



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R100:1983

Reparation av betongbalkar

**Injektering och vakuumimpregnering
med polymera material**

Juhan Aavik

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac <i>ser</i>

*K
A/NK*

R100:1983

REPARATION AV BETONGBALKAR

Injektering och vakuumimpregnering
med polymera material

Juhan Aavik

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790400-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avd för byggnadsmaterial, CTH, Göteborg.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R100:1983

ISBN 91-540-3985-1
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
LiberTryck Stockholm 1983

INNEHÅLL

	SAMMANFATTNING	5
1	INLEDNING - LITTERATURÖVERSIKT	7
2	PROGRAM	9
3	FÖRSÖKS- OCH PROVNINGSBETINGELSER	11
3.1	Tillverkning och uppspräckning av balkar ...	11
3.2	Injekterings- och impregneringsför- farandet	12
3.3	Använda polymera material	13
3.4	Provning	14
4	UTFÖRANDE	15
4.1	Injektering	15
4.2	Vakuumimpregnering	15
4.3	Utborrning av kontrollprover	17
5	FÖRSÖKSRESULTAT - ANALYS	19
5.1	Kubhållfastheter	19
5.2	Provning av icke reparerade balkar (= nollprov)	19
5.3	Injektering	19
5.4	Vakuumimpregnering	25
6	JÄMFÖRELSE - ALLMÄNNA SYNPUNKTER	31
	LITTERATUR	33

SAMMANFATTNING

Rapporten behandlar lagning av uppspräckta betongbalkar med olika polymera material.

I serie 1 lagades de större kvarvarande sprickorna i balkarna genom injektering med epoxy. I serie 2 utfördes vakuumpregnering av hela den uppspräckta balken. Som impregneringsmedel användes epoxy, polyester och metylmetakrylat (MMA). Efter reparationerna belastades samtliga balkar till brott.

För de injekterade balkarna var deformationerna genomgående större vid den andra belastningen än vid den första. De injekterade balkarna var dock något styvare än de ursprungliga, särskilt för högre laster närmare flytgränsen. Endast vid den mera koncentrerade sprickbilden, lastfallet en punktlast mitt på balken, erhöll man en ökning av balkens lastupptagningsförmåga.

För de vakuumpregnerade balkarna erhöll man en fullständig återställning av lastupptagningsförmågan för de balkar som impregnerats med epoxy och polyester. För balken impregnerad med MMA och där man tillsatt ett fyllnadsmaterial (Fillite) till polymeren erhöll man inte samma lagningsresultat. Reparationseffekten liknar i det fallet mer den som man erhöll för de injekterade balkarna.

Mikroskopbilder från reparerade sprickor visar att MMA sugits ur en del sprickor och endast kvarlämnat en "non fine"-struktur av fyllnadsmaterialet. Limningseffekten var, trots den ovan nämnda förlusten av MMA, mycket god vid samtliga använda reparationsmaterial. I inget fall kunde man påvisa att lagade sprickor gått upp vid den andra belastningen.

För beviljade anslag, gott samarbete och levererat material vill författaren härmed tacka Statens Råd för Byggnadsforskning, Betongsprutnings AB Besab i Göteborg, Nils Malmgren AB i Ytterby och Alex. Engblom & Co i Borås. Ett särskilt tack för värdefull hjälp riktas till vakuumpregneringsmetodens uppfinnare, Mr James Milne i London. Hjärtligt tack!

INLEDNING - LITTERATURÖVERSIKT

Föreliggande rapport behandlar lagning av betongbalkar, dels genom injektering, dels genom vakuumimpregnering med polymera material. Arbetena har utförts vid avdelningen för Byggnads-material vid Chalmers Tekniska Högskola under 1979-80 med anslag från Statens Råd för Byggnadsforskning.

Försöksprogrammet har utformats under ledning av avdelningens föreståndare, professor Roman Malinowski. I delen injektering har vi samarbetat med direktör Bertil Sandell vid Betongsprutnings AB Besab i Göteborg, som också ställt injekteringsutrustning till förfogande. Vid försöken med vakuumimpregnering av betong enligt Balvac-metoden har vi haft täta kontakter med, och fått värdefull hjälp av, metodens uppfinnare Mr James Milne.

Tekniken att genom injektering av epoxy återställa bärförmågan hos uppspruckna betongkonstruktioner har använts i många år.

Chung /1/ redovisar lagning av balkar tryckta till flytning i armeringen med sekundärt betongkrossbrott i tryckzonen. Balkarna lagas och trycks till brott en andra gång. Nedböjningen för de lagade balkarna var något större vid låga laster, men vid högre last, i närheten av brott, visade sig de reparerade balkarna vara styvare än vid första belastningen. I /2, 3/ har Chung utfört laboratorieförsök på statiskt och dynamiskt belastade epoxylimfogar, som visat sig uppta last i minst lika stor utsträckning som den ursprungliga betongen. Brottet uppträder aldrig i limfogen utan i betongen intill. Chung har också studerat återställandet av vidhäftningen mellan armering och betong genom epoxyinjektering.

Celebi och Penzin /5/ har utfört försök med cyklisk belastning av armerade betongbalkar före och efter reparation genom polymerinjektering. Man fann att flytlasten var betydligt högre för de reparerade balkarna än i det ursprungliga oskadade fallet.

Morgan och Hewlett /6/ har studerat reparationer utförda med epoxyinjektering av balkar med böjbrott och skjuvbrott både vid statisk last och upprepad belastning-avlastning. Resultaten överensstämmer väl med de tidigare nämnda.

Impregnering - vakuumimpregnering av betong med polymera material har hittills använts främst för att förbättra betongegenskaper såsom hållfasthet och beständighet. Swamy /7/ ger en bred översikt över polymerimpregnerad betong som även omfattar vakuumimpregnering. Det är först med James Milne's uppfinning - Balvac-metoden - /8, 9/ som vakuumimpregnering med polymera material i större utsträckning börjat användas vid reparation av skadade konstruktioner.

2 PROGRAM

Försöken omfattar prov med två separata reparationsmetoder, injektering och vakuumimpregnering. Programmet utformades med utgångspunkt från två frågeställningar:

1. Hur väl fyller sprickorna vid injektering respektive impregnering; hur bra är skyddet av armeringen?
2. Hur uppför sig en reparerad balk jämfört med icke reparerad vid en andra belastning till flytning i underkantsarmeringen?

Sammanlagt tillverkades tretton balkar 2,1 x 0,26 x 0,13 m. Serie 1 (injektering) omfattar fyra balkar, serie 2 (impregnering) sju balkar. Två balkar användes som kontrollbalkar. Samtliga balkar belastades till flytning i underkantsarmeringen.

Serie 1. Uppkomna större sprickor i samtliga fyra balkar lagades genom injektering med epoxi, varefter balkarna åter belastades till flytning i underkantsarmeringen.

Serie 2. Fyra av balkarna användes till utprovning av reparationsmetoden - vakuumimpregnering. Man provade polymerer med olika härdningsegenskaper, olika vakuumsugningstider före och efter impregneringen, impregneringstider och olika fyllnadsmaterial.

På tre balkar utfördes sedan en fullständig vakuumimpregnering med polyester, epoxy resp. metylmetakrylat med fyllnadsmaterial. Efter lagningen belastades dessa tre balkar till flytning i armeringen för andra gången.

De två kontrollbalkarna belastades till flytning i underkantsarmeringen på samma sätt, utan att någon reparation av sprickorna företogs.

Betongkvaliteten kontrollerades genom provtryckning av normlagrade kuber både vid första och andra belastningen av balkarna.

För kontroll av lagningsresultaten utborrades kärnor ur samtliga reparerade balkar efter provningarna.

