha redusert bruddlasten. Verdiene for spaltestrekfastheten vist i tabell III (beregnet etter formel i [4]) er dobbelt så høye som dem man ville ha fått med den vanlige formel for beregning av spaltestrekfastheten [5]. Sammenligner man disse spenningene med

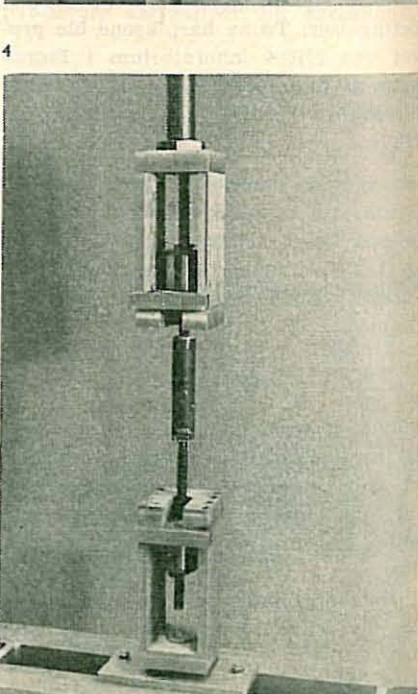
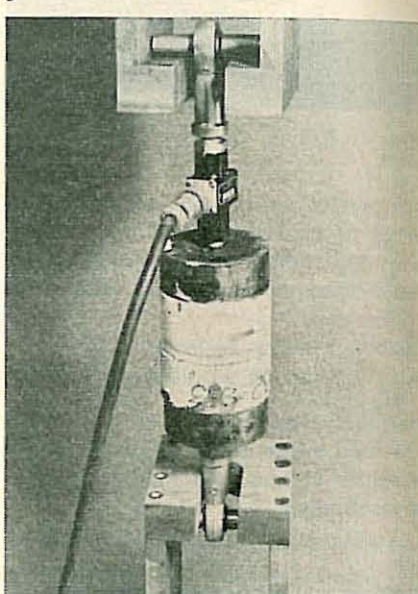
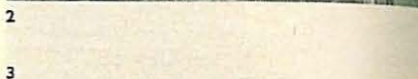
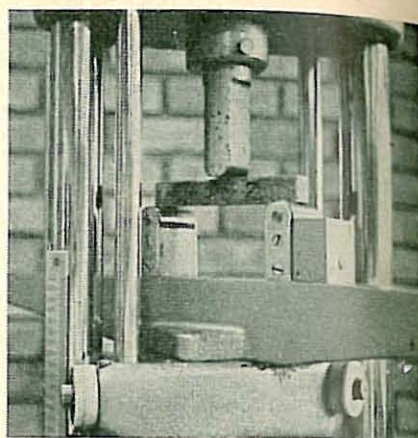


Fig. 2. Bøyeprovet av plastmørtelprisme.

Fig. 3. Strekkprøve av betongsylindre sammenføyet med plastmørtel.

Fig. 4. Strekkprøve av armeringsjern sammenføyet i stålhylse fylt med plastmørtel.

bøyebruddspenningen, ser det ut til at man fikk knusninger av overflaten.

Fugen mellom terningene i skjærproven var utsatt for en kombinasjon av bøye- og skjærpåkjenning, prøven ga således ingen eksakte opplysninger om skjærfastheten til fugen.

Uregelmessigheter i sentreringen av armeringstengene kan ha øket bruddlasten for enkelte hylseskjøter. Økende bindemiddelinhold vil øke svinnet, og dette kan ha bevirket lavere bruddlast for fete mortler i hylseprøven.

Bindemiddel nr. 1 hadde den laveste viskositet av de fem bindemidler, og

som nevnt i [2] vil et bindemiddel med lav viskositet ikke bare gi best bearbeidbarhet for en mortel men også tillate størst tilsetning av filler. Det var derfor ikke overraskende at man fikk de beste styrkeegenskapene for prøvestykker med dette bindemidlet.

De andre bindemidlene var forslag til sammensetninger. Man må arbeide videre med disse for å senke viskositeten og øke reaktiviteten.

