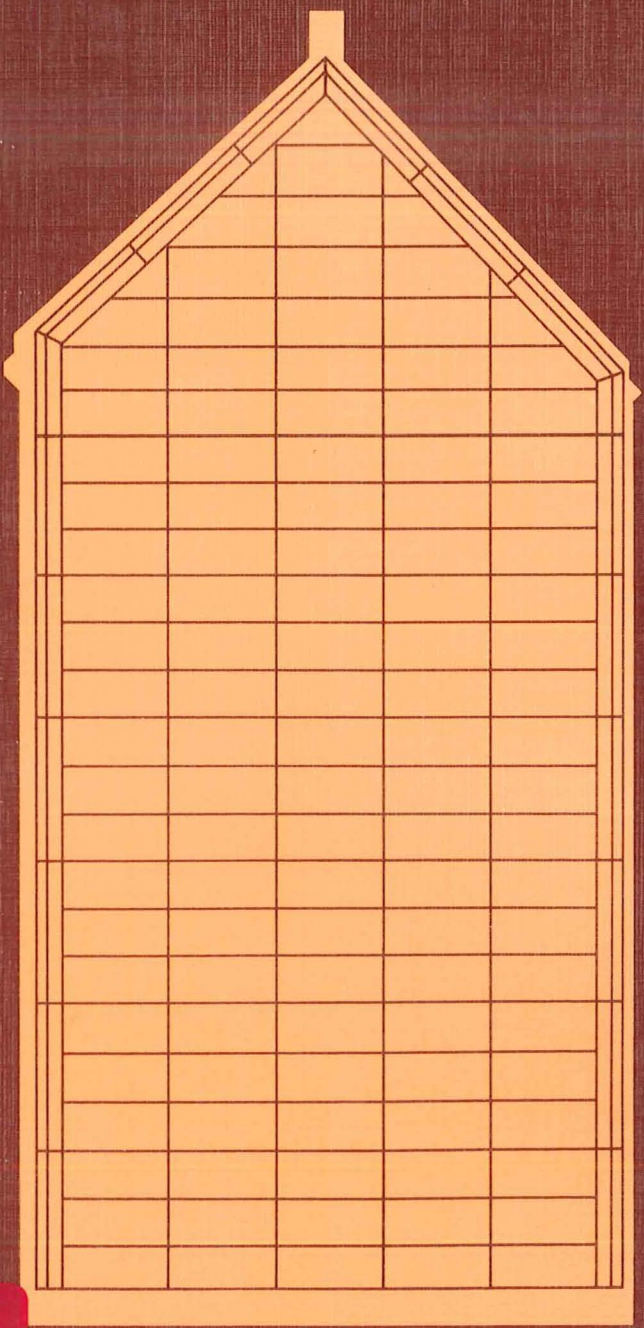


SBI-publik.

Udvendig efterisolering af gavle med præfabrikerede komponenter



SBI-RAPPORT 192 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1988



SBI - publ.

Udvendig efterisolering af gavle med præfabrikerede komponenter

MOGENS NØRREGAARD
MADS STAMPE
ALICE KJÆR

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

07 AUG. 1992

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

EX-1
- 6 APR. 1988

000 932



SBI-rapporter er beretninger om afsluttede forskningsprojekter og afsluttede faser i fasedelte projekter samt beretninger fra visse konferencer og symposier.

SBI-publikationer. Statens Byggeforskningsinstituts publikationer findes i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Landbrugsbyggeri. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Institutets årsberetning og publikationsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement. Institutets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Information om abonnementerne omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0688-1.
ISSN 0573-9985.
Pris: Kr. 86,00 inkl. 22 pct. moms.
Oplag: 1200.
Tryk: Bjørvig Offset, Hvidovre.
Fotos: Georg Christensen, Alice Kjær, Mogens Nørregaard og Jan Carl Westphall.
Tegninger: Fællestegnastuen A/S.
Omslag: Henning Holmsted.

Statens Byggeforskningsinstitut:
Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:
SBI-rapport 192: Udvendig efterisolering af gavle med præfabrikerede komponenter. 1988.