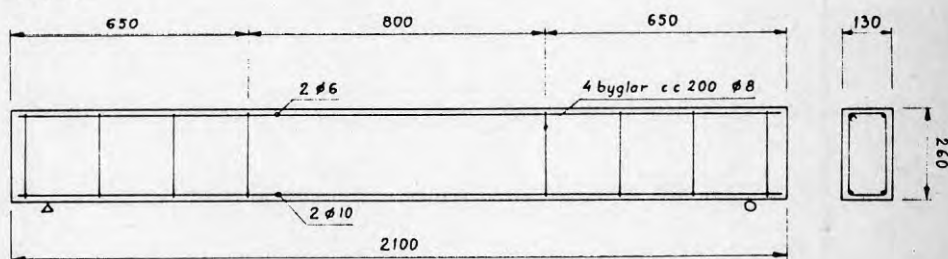
3 FÖRSÖKS- OCH PROVNINGSBETINGELSER

3.1 Tillverkning och uppspräckning av balkar

Betongen i samtliga balkar var en trögflytande K 30 med $d_{\max} = 16$ mm. Cementhalten var 280 kg/m^3 och vct = 0,74.

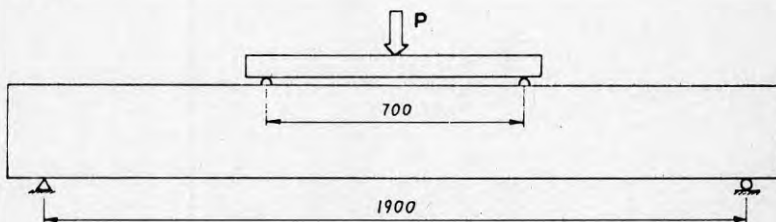
Armeringen (figur 1) utgjordes av Ks 40. Två $\phi 10$ mm i underkant och två $\phi 6$ mm i överkant balk. Balkarna var skjuvarmerade med fyra byglar c/c 200 mm i vardera änden.

MÄTT I MM.



Figur 1. Armeringen i probbalkarna.

Uppspräckning av balkarna skedde med ett undantag genom att balkarna belastades med två punktlaster (figur 2) i tredjedelspunkterna.



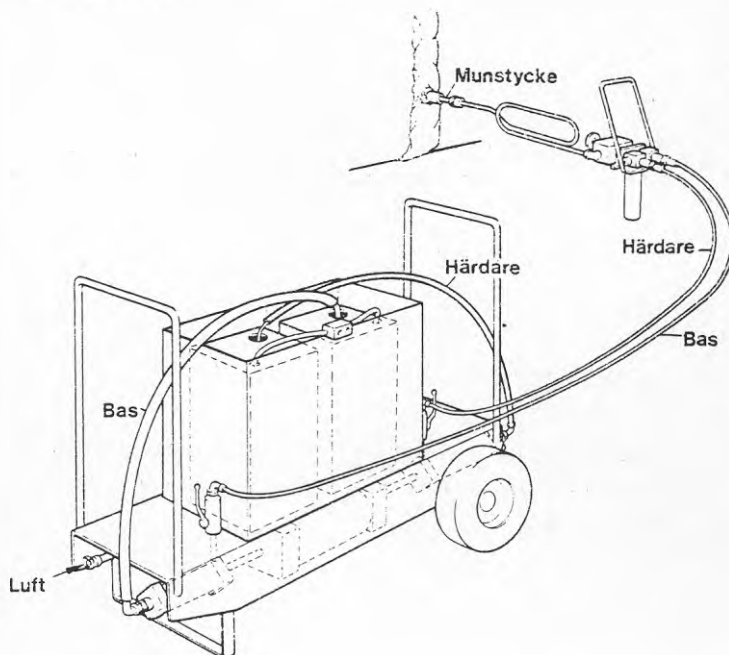
Figur 2. Lastuppställningen för de tolv balkarna.

En av balkarna i serie 1 belastades med en punktlast mitt på balken för att erhålla en mera koncentrerad sprickzon.

Balkarna belastades till flytning i underkantsarmeringen. Armeringen fick flyta, så att man efter avlastning erhöi kvarvarande sprickor med en största bredd av ca 1 mm.

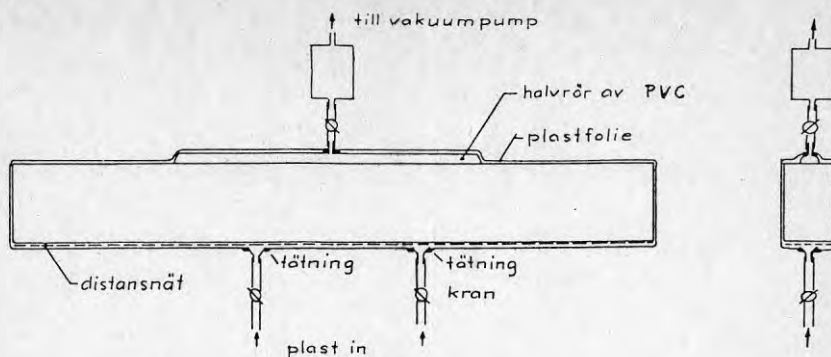
3.2 Injekterings- och impregneringsförfarandet

Vid lagning genom injektering tätades endast de bredaste sprickorna ($> 0,3$ mm). Sprickorna tätades med epoxispackel och injekterades med en utrustning konstruerad vid Besab AB i Göteborg. Sprutan är konstruerad så att plast och härdare blandas i munstycket omedelbart före injekteringen; man blir på så sätt mindre beroende av blandningens härdningstid. En principskiss av utrustningen visas i figur 3.



Figur 3. Principskiss av injekteringssprutan.

Vid impregneringen kläddes hela balken in med plastfolie och med hjälp av en vakuumpump sög man ut luften genom ventiler insatta i plastfolien på balkens ovsida. När tillräckligt vakuum uppnåtts (ca $0,75$ atm) släppte man på impregneringsplasten genom ventiler på balkens undersida (figur 4).



Figur 4. Principskiss av vakuumimpregnering.

3.3 Använda polymera material

Vid injekteringsförsöken användes endast epoxy. För tätning av sprickorna som skulle injekteras användes ett tvåkomponentspackel med typbeteckningen NM Epoxyspackel 205 /4/, som efter blandning med härdare ger ett mycket tixotropt spackel. Den har inga tendenser att rinna, varför tjocka lagningar och spacklingar kan utföras. Härdningstiden vid 20°C är ca 30 minuter.

För injektering av sprickorna och impregnering av balkarna användes en mycket lågviskös injekteringsplast, baserad på epoxy med typbeteckningen INP 24. Vid försöken användes en långsam härdare INP 24 L, som gav en härdningstid på ca 70 minuter vid 20°C. Vid impregneringsförsöken provades dels en långsammare härdare med en härdningstid på ca 150 minuter vid +20°C, dels en snabbhärdare med pott life ca 25 minuter. Plastens viskositet var 0,12 Pa·s (120 Cp).

Den vid impregneringarna använda polyestern hade en härdningstid - "pott life" - på ca 35 minuter. Viskositeten för polyestern var betydligt lägre än för epoxy.

Metylmetakrylat (MMA) var den mest lågviskösa av impregneringspolymererna, anpassad till reparationsmetoden och levererad från England. Med 6 viktprocent härdare erhöill man en "pott life" på ca 25 minuter.

Fillite användes som fyllnadsmaterial, för att minska mängden polymer och hindra plasten att rinna ut ur sprickorna när man stänger av vakuumpumpen. Materialet består av små ihåliga kiselkuler med en diameter mellan 50-300 mikron och en korndensitet mellan 350-700 kg/m³. Skrymdensiteten är så låg som mellan 200-400 kg/m³ beroende på kornstorleken.

3.4 Provning

Vid belastning av balkarna användes en 10 tons domkraft och lasten påfördes i steg om 500 kg. Balkarnas mittnedböjning mättes med två mätklockor monterade på vardera sidan om balken.

Last-nedböjningskurvor registrerades för samtliga reparerade balkar; både vid första belastningen till flytning i underkantsarmeringen och vid belastningen efter utförd reparation. Även för de två icke reparerade kontrollbalkarna registrerades sambandet last-nedböjning vid båda belastningarna.