CIBA anbefaler å bruke et kvartstilslag med kornfordeling som tilslag nr. 2. Ved våre prøver fikk vi imidlertid minst like gode styrkeresultater

med mortelsand etter Norsk Standard NS 422 A og belgisk normalsand etter NS 425, og disse ga en mortel med bedre bearbeidbarhet enn tilslag nr. 2.

Av prøveresultatene ser det ikke ut som om en variasjon i luftfuktigheten mellom 35—85 % R. F. har noen avgjørende innflytelse på 7-døgns styrken til mortelprismene. Temperaturen derimot vil bety mye for herdeforløpet.

Prøvene med betongprøvestykker viste at overflatebehandling av betongen med stålbørste i de fleste tilfeller ikke var tilfredsstillende. De fleste fabrikanter av kunstharpikser anbefaler da også sandblåsing og avfetting av betongen før sammenføyning.

Avfettingen av stålet i hylseskjøten med trikloretylen så ut til å gi et tilfredsstillende resultat.

Uttrekkspøven av armeringstenger i hylseskjøten viste at man i de fleste prøver oppnådde en bruddlast som overskred flytegrensen for stålet (12 700 kp).

Uttrekksmotstanden skyldes adhesjon og glidemotstand. Vi skal ikke her komme inn på adhesjon som er et meget omfattende emne. Glidemotstanden skyldes kammene på armeringstengene og uregelmessigheter i stengenes tverrsnitt og sentrering.

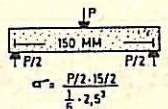
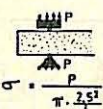
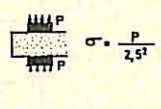
Hovedfordelene med en hylseskjøt av denne typen er: lett overflatebehandling, bare to materialer — mortel og stål — i kontakt i skjøten, lite forbruk av mortel og at det er mulig å utnytte styrkeegenskapene til mortelen fullt ut.

I det hele var resultatene med hylseskjøten så lovende at man ved videre utprøving bør komme frem til en praktisk anvendelse av skjøtemetoden.

I en artikkel i «Bygg» [7] forteller overing. Trygve Gjerde, at det her i landet allerede i 1963 ble utviklet en skjøtemetode med kunstharpikser for betongpeler og søyler. Det hevdes at metoden har vært anvendt for innspenning og skjøting av søyler allerede i mange år, og med godt resultat. Ved skjøting av peler støtte man på praktiske vansker med at utholdingen tok så lang tid at den sinket fremdriften. Det fortelles imidlertid at dette problemet nå er løst ved innstøpning av korrugerte hylser som oppvarmes med elektriske varmetræder.

Som sammenføyningsmateriale benytter A.S Stormbull for tiden en polyesterharpiks tilsatt katalysator i pul-

Tabell 3. *Prøvedata for 25 mm × 25 mm × 170 mm prismar av plasmortel.*

Prøvemethode og formel for spenning			 $\sigma = \frac{P/2 \cdot 15/2}{\frac{1}{6} \cdot 2,5^3}$			 $\sigma = \frac{P}{\pi \cdot 2,5^2}$			 $\sigma = \frac{P}{2,5^2}$			
Binde- middel	Tilslag	Blande- forhold	Bøystrekkfasthet kp/cm ²			Spaltestrekkfasthet kp/cm ²			Trykkfasthet kp/cm ²			
			Herdeforhold			Herdeforhold			Herdeforhold			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	1	1	319	319	299	272	276	273	1173	1168	1170	
		2	298	273	332	277	274	271	1215	1227	1155	
		3	267	308	300	244	260	253	1080	977	1147	
	2	1	362	348	336	240	262	242	860	908	827	
		2	362	369	350	214	263	186	1157	1207	902	
		3	303	370	358	196	242	251	1063	1100	1110	
	3	1	295	316	318	224	279	259	1030	1147	1087	
		2	304	354	347	237	288	253	1090	1137	1175	
		3	283	279	318	224	236	257	940	1047	1067	
	2	1	1	239	219	211	178	160	138	785	736	740
			2	208	194	198	136	126	136	644	696	675
			3	328	318	319	200	192	180	876	864	841
2		1	176	148	154	96	100	86	372	401	429	
		2	266	258	326	162	150	156	578	604	609	
		3	287	301	291	158	160	170	719	706	729	
3		1	188	228	200	118	124	96	619	588	597	
		2	254	250	262	150	142	148	657	672	640	
		3	305	309	332	172	164	178	698	835	810	
3		1	1	302	283	228	202	185	172	768	695	620
			2	275	270	246	184	177	174	693	660	618
			3	233	222	200	145	145	133	475	530	507
	2	1	368	369	340	260	239	236	975	932	923	
		2	379	352	335	228	215	216	827	805	817	
		3	324	306	277	175	163	163	602	598	597	
	3	1	254	248	240	172	180	173	748	740	705	
		2	277	239	228	177	164	155	657	625	565	
		3	237	208	182	125	117	103	442	410	378	