Indhold

Forord	3
Om projektet	4
Baggrund og formål	4
Begrænsninger	4
Valg af komponenter	4
Komponenter af fiberbeton	5
Ejendommen Ryesgade 82	5
Gavlbeklædningen	5
Komponenterne	7
Montagen	8
Komponenter af stål	9
Ejendommen Ryesgade 119B	9
Gavlbeklædningen	9
Komponenterne	10
Montagen	12
Praktiske erfaringer	13
Fiberbetonkomponenter	13
Stålkomponenter	15
Udviklingsmuligheder	17
Bilag 1. Prøvning af fuger	18
Prøvningsmetode og -opstilling	18
Prøvning af fuger mellem fiberbetonkomponenter ..	18
Prøvning af fuger mellem stålkomponenter	19
Bilag 2. Dimensionering og fastgørelse af komponenter	21
Fiberbetonkomponenter	21
Stålkomponenter	21
Litteratur	22
Summary	23

Forord

Frie gavle i ældre etageejendomme er som regel ikke varmeisolerede og ofte partielt forvitrede og utætte. Som følge af kondenseret rumfugt og indtrængning af slagregn kan de desuden være meget fugtige. Disse mangler kan afhjælpes med en varmeisolerende og beskyttende udvendig beklædning, som tidligere påvist af SBI i et forsøgsprojekt, der er beskrevet i SBI-rapport 132, »Udvendig efterisolering af en etageejendom«, 1981. De beskrevne håndværksmæssige metoder var imidlertid ganske dyre, og der er i dette projekt i stedet anvendt præfabrikerede komponenter, der fortrinsvis er velegnede til beklædning af gavle, hvor der ikke forekommer komplicerede og fordyrende tilpasninger til vinduesåbninger.

For at vise spændvidden i udførelsesmuligheder er der i projektet udviklet to principielt forskellige komponenttyper, der blev monteret på to gavle i Ryesgade i København. Til den ene gavl blev der anvendt relativt små fiberbetonkomponenter, 1,8 m × 0,8 m, der blev monteret med håndkraft og fra stillads. Til den anden gavl blev der anvendt store stålkomponenter, 3 m × 3 m, monteret med kran og fra lift.

Som det fremgår af denne rapport voldte udformningen af de byggetekniske detaljer ikke nævneværdige problemer, hvorimod det har været vanskeligt at vurdere de økonomiske fordele ved præfabrikation. Det skyldes blandt andet, at de beklædte gavlarealer ikke var store nok til at danne grundlag for en egentlig fabriksproduktion. En del tyder dog på, at især beklædning med stålkomponenter vil kunne konkurrere prismæssigt med håndværksmæssigt udførte beklædninger.

Projektet er gennemført i samarbejde med arkitektfirmaet Fællestegnastuen A/S og det rådgivende ingeniørfirma Dominia A/S. Fiberkomponenterne blev fremstillet og monteret af Brandt Beton A/S og stålkomponenterne af A/S Jens Villadsens Fabriker.

Projektet blev finansieret under Energiministeriets energiforskningsprogram, EFP 84 (EM journalnummer: 22411-401-01-02, »Demonstration af udvendig bygningsisolering med præfabrikerede komponenter«), men også Byggeriets Udviklingsråd har støttet projektet.

SBI retter en tak til Andelsboligforeningen Ryesgade 82/Irmingersgade 3-5 og til Københavns Kommune, der foruden at stille gavle til rådighed, bidrog økonomisk til projektets gennemførelse.

Rapporten, der er redigeret af arkitekt Filip Wanning, SBI, er fortrinsvis til brug for arkitekter og ingeniører samt for producenter af facadekomponenter og for entreprenører, der udfører renovering af facader.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
Afdelingen for bygningsfysik, januar 1988
Georg Christensen

Baggrund og formål

SBI har tidligere gennemført et forsøgsprojekt med udvendig efterisolering og facadebeklædning, udført med håndværksmæssige metoder (3). Erfaringerne herfra viste tydeligt, at arbejdet måtte rationaliseres og industrialiseres. Især måtte tidsforbruget på byggepladsen reduceres væsentligt for at opnå acceptable priser.

Senere har SBI sammen med Entreprenørforeningen og nogle produktionsvirksomheder undersøgt mulighederne for industriel fremstilling af komponenter, og formålet med det nu gennemførte projekt har været at afprøve to af mulighederne i praksis under en grundig behandling af både tekniske og arkitektoniske forhold.

Begrænsninger

Økonomien gjorde det nødvendigt at begrænse projektet til at omfatte isolering og beklædning af ca. 300 m² ydervæg. Desuden var vilkårene, at ejerne af ejendommene skulle betale ca. halvdelen af isoleringsudgifterne, og at de firmaer, der skulle fremstille og montere komponenterne, dækkede egne udviklingsomkostninger og i øvrigt gennemførte arbejdet til kostpris.

For at opnå så mange erfaringer som muligt skulle to væsentligt forskellige metoder afprøves. Det var naturligt hertil at vælge fritliggende gavle uden vinduer, da sådanne gavle i højere grad end facader er umiddelbart egnede til beklædning ved industrialiserede metoder.