Vidhäftningen mellan plasten och betongen kontrollerades genom okulär besiktning av sprickorna efter andra belastningen.

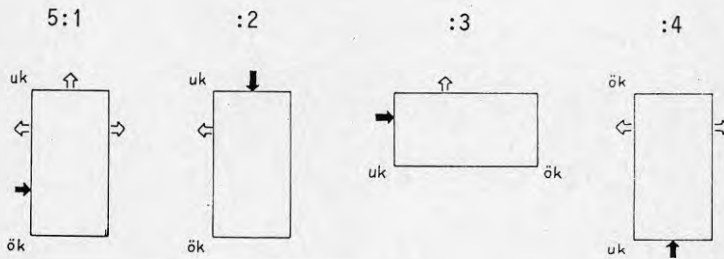
Utfyllnad av sprickor och vidhäftning plast-armering kontrollerades genom utborrning av borrhärnor både i balkens höjdlid och tvärs balken genom underkantsarmeringen. Kontrollen av borrhärnorna utfördes dels genom okulär besiktning, dels genom fotografering i elektronmikroskop.

4 UTFÖRANDE

4.1 Injektering

Injekteringen utfördes genom små mässingsrör som fästs över sprickan vid spacklingen. Man satte också mässingsnipplor högre upp på sprickan för att kunna kontrollera ifyllningen. För att lättare kunna lokalisera den injekterade sprickan tillsattes ett blått färgämne till epoxyn.

Injekteringen utfördes från sprickans bredare del (= underkant balk), utom i ett fall där balken injekterades från sidan. Figur 5 visar injekteringsriktningarna vid de olika balkarna.



Figur 5. Balkens läge vid injekteringen.

ök = överkantbalk, uk = underkantbalk

➔ = injekteringsställe, ⇨ = kontrollnipplar

Vid injektering från underkant balk användes ett ganska lågt injekteringstryck på 0,2-0,3 N/mm². Injekteringstiden var ca 10 minuter per spricka. För balken som injekterades enligt figur 5:1 var trycket betydligt högre, upp till 2 N/mm² och tiden mellan 30-45 minuter per spricka.

4.2 Vakuumpregnering

Balkarna 5, 6, 7 och 10 användes för utprovning av härdningstider och arbetsförfaranden. Balkarna 8, 9 och 11 impregnerades med olika polymera material och provtrycktes efter reparation. I tabell 1 ges en sammanställning av de försök som utförts med de olika balkarna.

Tabell 1. Sammanställning av balkar som användes vid impregneringsförsöken.
 Balkarna 5, 6, 7 och 10 användes för utprovning av härdningstider och arbetsförfaranden.
 Balkarna 8, 9 och 11 provades efter impregneringen.

Balk nr	Polymer/(Polymer + fyllnadsmaterial)	Vakuüm före impregnering min.	Impregn. tid min.	Vakuüm efter impregn. min.	Pott-life* min.	Härdningstid i sprickor min.	Anmärkning
5a	Epoxy	60	35	-	150	360	
5b	Epoxy/Epoxy + filler)	70	15/20	-	150	360	
5c	Polyester	60	30	35	35	50	Impregnering
6	Epoxy	20	65	70	150	360	
7	Polyester	60	2	40	35	50	
8	Polyester	60	40	20	35	50	
9	Epoxy	60	23	100	25	180	
10a	Epoxy/(Epoxy + Filllite)	60	20 sek/35	-	25	180	
10b	Epoxy/(Epoxy + Filllite)	60	10 sek/45	-	25	180	Sprickorna tejpad
11	MMA/(MMA + Filllite)	30	5/20	30	25	>60	

* Pottlife = härdningstid för 100 g vid 20°C

Balkarna 5 och 10 delades in i sektioner så att man kunde utföra flera prov på samma balk. Vid prov på balkdel 5b impregnerade man först ren epoxi under 15 minuter och sedan med en blandning av 1 viktsdel epoxy, 2,2 viktsdelar filler. I försöken med balk 10 hade fillern ersatts med det lätta fyllnadsmaterialet Fillite (1:1 i volym). Sugtiden för ren epoxi hade förkortats till 20 respektive 10 sekunder. I försök 10b hade sprickorna tejplats för att hindra den oblandade epoxyn från att rinna ut.

Vid reparation av balk nr 11 användes också en blandning av plast och Fillite. Först impregnerades balken under 5 minuter med ren MMA och därefter fick den i 20 minuter suga en blandning av MMA-Fillite.

4.3 Utbörning av kontrollprover

Ur alla elva behandlade provbalkar borrades kärnor för kontroll av provningsresultaten. Borrkärnor uttogs både i balkarnas höjdled och tvärs balken genom underkantsarmeringen.

Samtliga borrkärnor besiktigades okulärt. Ur de vakuumpregnerade balkarna tog man ut prover ur sprickzonen för fotografering i elektronmikroskop.

5 FÖRSÖKSRESULTAT - ANALYS

5.1 Kubhållfastheter

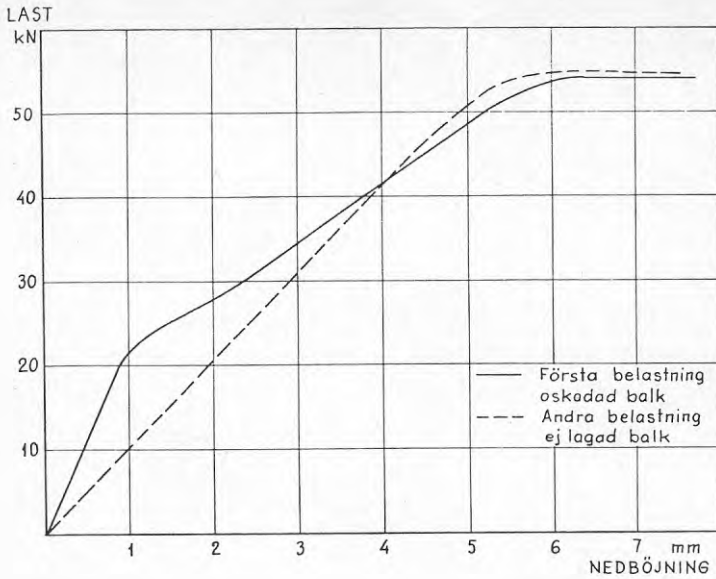
Betongkvaliteten för de olika gjutningarna kontrollerades genom bestämning av kubhållfastheten för betongen vid samma tid som balkarna belastades. Vid första belastningstillfället var samtliga balkar ca 2 veckor gamla och medelkubhållfastheten var för serie I 28 MPa och serie II 23 MPa. Efter injektering respektive vakuumimpregnering belastades balkarna för andra gången vid en ålder varierande mellan 4-8 veckor. Kubhållfastheten låg då för de två serierna mellan 33 och 38 MPa.

5.2 Provning av icke reparerade balkar (= nollprov)

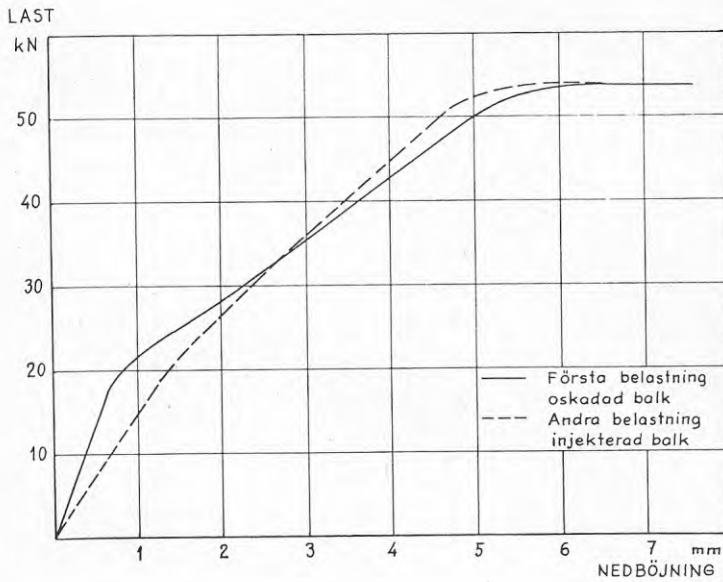
Figur 6 visar last-nedböjningsdiagram för en icke reparerad balk. Ur diagrammet framgår att första-sprickan, vid belastning med två punktlaster, uppträder vid en last av ca 20 kN. Flytning i armeringen inträffar vid ca 53 kN. Flytlasten är densamma oavsett om det gäller första eller andra pålastningen.