verform og forskjellige fyllstoffer som kvartsmel og asbestmel for å redusere volumforminskelsen. Ved elektrisk herdekontroll kan en akseptabel herdetid oppnås uansett lufttemperatur.

I utlandet er interessen for sammenføyning med kunstharpiksmørtler stor, og forskningen på dette felt blir intensivert. Dette kom klart til uttrykk ved et symposium med 300 deltagere som RILEM arrangerte i Paris i september 1967 over temaet «Experimental research on new developments brought by synthetic resins to building techniques». Symposiet behandlet tre hovedemner:

1. a. Betong og mørtler, forbedring ved tilsetning av kunstharpikser.
b. Betong og mørtler uten cement.
2. Konstruksjoner, sammenføyninger og armeringer.
3. Betydningen av kunstharpikser anvendt som beskyttelses- og reparasjonsmateriale for konstruksjoner.

Til emne 2 var det skrevet en meget interessant rapport med tittelen «Sammenføyning av bærende prefabrikerte betongenheter med kunstharpikslim» av T. O'Brien, Storbritannia [8]. O'Brien som er rådgiver i bruken av bygningmateriale hos Ove Arup & Partners, gir i rapporten en oversikt over de erfaringer man har fått etter bruken av kunstharpikslim som sammenføyningmateriale i 12 bygninger. De mest kjente er katedralen i Coventry og operahuset i Sydney. I rapporten blir også de anvendte kunstharpikstypene og konstruksjonsdetaljer for hver av bygningene utførlig beskrevet.

O'Brien er en av dem som sitter inne med mest erfaring i bruken av kunstharpikser i bærende bygningkonstruksjoner. Han skriver i sin innledning at hvis et nytt sammenføyningmateriale skal bli tatt i utstrakt bruk, må man ha detaljert kjennskap til dets mekaniske egenskaper. For kunstharpikslim kan man skille egenskapene i 5 kategorier:

1. De mekaniske egenskapene til sammenføyningmateriale ved korttidsprøving.
2. Heftstyrken til enkelte materialer ved korttidsprøving.
3. Branntekniske data for forskjellige typiske sammenføyingsdetaljer.
4. Langtids nedbøyninger under forskjellige spenningsforhold.
5. Langtids styrkeegenskaper til sam-


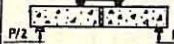

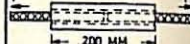
menføyingsmaterialet under varierende påvirkninger fra omgivelsene.

Det nåværende kunnskapsnivå i Storbritannia er meget godt i kategori 1 og 2, meget svakt i kategori 3 og 4 og helt ubetydelig i kategori 5.

Denne mangel på data for langtids-egenskaper har begrenset bruken av kunstharpikser i bærende konstruksjoner til tynne trykkfuger, hvor kunstharpiksens hovedfunksjon er å fylle ut hulrom i skjoten og fordele trykkspenningen. Fem skjøtetyper er blitt anvendt i de forskjellige bygninger:

1. Tynne fuger mellom betongenheter som blir forspent etter at limfugen har herdet.
2. Tynne horisontale trykkfuger mellom seksjoner av prefabrikerte pynnesøyler i fasader og vanlige søyler uten dybelforbindelse, fig. 5.
3. Tynne horisontale trykkfuger mellom seksjoner av prefabrikerte betongsøyler med dybelforbindelse.
4. Skjørforbindelser mellom betongelementer hvor man benytter boltcr for å få limfugen under trykkpåkjenning.