Blandt flere muligheder valgtes en gavl, Ryesgade 82, tilhørende Andelsboligforeningen Ryesgade 82/Irminersgade 3-5, og en gavl, Ryesgade 119 B, der ejes af Københavns Kommune.

Valg af komponenter

Efter arkitektoniske og tekniske overvejelser blev det blandt flere muligheder besluttet at anvende fiberarmerede betonkomponenter til den ene gavl og komponenter med stålskelet, beklædt med stålplader, til den anden.

Komponenterne fiberbeton blev udformet relativt små med en vægt på højst 50 kg, hvilket svarer til, hvad der kan håndteres af to mand. Stålkomponenterne skulle derimod være store, ca. 3 m × 3 m med en vægt på ca. 300 kg, og monteres med kran. Ved at anvende to forskellige montageog monteringsmetoder kunne mulighederne for at nedbringe montageomkostningerne blive belyst. Desuden ville fremstillingsmetoder og transportmåder for komponenterne også være forskellige.

Komponenterne blev udformet i et nært samarbejde med firmaerne Brandt Beton A/S, A/S Jens Villadsens Fabriker og Rockwool A/S. Samlingernes tæthed mod vind og regn blev prøvet i laboratoriet på Statens Byggeforskningsinstitut.

Ejendommen Ryesgade 82

Den valgte ejendom er fra århundredskiftet og i 5 etager, foruden delvis udnyttet loftsrum og kælder. Gavlen støder op til en legeplads, tilhørende institutionen Ryesgade 80, og der er bygget et skur op ad en del af gavlen.

Den pudsede overflade fremstod rimeligt intakt, men den påmalede reklame var temmelig nedbrudt. Brandkammen trængte til reparation af forvitrede fuger og puds.

Gavlens placering med yderside i skel gjorde det nødvendigt at indhente en naboerklæring og at tinglyse en klausul på Ryesgade 82, der pålægger andelsboligforeningen

gen at fjerne isoleringen, hvis naboen engang vil bygge op til gavlen.

Gavlbeklædningen

Efter overvejelse af komponenter af andre materialer som fiberpuds, eternit, træ, teglskaller og glatte plader, blev der af følgende grunde valgt komponenter af fiberbeton: Materialet er stærkt og giver mulighed for at udforme komponenter med homogene forsider og kanter. Desuden er overfladen robust overfor vejrliget og mekaniske påvirkninger og neutral i sin materialevirkning, hvilket ansås for ønskeligt for at bevare ejendommens arkitektoniske karakter.

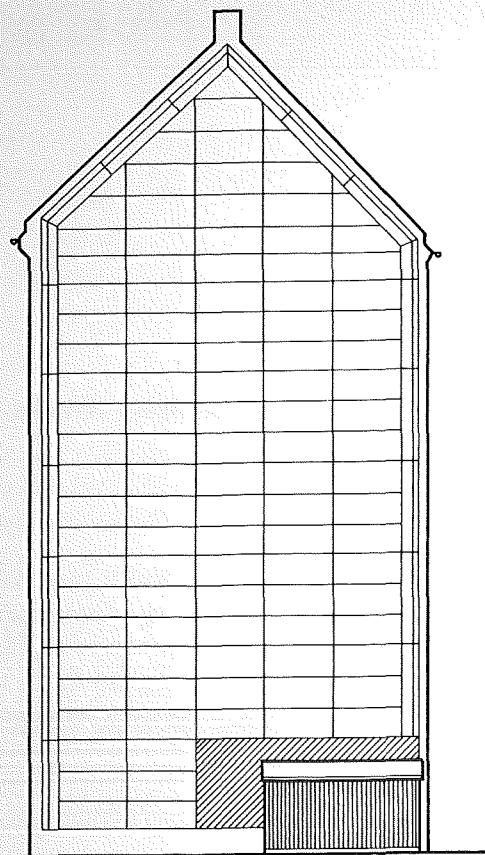
Komponentstørrelsen, 1,8 m × 0,8 m, er valgt, fordi den svarer til gadefacadens kvaderstenspuds i stueetagen. Komponenterne er udført i fiberbetonens naturlige grå farve, der er neutral i forhold til facadernes røde sten og den hvidmalede kvaderstenspuds.



Figur 1. Facaden, Ryesgade 82.



Figur 2. Gavlen, Ryesgade 82.



Figur 3. Gavl med komponentopdeling. Opstalt i mål 1:200.