5.3 Injektering

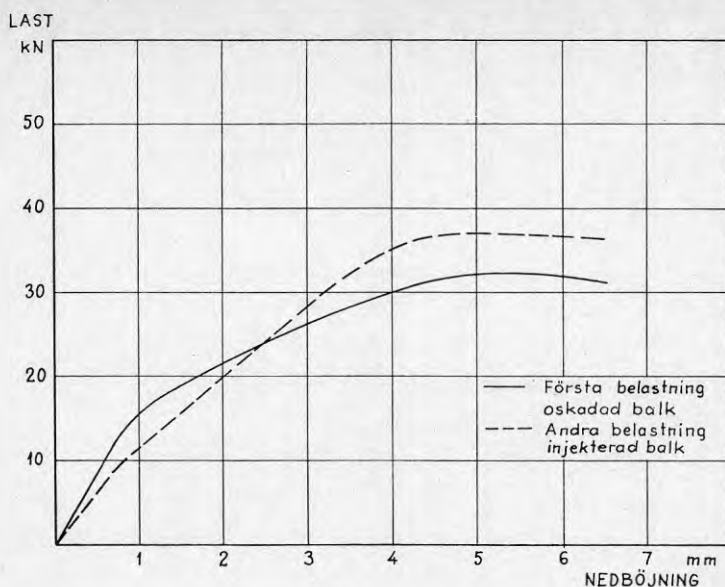
Last-nedböjningskurvorna för en balk före och efter injekteringen visas i figur 7. Eftersom balkarna efter uppspräckningen, förutom de stora injekterbara sprickorna, också hade ett antal små, icke injekterade sprickor, kommer de vid förnyad pålastning, efter reparationen, att uppträda som i stadium två. Deformationerna var genomgående större vid den andra pålastningen. En jämförelse av pålastningskurvans lutning för injekterad balk före och efter reparationen visar dock att vi har erhållit en viss förstyvning av konstruktionen. Flytlasten för injekterade balkar var lika stor efter reparationen som vid den första belastningen.



Figur 6. Last-nedböjningsdiagram för balk belastad två gånger, där sprickorna inte lagats efter första belastningen.



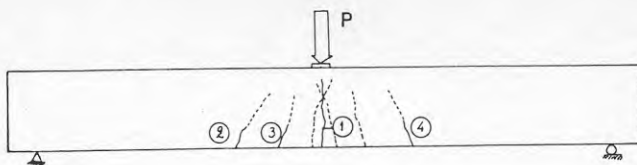
Figur 7. Last-nedböjningsdiagram för balk, där de större sprickorna injekterats med epoxy innan andra belastningen.



Figur 8. Last-nedböjningsdiagram för balk belastad med en punktlast och lagad genom injektering mellan belastningarna.

I figur 8 visas sambandet last-nedböjning för balk belastad med en punktlast. Här hade vi efter första belastningen endast en spricka stor nog för injektering och ett par mindre sprickor (figur 9). Efter injektering tog balken ca 10% högre last än före. Nedböjningskurvorna ansluter sig också bättre till varandra än för övriga balkar.

Vidhäftningen mellan betong och epoxy var som väntat mycket god. Inte i något fall öppnade sig en lagad spricka vid andra belastningen. Man erhöll istället nya sprickor intill de gamla. Så t ex erhöll man två nya korsande sprickor vid andra belastningen av balken som belastades med en punktlast. Sprickmönstret efter första och andra belastningen skisserades i figur 9.



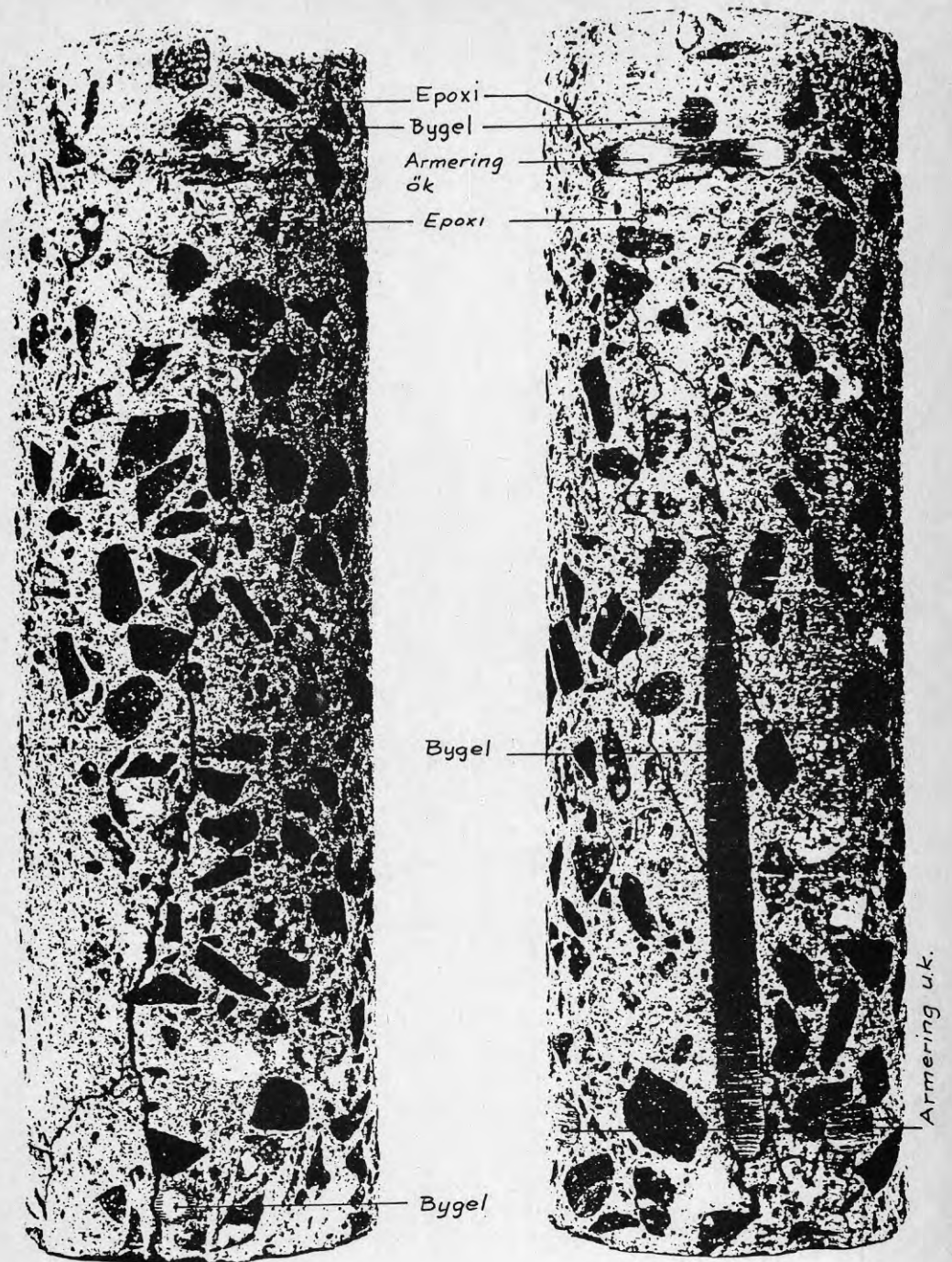
Figur 9. Sprickmönster i balk belastad med en punktlast.