Tabell 4. Sammenføyning av betong og stål med plasmørtel.

Prøvemethode			Betong			Stål	
							
Binde-middel	Tilslag	Blande-forhold	Heftfasthet kp/cm ² Middel	Bøye-strekkfasthet kp/cm ²	Skjørfasthet kp/cm ²	Bruddlast kp	
1	1	1	16	33	41	18 100	
		2	24	96	44	8 500	
		3	31	95	31	21 200	
	2	1	1	21	44	27	18 600
			2	30	58	29	20 100
			3	29	80	31	19 700
		3	1	35	39	38	16 600
			2	41	92	27	21 700
			3	38	79	32	23 500
2	1	1	1	—	7	9 090	
		2	10	14	18	16 620	
		3	16	14	12	4 730	
	2	1	1	2	8	2	4 200
			2	6	28	15	9 380
			3	15	12	15	16 040
		3	1	7	15	13	7 150
			2	13	29	13	5 700
			3	13	18	16	300
	3	1	1	27	35	39	5 000
			2	30	64	49	10 500
			3	24	74	60	14 000
2		1	1	22	35	33	12 100
			2	31	70	48	17 300
			3	23	44	50	18 300
		3	1	36	63	55	19 100
			2	30	53	21	19 000
			3	24	72	56	13 100

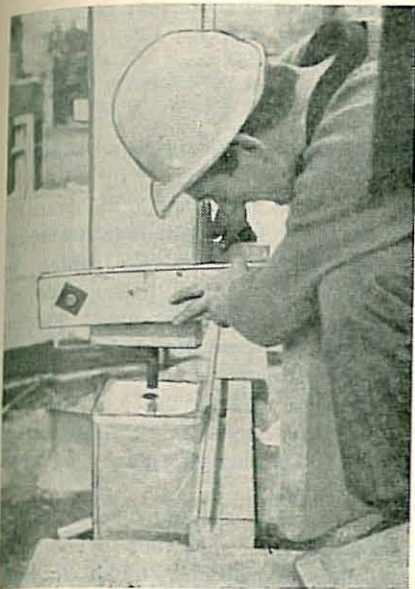
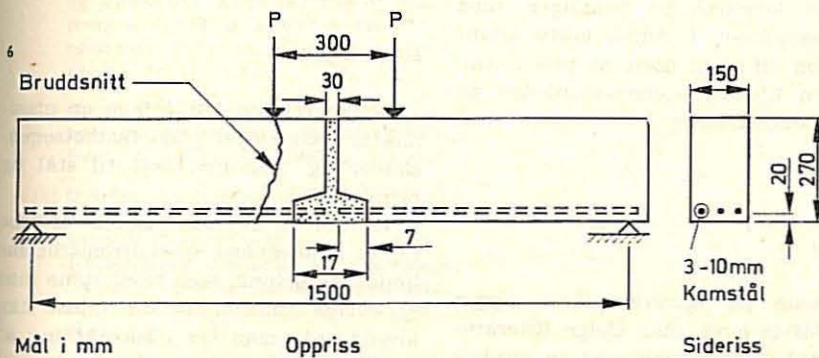


Fig. 5. Skjoting av betongsoyle; dybel og kunstharpikslim i skjøt.