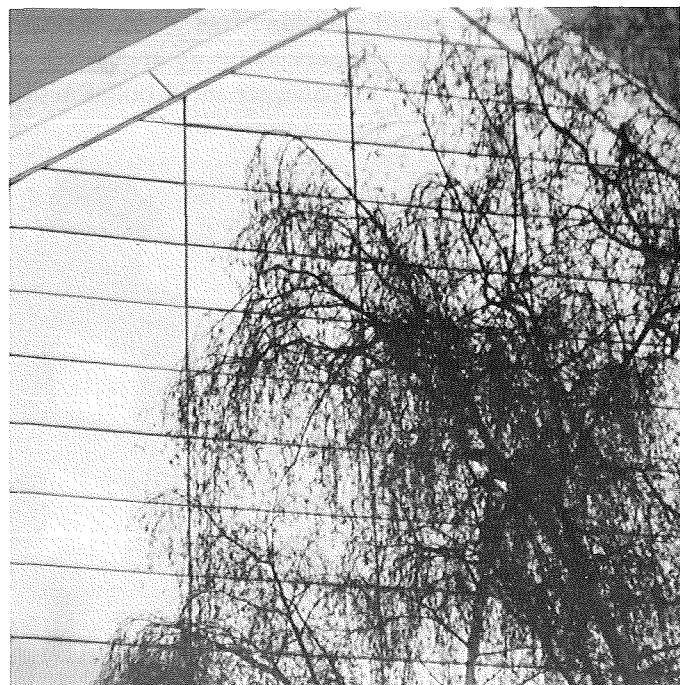
Komponenterne er holdt ca. 30 cm fra gavlens hjørner og ca. 40 cm fra brandkammens overside, idet tilslutninger til de fri kanter ville være problematiske. Det er således accepteret, at der er kuldebroer ved gavlhjørnerne.

Af arkitektoniske grunde er beklædningen ført helt op i gavltrekanten, også ud for det uisolerede hanebåndsloft. Afslutninger langs hjørner og brandkam er udført med særlige kantelementer.

Ophængningen af komponenterne er udført med skjulte beslag ud fra ønsket om, at beklædningen skulle fremtræde som store vægfliser med tydeligt markerede fuger.

Fugerne er i princippet med totrins tætning, idet den inderste tætning udgøres af gavlens murværk. Yderst er der en regnskærm, dernæst et hulrum for trykudligning og inderst en tætning mod gavlmuren.

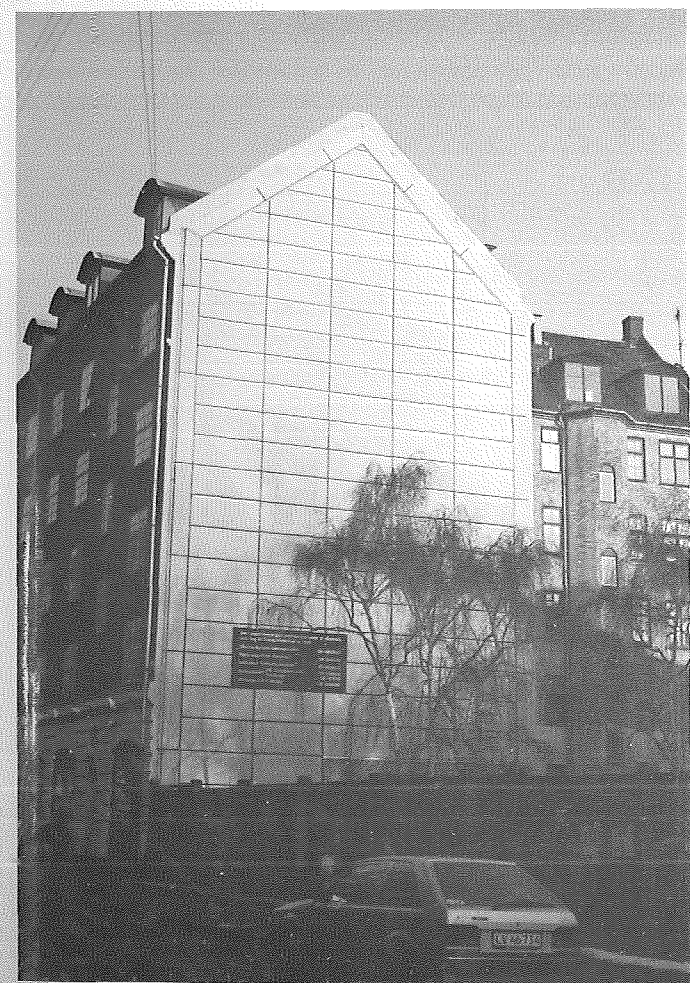
Tilpasning ved det nævnte skur er udført med isolering og bræddebeklædning, der let kan fjernes sammen med skuret, hvis gavlbeklædningen skal fuldføres.



Figur 5. Udsnit af færdig gavl.