- sprickor efter första belastningen
- sprickor efter andra belastningen
- ① injekterad spricka
- ② ③ ④ ej injekterade små sprickor

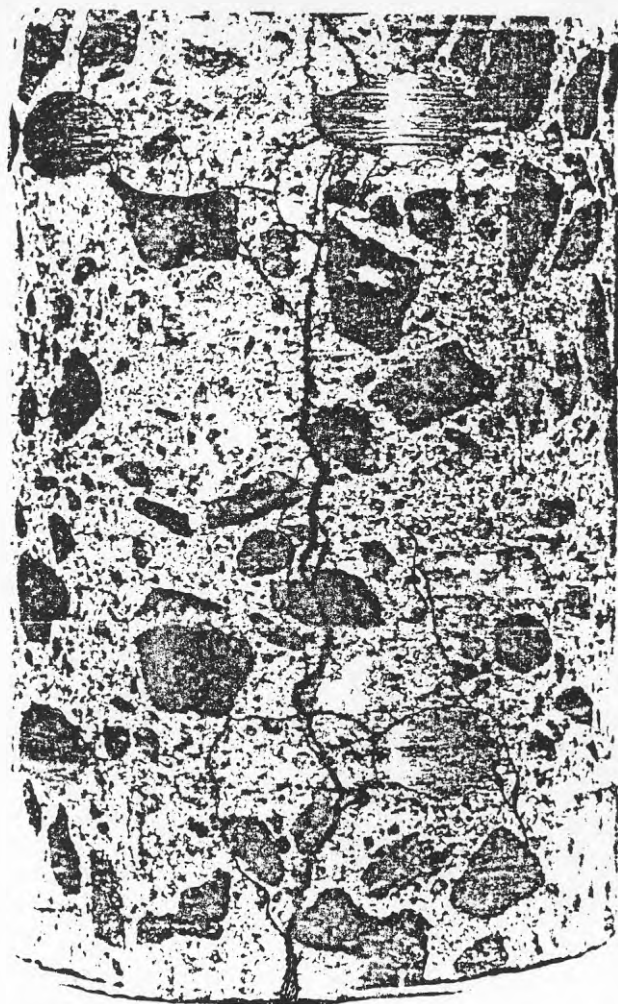
Injekteringskontroll utfördes genom okulär besiktning av borrhäror utborrade dels i balkens höjddled genom injekterade sprickor, dels tvärs balken genom underkantsarmeringen. I figur 10 visas en borrhära ur en balk injekterad enligt figur 5b, fotograferad från två sidor. Man ser hur plasten fyllt ut sprickan längs med hela bygelns och trängt nästan ända upp till balkens överyta. I figur 11 visas ett prov taget tvärs genom underkantsarmeringen ur en balk injekterad enligt figur 5c. Utfyllnaden kring armeringen är mycket god. Samma iakttagelse gjordes vid samtliga borrhäror.

Någon impregnering av betongstrukturen runt sprickorna kunde inte påvisas vid dessa försök, även om man i borrhäror kunde se luftporer fyllda med epoxi i anslutning till injekterade sprickor.

Reparationstiden per balk är för de injekterade balkarna främst beroende av spackelmassans härdningstid och antalet sprickor som skall injekteras. Beräknar man tiden för spackling av fyra sprickor med samtidig infästning av injekteringsmunstycket till ca en halv timme och ca 10-15 minuter för injektering av varje spricka, ger det en total tid på ca 3 timmar per balk.



Figur 10. Borrkärna ur injekterad balk fotograferad från två sidor.



Figur 11. Borrkärna tagen tvärs balken genom underkantsarmeringen.

5.4 Vakuumimpregnering

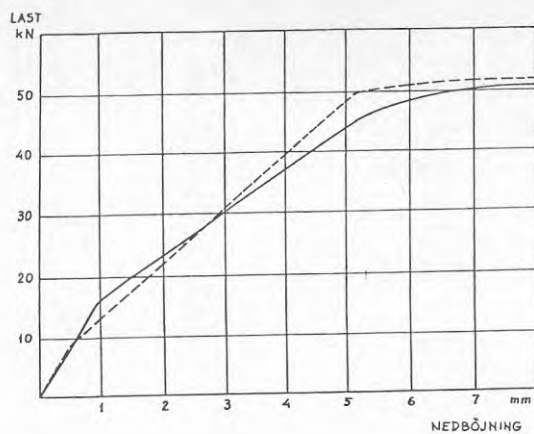
Last-nedböjningskurvorna för de tre balkar som lagats genom vakuumimpregnering med olika polymera material visas i figur 12 a-c.

För balkarna 8 och 9, reparerade med polyester respektive epoxy, har man erhållit ett fullständigt återställande av balkens last- och deformationsupptagande förmåga. Vid höga laster visade sig även här de lagade balkarna vara något styvare än de oskadade balkarna. Balk nr 11, impregnerad med MMA och fyllnadsmaterial, uppvisade en last-nedböjningskurva efter reparation som i det närmaste är lika med den för injekterade balkar. Man har ingen markerad indikation på första sprickan, utan balken uppför sig som om det fanns tunna sprickor som ej blivit fyllda med plast. En förklaring till detta kan vara att den mycket lågviskösa MMA-plasten, under de sista trettio minuternas vakuumsugning, då plasttillförseln hade upphört, kapillärt sugits ut i strukturen och efterlämnat dåligt fyllda sprickor.

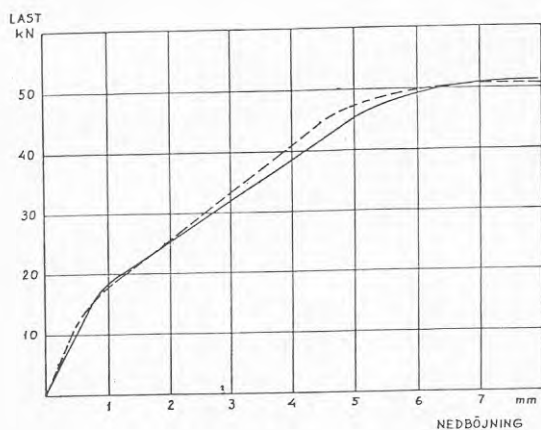
Flytlasten var densamma för samtliga tre balkar, både vid första belastningen och vid belastning efter impregnering.

Vidhäftningen mellan polyester-betong och MMA-betong är lika bra som mellan epoxy-betong. Inga lagade sprickor öppnade sig vid den andra belastningen.

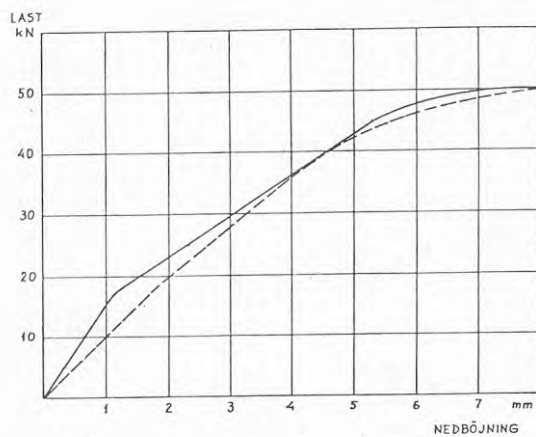
Impregneringskontroll utfördes genom okulär besiktning av utborrade kärnor ur alla de sju balkarna som redovisats i tabell 1. Utfyllnaden av sprickorna var mycket god, särskilt vad gäller de tunna sprickorna i överkant balk och runt underkantsarmeringen. I de större sprickorna kunde man finna en del större luftinneslutningar, som dock inte inverkade på vidhäftningshållfastheten i sprickan (figur 13). I figurerna 14-15 visas några mikroskopbilder från sprickzonerna i balkar lagade med enbart epoxy, epoxy med fyllnadsmaterial och MMA med fyllnadsmaterial. Vidhäftningen mellan epoxy och betong är mycket god (figur 14 a). Epoxy med fyllnadsmaterial har en tät struktur och god utfyllnad i sprickan (figur 14 b). MMA med fyllnadsmaterial (figur 15 a) har en mycket porösare struktur med större luftporer. Den "non-fine" struktur som visas i figur 15 b indikerar att MMA på något sätt transporterats bort från sprickan.