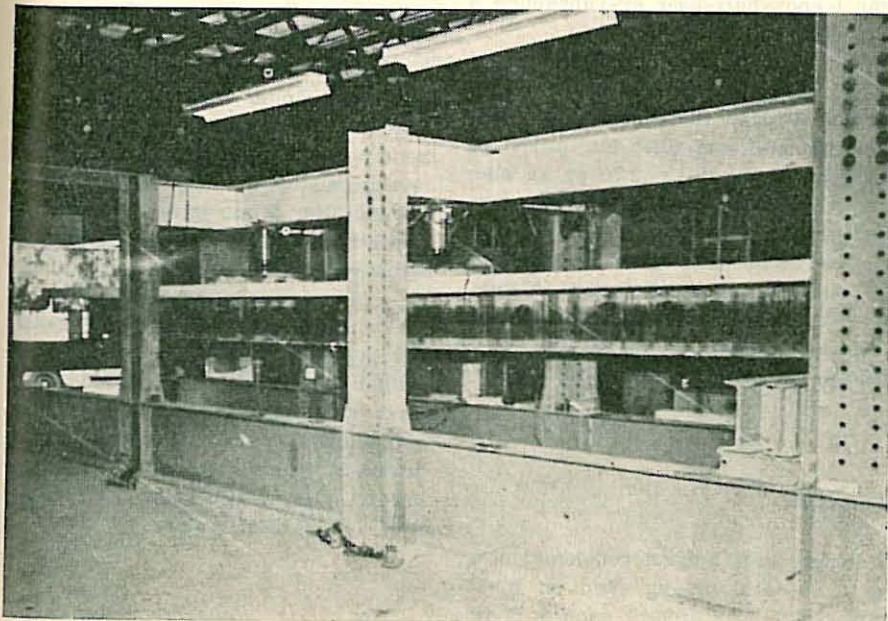
Fig. 6. Prøvning av betongbjelke sammenføyet med plastmørtel.

Fig. 7. Prøvning av samvirkebjelke; fersk betong utstøpt på stålbejelke med en blanding av epoxy og tilslag som skjærforbinder.

5



7



5. Forskjellige skjøteforbindelser brukt ved montering av prefabrikerte trappeeksjoner.

I tillegg til den spenningsfordelende virkning kan man oppnå andre fordeler ved bruken av kunstharpikslim.

1. Man kan få en mye tynnere fuger enn oppnåelig med konvensjonelle mortler.
2. Under gunstige værforhold kan man oppnå hurtig herdning av limfugen og derved bevirke rask avstivning av betongenhetene, og andre fordeler som tillater rask montasje.
3. Svinn i fugen er ubetydelig, og dette gir bedre vanntetthet.

I to av bygningene som det er henvisning til, er det brukt polyesterharpiks istedenfor epoxyharpiks. Begge typer anvendes på tilnærmet samme måte, og skjønt man har dårligere kjennskap til polyesterharpiksers langtidsegenskaper, synes det som om de har visse fordeler først og fremst prismessig, men også ved at de er mindre følsomme for bruksforholdene enn epoxyharpikser.

Til slutt i sin rapport gir O'Brien noen nyttige kommentarer i forbindelse med bruken av kunstharpikser:

1. Dårlige sammenføyninger kan se gode ut og er således vanskelige å oppdage. Hvis ikke sammenføyningen kan bli prøvebelastet, er det viktig at man innarbeider en bestemt arbeids- og inspeksjonsrutine. Man har behov for ikke-destruktive prøvingsmetoder for sammenføyninger av denne type. Generelt har man ingen sikkerhetsmargin med epoxier; enten oppnår man god heft eller ingen i det hele tatt.
2. Det er vanskelig å holde overflatebehandlete betongflater rene når man bruker mekanisk løfteutstyr. Berøring av overflatene kan foregå upåaktet. Virkningen av små fettmengder som skyldes berøring er ikke kjent.
3. Kravet til den omhyggelighet som er nødvendig ved bruken av kunstharpikser er større enn den man fordrer i vanlig bygningspraksis. Spesielt opplært personell er derfor nødvendig ved utstrakt bruk av kunstharpikser i bygningskonstruksjoner.
4. Under forhold hvor temperaturen veksler raskt, kan det være vanskelig å velge den riktige sammensetning for kunstharpiksen.

5. Det er lite kjent hvor værbestandig en overflatebehandlet betongoverflate er. Ved byggingen av operahuset i Sydney tydet erfaringene på at man ikke måtte overskride 10 døgn mellom overflatebehandling og liming.