Figur 6. Tilpasning med bræddebeklædning ved skur.

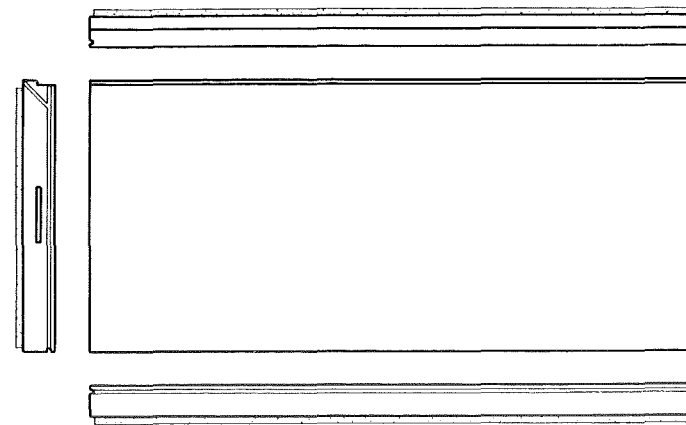


Figur 4. Den færdige gavl.

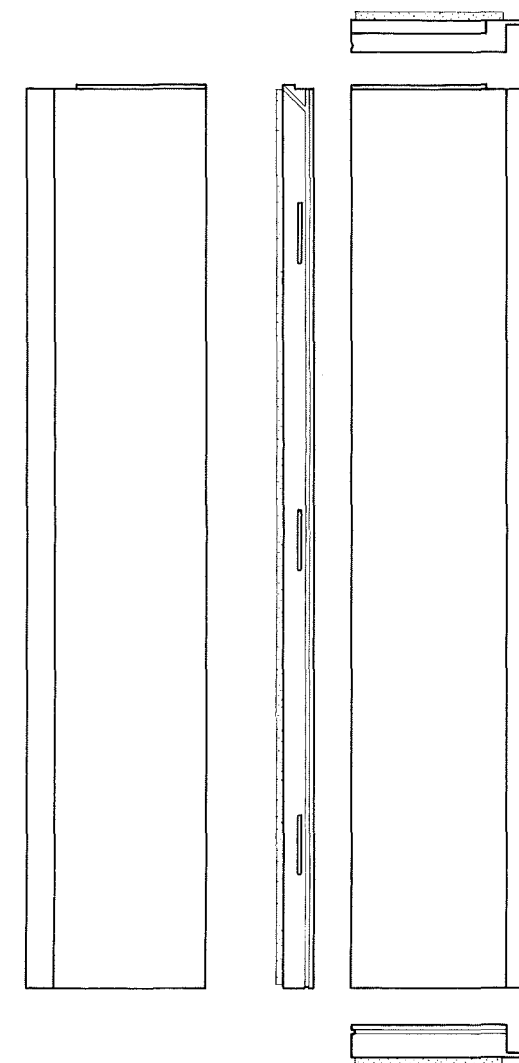
Komponenterne

Fiberbetonkomponenter fremstilles i alt væsentligt som betonkomponenter og udformes efter tilsvarende principper.

På grund af de relativt bekostelige forme er der kun anvendt to forskellige komponenttyper, nemlig normalkomponenter og kantkomponenter.



Figur 7. Normalkomponent. Forside og kanter i mål 1:20.

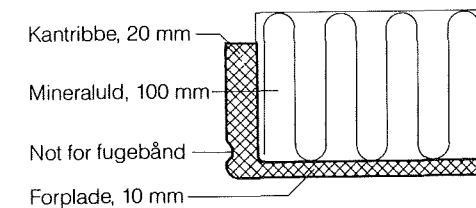


Figur 8. Kantkomponenter til venstre og højre gavlhjørne. Forsider og kanter i mål 1:20.

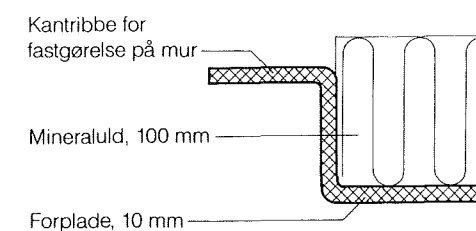
Komponenter til gavltrekanten blev fremstillet af normalkomponenter ved tilskæring på stedet og med særlig inddækning af de skrå afskæringer.

Pladetykkelsen er 10 mm, svarende til minimumstykkelsen for den nødvendige styrke, mens kantribbernes tykkelse er 20 mm. Isoleringen er 100 mm tykke Rock-wool A-Pladebatts 20.