a) Polyester



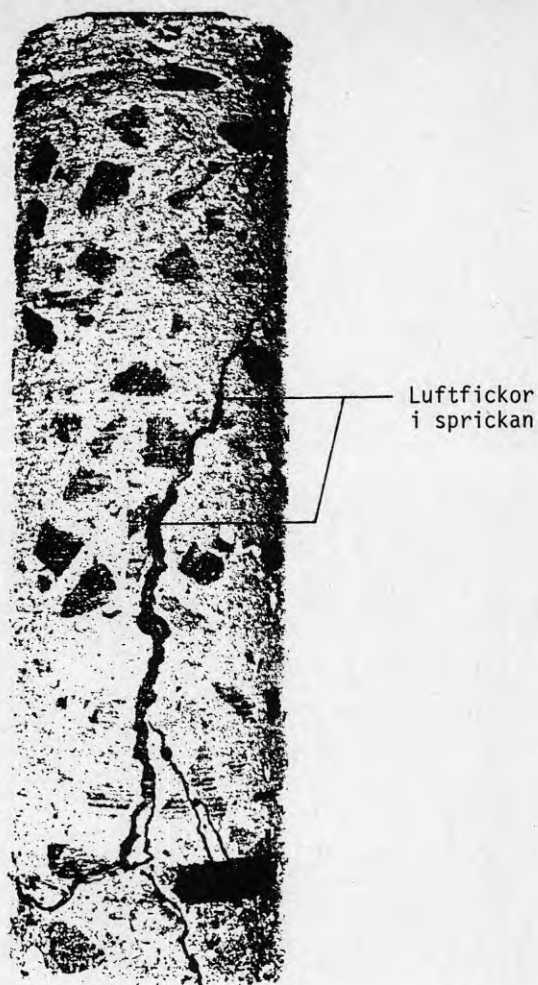
b) Epoxy



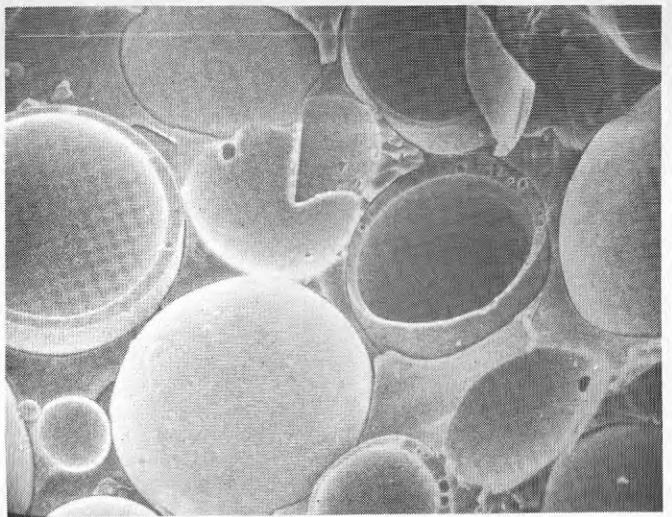
c) MMA + Fillite

Figur 12 a-c. Last-nedböjningskurvorna för balkar reparerade genom vakuumimpregnering med a) polyester, b) epoxy, c) MMA + Fillite.

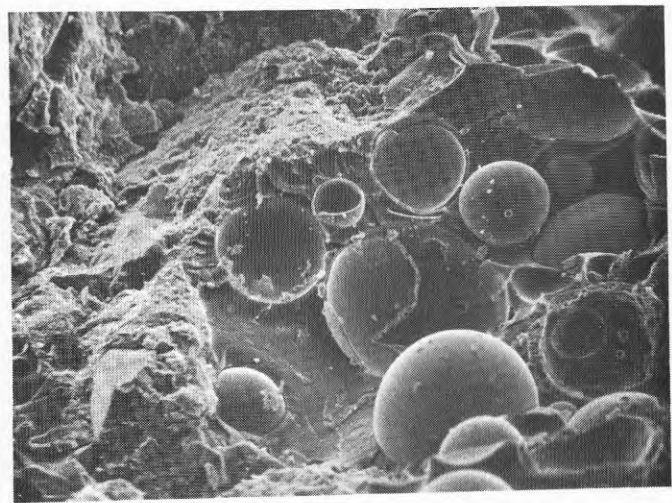
— första belastning oskadad balk --- andra belastning impregnerad balk



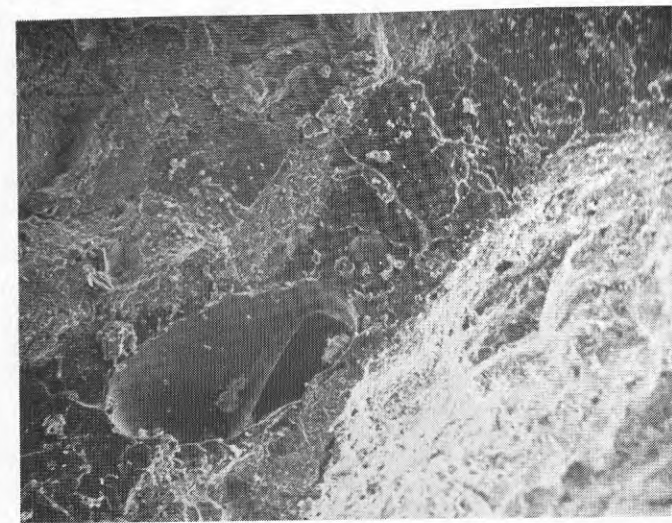
Figur 13. Exempel på lokala luftinneslutningar i de större sprickorna vid vakuumimpregnering. Luftfickorna hade ingen inverkan på vidhäftningshållfastheten.



c)



b)



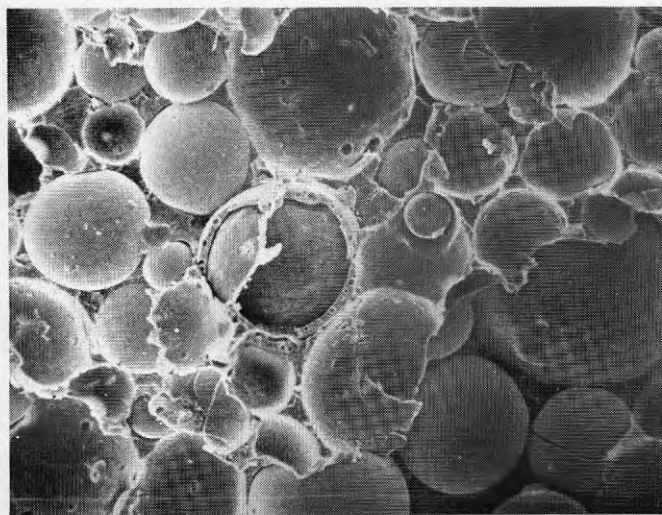
a)

Figur 14. a) Bild av spricka, ca 100 μm , fylld med epoxy (x100)