6. Man må ta hensyn til det faktum at plasmørtelfuger mellom prefabrierte betongenheter gir en stivere forbindelse enn konvensjonell mørtel. Oppretting av enhetene etter at mørtelen har herdet, kan føre til oppsprekking av enhetene istedenfor mindre sprekkdannelser i mørtelfugen.

Konstruksjoner på eksperimentstadiet

I en rapport med tittelen «Erfahrungen mit Kunststoffen im Stahlbetonbau» av Dr. ing. Guido Trittlar [9], uttaler han seg meget optimistisk om mulighetene for bruk av kunstharpikser som sammenføyningsmateriale i bærende betongkonstruksjoner. Han omtaler blant annet prøvning av betongbjelker sammenføyet og prøvet som vist i fig. 6. Ved en last på 3700 kp fikk man sprekker i betongen, og bruddet kom ved en last på 7100 kp. Om en slik skjot kan brukes i praksis, vil avhenge blant annet av hvilke branntekniske krav man må stille til konstruksjonen og hvilke langtidsegenskaper skjoten har.

Av langt større praktisk interesse er de forsøk som er utført med samvirkebjelker av Kriegh, Nordby og Endebrock ved University of Arizona [6]. De har undersøkt om man kan erstatte de mekaniske skjærforbinderne i samvirkebjelker med epoxy-lim.

Man kom frem til at den beste forbindelse besto av en epoxy-blanding som ble påført den overflatebehandlede flensen i stålbelegget i 6 mm tykkelse og dekket med et tilslag med 25—38 mm kornstørrelse. Den ferske betongen ble derpå straks utstøpt mot limfugen. Et stort antall samvirkebjelker er prøvet, hvorav 1 er vist i fig. 7.

Resultatene viser at en epoxysammensetning er en pålitelig og sikker skjærforbinder, og at den kan motstå enten statisk eller dynamisk langtidsbelastning. Skjærspenningen i limfugen er dimensjonerende faktor ved konstruksjon av samvirkebjelken, og det hevdes at bjelken kan konstrueres som

en monolittisk enhet uten mekaniske skjærforbindere, når man bruker den beskrevne epoxysammensetning. Fordi konstruksjonen minsker svinnsprekkelige i et brodekk og påfølgende nedbrytning av dekket, anbefales limte samvirkebjelker fremfor konvensjonelle bjelker med mekaniske skjærforbindere i brokonstruksjoner. Konstruksjonen vil bli videre utprøvet før den blir tatt i bruk.

Kostnader

Materialkostnadene vil ha stor innflytelse på valget av konstruktive løsninger og på hvor stor utbredelse kunstharpikser vil få som sammenføyningsmateriale for bærende bygningskonstruksjoner. Som nevnt tidligere vil en beregning av kostnader for ulike skjotemetoder inngå ved vurdering av konstruktive løsninger med kunstharpikser. I denne korte orienteringen vil vi gi noen ca.-priser, slik at man kjenner størrelsesordenen på materialkostnadene.

Epoxy

Prisene på epoxyharpikser ligger forholdsvis høyt, men ifølge litteraturen [10], regner man med en gradvis senkning. Imidlertid vil prisene neppe komme ned på samme nivå som for polyester, da komponentene som inngår i epoxyharpikser er vanskelige å fremstille.

For store partier er prisen på et vanlig epoxybindemiddel ca. kr. 13,00 pr. kg. Ved en tilsetning av 80 vektprosent sand som filler blir prisen på epoxymørtelen da kr. 2,70 pr. kg eller kr. 5,40 pr l. Med spesialfremstilte epoxybindemidler, og med kvartsmel og kvartssand som filler, vil prisen på en epoxymørtel med samme blande-forhold som foran ligge vesentlig høyere — antagelig omkring kr. 4,50—5,50 pr kg eller kr. 9,00—11,00 pr l.

Polyester

Prisen på et polyesterbindemiddel er kr. 3,00—4,00 pr. kg. Ved en tilsetning av 80 vektprosent sand som fil-

ler blir materialkostnadene da kr. 0,65—0,85 pr kg eller kr. 1,30—1,70 pr l.