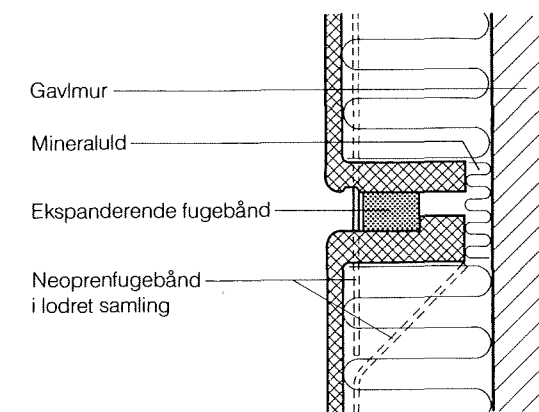
Komponenterne er vist i figur 7, 8, 9 og 10, og kantforstærkninger ved slidser for ophængningsbeslag i figur 55 i bilag 2.



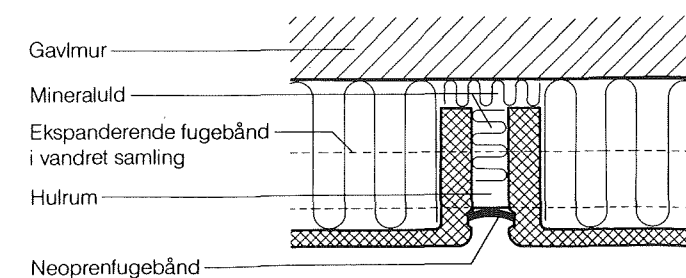
Figur 9. Normalkomponent. Vandret snit i lodret kant i mål 1:5. Lodret snit i vandrette kanter er vist i figur 11.



Figur 10. Kantkomponent. Vandret snit i den ene lodrette kant i mål 1:5. Vandret snit i den anden lodrette kant er som vist i figur 9. Lodret snit i vandrette kanter er vist i figur 11.



Figur 11. Vandret samling mellem normalkomponenter og mellem kantkomponenter. Lodret snit i mål 1:5.



Figur 12. Lodret samling mellem normalkomponenter og mellem normal- og kantkomponenter. Vandret snit i mål 1:5.

Vandrette samlinger mellem komponenterne er, som vist i figur 11, udført med ekspanderende, imprægneret fugebånd (Illmod), komprimeret til $\frac{1}{6}$ af fugetykkelsen. Lodrette samlinger er, som vist i figur 12, stoppet med mineraluld og lukket med neoprenfugebånd. Desuden er der bag alle samlinger anbragt mineraluldsstrimler mod gavlmuren.

Montagen

Det var et teknisk krav, at komponenterne skulle fastgøres hver for sig til gavlen, dels for at undgå opsummering af egenlasten, dels for at sikre at temperaturbevægelser i den enkelte komponent ikke overføres til nabokomponenter, men optages alene i fugerne.

Desuden skulle fastgørelsesbeslagene gøre det muligt at udligne eventuelle ujævnheder samt afvigelser fra lodret plan i gavfladen og at justere komponenternes placering ved montagen.

Yderligere var det et arkitektonisk ønske, at beslagene skulle anbringes skjult i fugerne.

Af hensyn til holdbarheden skulle bolte og beslag udføres af rustfrit stål. Det viste sig dog hurtigt, at selv relativt enkle vinkelbeslag udformet til at udligne unøjagtigheder var relativt dyre, (100–150 kr. per m^2 gavl med to beslag per komponent).

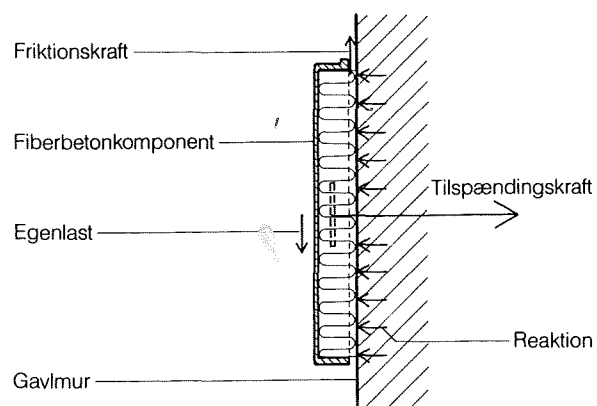
Kravet om beslag til udligning af unøjagtigheder blev opgivet, da det blev vurderet, at den pudsede gavl var tilstrækkelig jævn til at give et tilfredsstillende resultat. Desuden kunne de ca. 25 mm tykke fuger sløre små forskydninger mellem komponenterne.