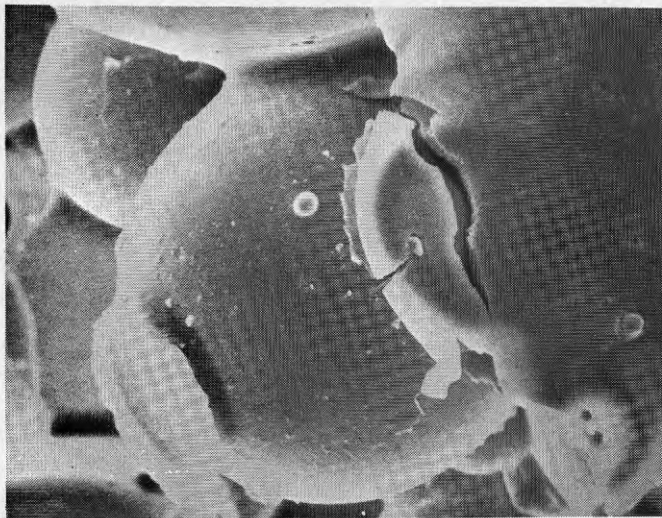
b) Bild av spricka fylld med epoxy och Fillite (x200)

c) Bild av brottyta genom epoxy-Fillite. Man ser att brottet går genom både partikelfasen och bindemedlet (x400)

(Foto: B Hedberg)



a)



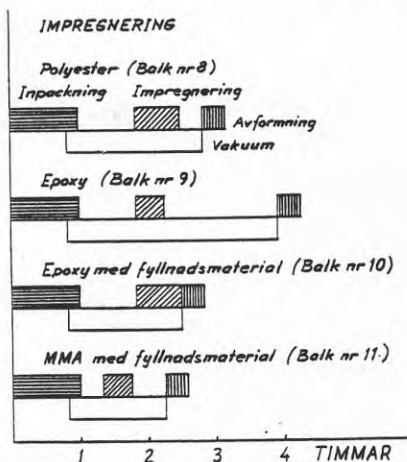
b)

Figur 15. a) Bild av spricka fyllt med MMA och Fillite (x200)

b) Bild av brottyta genom MMA-Fillite-fyllt spricka (x400) visar en mycket porös, nästan "non-fine" struktur. Troligen till följd av insugning av den lågviskösa plasten i kapillärstrukturen.

Metylmetakrylat var den enda reparationsplasten som uppvisade en viss impregnering av betongstrukturen. Mest markerad var den i den starkt uppspruckna undre delen av balken, ungefär upp till underkantsarmeringen. Varken epoxy eller polyester gav någon mätbar impregneringseffekt.

Vid vakuuimpregnering bestäms reparationstiden per balk av vakuumsugningstiden före impregneringens början och polymerens härdningstid i sprickan. Som framgår av tabell 1 har den långsamma epoxy en "pott-life" - härdningstid i blandningskärlet - på ca 150 minuter. För den snabbhärdande epoxy var "pott-life" ca 25 minuter. De faktiska härdningstiderna innan epoxyen i sprickorna började stelna var för den långsamma epoxyen närmare 6 timmar och för den snabba ca 2 timmar (figur 16, balk 9). För polyester och MMA var skillnaderna i härdningstider inte lika stora.



Figur 16 Ungefärlig tidåtgång för de olika arbetsmomenten vid vakuuimpregnering.

För att kunna förkorta arbetscykeln provades uppblandning av polymeren med fyllnadsmaterial. Vid reparation av balk 10 och 11 blandades polymeren med ett mycket lätt material - Fillite - bestående av små ihåliga sfäriska kulor av kisel. Resultatet var mycket gott. Som framgår av figur 16 kunde man förkorta vakuumsugningstiden med ca 1,5 timmar jämfört med balk 9 utan att polymeren rann ut ur sprickorna.

En jämförande sammanställning av de båda reparationsmetoderna görs i tabellerna 2 och 3.

Tabell 2 Jämförelse av last-nedböjningsdiagram för lagade balkar (figurerna 7 och 12 a-c).

METOD PLAST	Injektering	Vakuumimpregnering		
	Epoxy	Epoxy	Polyester	MMA
Deformationen vid last motsvarande 1:a sprickan vid första belastningen	>	≈	≈	>
Last/nedböjning i uppsprucket stadium, jfr med 1:a belastningen	>	>	>	>
Flytlast jämfört med första belastningen	≈	≈	≈	≈

Som framgår av tabell 2 är deformationerna, vid last motsvarande första sprickan i den ursprungliga balken, större för balkar reparerade genom injektering och för balken som vakuumimpregnerats med MMA + Fillite. För balkarna som vakuumimpregnerats med epoxy och polyester var deformationerna ungefär lika vid första sprickan. I uppsprucket stadium är samtliga balkar styvare efter reparation. Flytlasten är ungefär lika för ursprungliga och reparerade balkar.

Tabell 3 Jämförelse av polymerens inträngning i sprickor och kapillärer.

METOD PLAST	Injektering	Vakuumimpregnering		
	Epoxy	Epoxy	Polyester	MMA
Fyllning av sprickor > 1 mm	++	+	+	+
Fyllning av sprickor 1-0,01 mm	++	++	++	++
Tätning i sprickzon sten-pasta	++	++	++	++
Tätning kring armering	++	++	++	++
Impregnering av betongstrukturen	0	0	0	+

En jämförelse av plastens inträngningsförmåga visar en mycket god utfyllnad av sprickor och kapillärer för båda reparationsmetoderna (tabell 3).

I de vakuumimpregnerade balkarna kunde man finna lokala större luftinneslutningar i sprickor > 1 mm. Dessa har inte haft någon inverkan på balkarnas bärförmåga. Luftfickorna kan förklaras med att när polymertillförseln avbryts i impregneringsskedet är plasten i sprickorna fortfarande flytande och kan kapillärt transporteras ut ur de bredare sprickorna.

Impregnering av själva betongstrukturen kunde endast konstateras vid balken impregnerad med den lågviskösa polymeren MMA.

Sammanfattningsvis kan sägas att båda metoderna tycks vara bra för att säkra konstruktionens bärförmåga. Vilken av dem man skall välja blir till stor del beroende av skadans art, konstruktionens utformning och det resultat man vill uppnå med reparationen.