Hylseskjot

For å lette monteringen må man ha en noe større klaring mellom armering og stålhylse enn ved våre forsøk, la oss si 5 mm. For en hylselengde på 200 mm og innstøping av et 20 mm kamstål blir mørtelbruket 150 g. Materialkostnadene med en vanlig epoxymørtel blir da kr. 0,40 og med en polyester-mørtel kr. 0,10 pr skjot. I tillegg kommer så prisen på stålhylsen.

Vi skal ikke komme videre inn på kostnader her, men det synes som om materialkostnadene ikke vil være noen hindring for bruken av sammenføyninger av denne type.

Konklusjon

Det er relativt lett å lage en plasmørtel med meget gode fasthetsegenskaper og med god heft til stål og betong.

Vi fikk de høyeste fasthetsverdiene for et bindemiddel spesialfremstilt for liming av betong, men resultatene med de øvrige bindemidler var minst like lovende når man tar i betraktning at for disse kom vi kun med forslag til sammensetninger. Det er viktig for å få en mørtel med god bearbeidbarhet at viskositeten for bindemidlet er lav. Vanlig mørtelsand synes vel egnet som filler. I fremtidige prøveprogram skal de anvendte prøvemethoder tillempeles etter de erfaringer vi nå har fått.

Som et praktisk resultat av forsøkene peker hylseskjøten seg ut som en lovende metode for skjøting av armeringsstål. For denne og andre konstruktive løsninger med kunstharpikser som sammenføyningsmateriale kan anbefales i bærende bygningskonstruksjoner, må vi imidlertid ved prøvning skjaffe oss det fulle kjennskap til sammenhengen mellom spenning, tøyning, temperatur og tid for disse nye materialene.

NBI er med i et internasjonalt samarbeid for å klarlegge denne sammenhengen, idet instituttet er representert i en CIB/RILEM komité.

Litteratur:

- [1] *Houwink, R. og Salomon, G.: Adhesion and adhesives.* 2. utg. Amsterdam 1965—1967. 2 b.
- [2] Rilem Symposium by correspondence: «Resin concretes». RILEM bulletin, nr. 28, 1965, s. 3—119.
- [3] *Hallquist, Age: An Investigation on epoxy and polyester resin mortars as a jointing material.* I: RILEM, Experimental research on new developments brought by synthetic resins to building techniques; International Symposium, Paris 1967. Papers, Topic 2. (Norges byggforskningsinstitutt, Særtrykk 152.)
- [4] *Dührkop, Henry; Saretok, Vitold; Sneek, Tenho og Svendsen, Sven D.: Mortel Mur Puss.* Oslo 1966. (Norges byggforskningsinstitutt. Håndbok 20.)
- [5] *Saretok, Vitold: Determination of the tensile strength of mortars by the splitting test.* I: Rilem/CIB. Working group on mortars and renderings. Meeting. Gothenburg, May 1962.
- [6] *Kriegh, James D.; Nordby, Gene M. og Endebrock, Elton G.: Use of epoxy compounds as a shear connector in composite T-beams.* Highway research record, nr. 155, 1967, s. 1—13.
- [7] *Gjerde, Trygve: Monolittisk skjøting av betongelementer med kunstharpikser.* Bygg, b. 15, nr. 6/7, 1967, s. 142—145.
- [8] *O'Brien, T.: Jointing structural precast concrete units with resin adhesives.* I: RILEM, Experimental research on new developments brought by synthetic resins to building techniques; International Symposium, Paris 1967. Papers. Topic 2.
- [9] *Trittler, Guido: Erfahrungen mit Kunststoffen im Stahlbetonbau.* I: Deutscher Betonverein, Betontag, Berlin 1965. Vorträge, s. 254—276.
- [10] *Persson, Bengt O. E.: Limning och förstärkning av cementbetong med epoxi- och esterplaster.* Sth. 1967. (Statens institut för byggnadsforskning. Rapport 6, 1967.)