Det valgte fastgørelsesprincip er vist i figur 13. Komponenterne fastholdes af friktionen mellem isoleringen af stiv mineraluld og muren ved tilspænding af ekspansionsbolte, anbragt i de lodrette samlinger og midt for hver komponent. Tilspændingskraften i hver bolt overføres til to komponenter via en $75 \text{ mm} \times 55 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ rustfri spændplade, anbragt i slidser i kantribberne, som vist i figur 14.

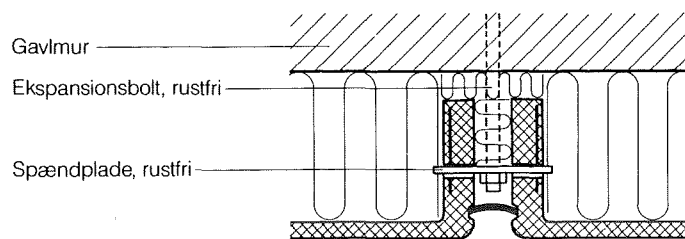
Samme princip er anvendt i de lodrette samlinger ved kantkomponenterne, der desuden er fastholdt ved gavlhjørner og brandkam med synlige franske skrue, som vist henholdsvis i figur 15 og 16.

Den først monterede komponentrække blev midlertidigt understøttet på en vandret planke og fastgjort på gavlmuren, hvorefter den næste række blev opstillet og indjusteret på kiler ovenpå den første række – og så fremdeles for de følgende rækker. Boltene blev tilspændt med momentnøgle, kilerne fjernet, og fugningen derefter udført.

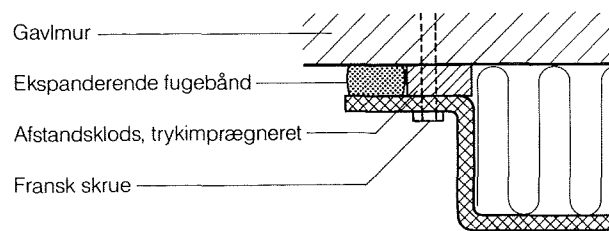
Arbejdet blev udført med håndkraft og fra stillads.



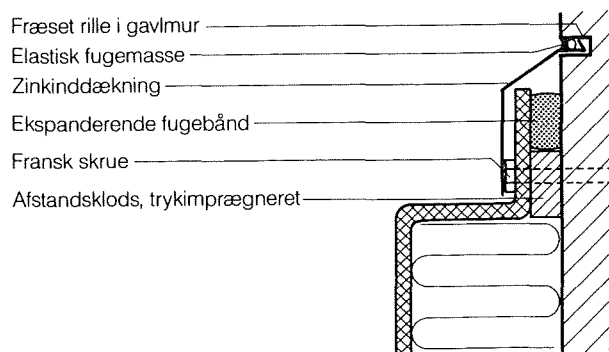
Figur 13. Fastgørelsesprincip. Lodret snit i komponent i mål 1:20.



Figur 14. Samling med fastgørelsesbeslag for normal- og kantkomponenter. Vandret snit i mål 1:5.



Figur 15. Fastgørelse af kantkomponent på mur. Vandret snit i mål 1:5.



Figur 16. Fastgørelse af kantkomponent ved brandkam. Snit vinkelret på brandkam i mål 1:5.

Komponenter af stål

Ejendommen Ryegade 119 B

Den valgte ejendom er fra omkring århundredskiftet og i 5 etager, foruden kælder og uudnyttet loftsrum. Gavlen vender ud mod en passage mellem Ryegade og Blegdamsvej.

Fugerne i murværket i gavlen var flere steder forvitrede, værst i gavltrekanten og ved brandkammen, hvor enkelte sten var løse.

Gavlbeklædningen

Til denne gavl blev der af følgende grunde valgt komponenter af stålprofiler, beklædt med profilerede, tynde stålplader: Stålprofiler giver mulighed for at udforme store, forholdsvis lette komponenter, og beklædningsplader

af stål er egnede til udformning af detaljer med god vandafledning.

Komponentstørrelsen, $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, blev valgt for at få belyst de praktiske problemer ved at arbejde med store komponenter, og beklædningspladerne er behandlet med polyvinylfluorid-lak af lys, grågrøn farve for at opnå en neutral tilspænding, også til nabobygninger.

Beklædningspladerne er behandlet med polyvinylfluorid-lak af lys, grågrøn farve for at opnå en neutral tilspænding, også til nabobygninger.

Beklædningen er holdt 30–40 cm fra gavlens hjørner og fra brandkammens overside og afsluttet med særlige dækplader langs kanterne. Der er således også i dette tilfælde accepteret kuldebroer ved gavlhjørnerne.