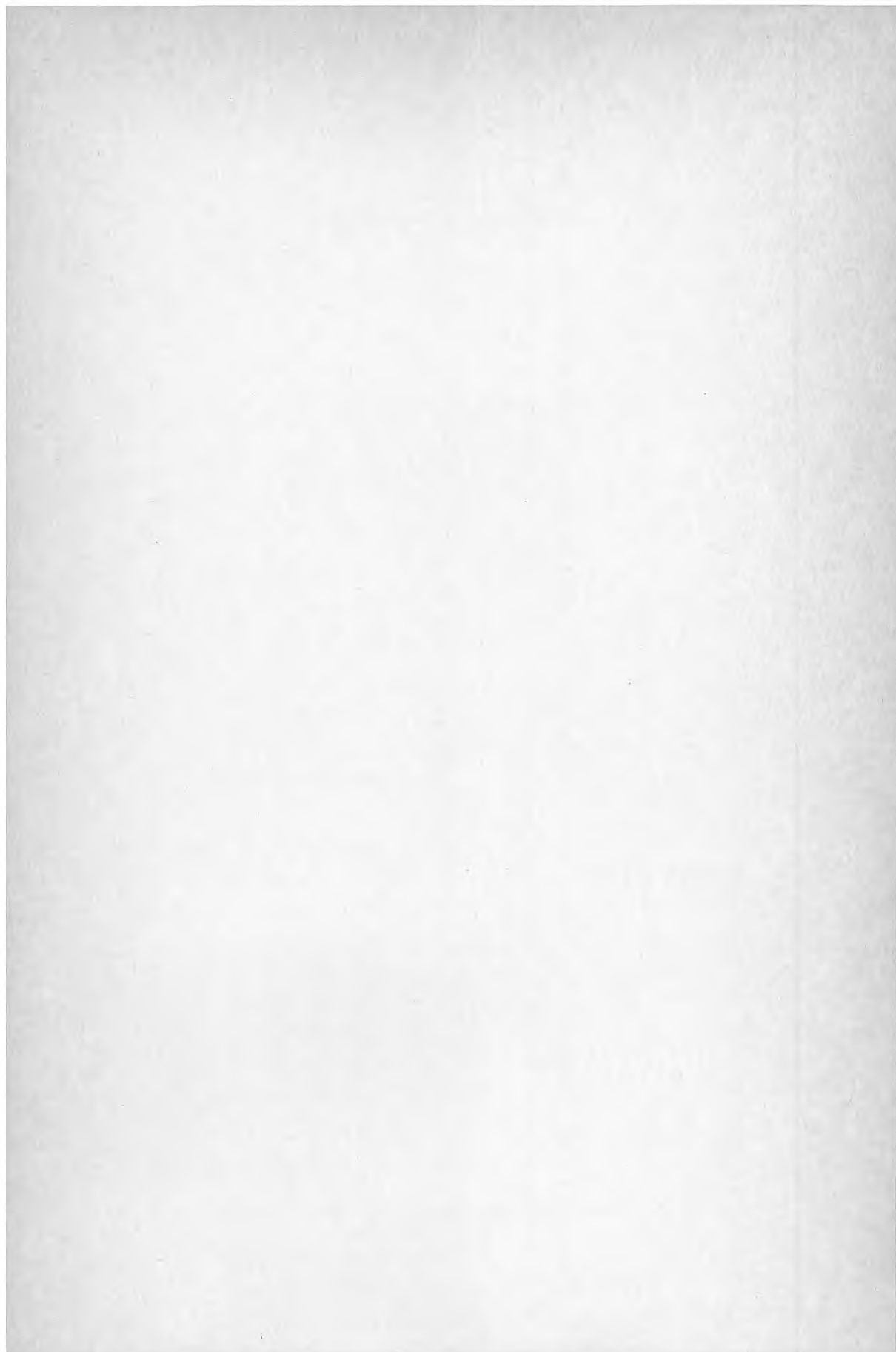
Injektering är en välkänd och tekniskt utprovad metod, som är enkel att använda. Gäller det t ex att laga enstaka större sprickor i bärande konstruktioner eller täta läckage kan det vara en bra lösning.

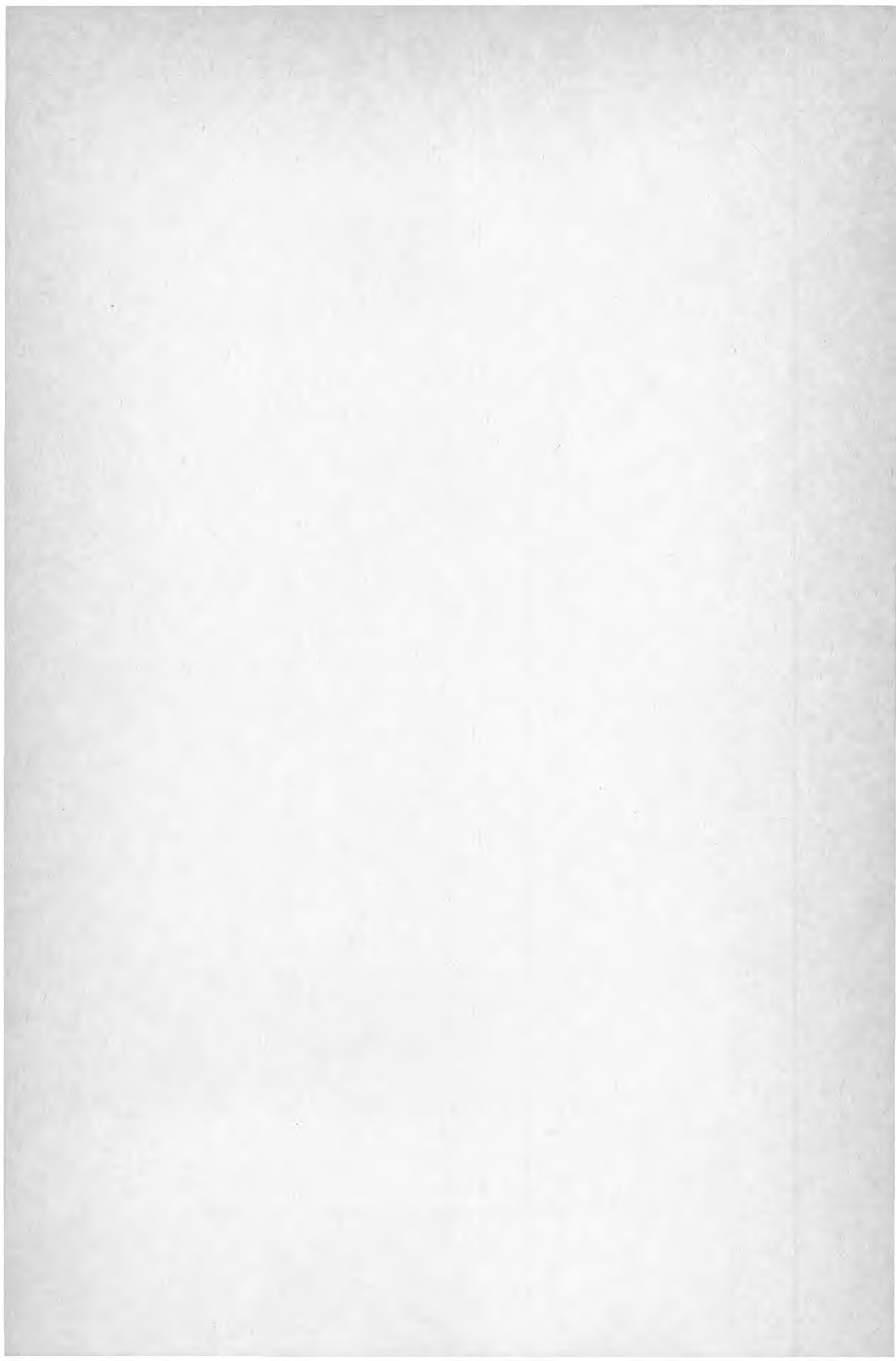
Vakuumimpregnering är en ny metod i reparationssammanhang och man saknar tidigare erfarenheter. Problem som måste lösas är bl a impregneringsmaterialens egenskaper, såsom viskositet och härdningstider, och tekniska problem vid vakuumbehandlingen. Då metoden ger möjlighet att samtidigt reparera större ytor och väl lämpar sig för reparation av betong i korrosiv miljö är den värd att vidare utprovas.

REFERENSER

- /1/ Chung, H W, 1975, Epoxy-repaired reinforced concrete beams. ACI Journal, May 1975.
- /2/ Chung, H W & Lui, L M, 1977, Epoxy-repaired concrete joints. ACI Journal, June 1977.
- /3/ Chung, H W / Lui, L M, 1978, Epoxy-repaired concrete joints under dynamic loads. ACI Journal, July 1978.
- /4/ Augustsson, C, 1977, Epoxi harts-härdare för byggnadsindustrin. Nils Malmgren AB. Ytterby.
- /5/ Celebi, M & Penzien, J, 1973, Hysteretic behaviour of epoxy-repaired reinforced concrete beams. Earthquake Engineering Research Center, University of California. Report to National Science Foundation.
- /6/ Morgan, J G D & Hewlett, P C, Re-bonding of fractured elements including floor slabs. International Conference on Concrete Slabs, Dundee, april 1979.
- /7/ Swamy, R N, 1979, Review polymer reinforcement of cement systems - Polymer impregnated concrete. Journal of Materials Science 14, 1979, p. 1521-1553.
- /8/ Patent Specifications 1.399.510, 1.479.020, 1.480.609, 1.480.718, 1.490.101, 1.490.102, 1.493.982, 1.495.158. The Patent Office, London.
- /9/ Personliga samtal och brevväxling med uppfinnaren, James Milne.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790400-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Avd för byggnadsmaterial, CTH, Göteborg.**

R100: 1983

ISBN 91-540-3985-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700800

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 25 kr exkl moms