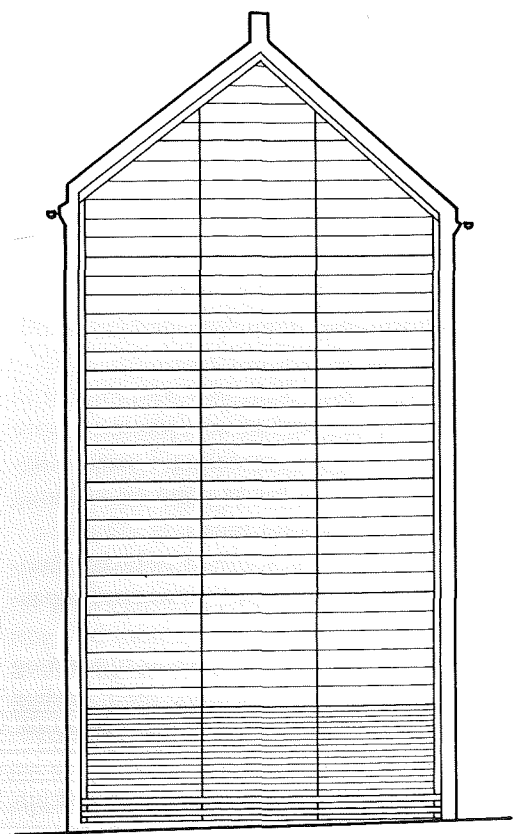
Ophængningen af komponenterne er udført med skjulte beslag, men med klart markerede lodrette og vandrette fuger.



Figur 17. Facaden og gavlen, Ryegade 119 B.



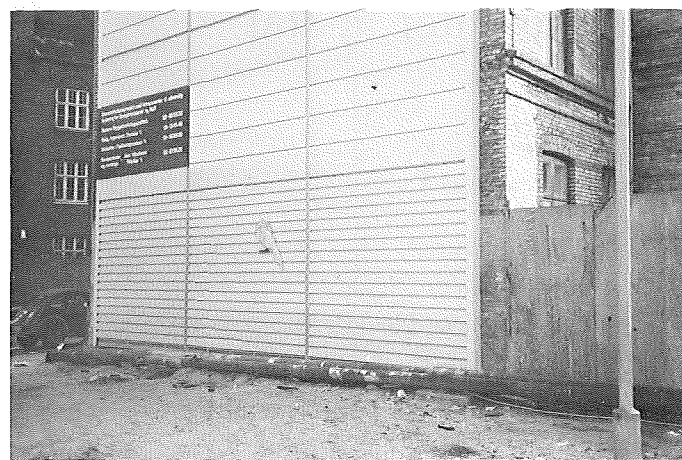
Figur 18. Gavlen og gårdfacaden, Ryegade 119 B.



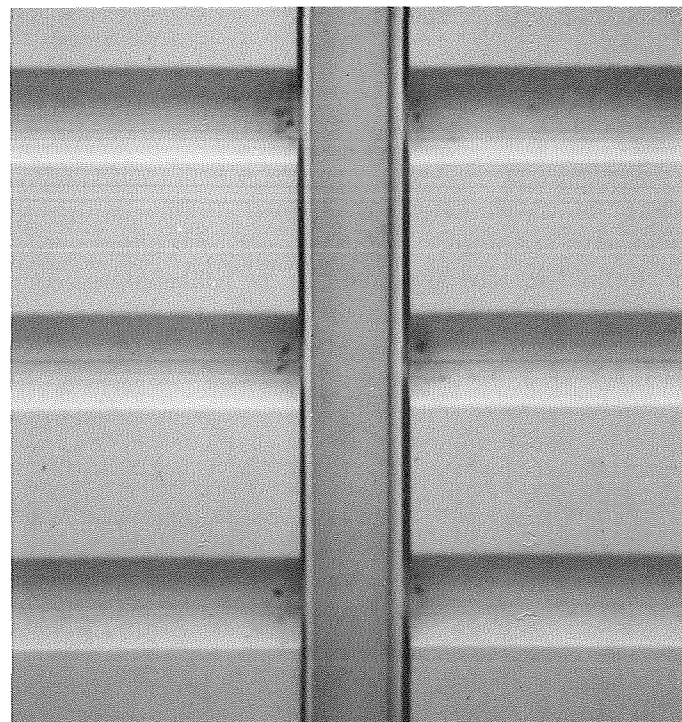
Figur 19. Gavl med komponentopdeling. Opstalt i mål 1:200.



Figur 20. Den færdige gavl.



Figur 21. Nederste komponentrække, beklædt med profilerede plader.



Figur 22. Nærbillede af lodret samling mellem nederste komponenter.

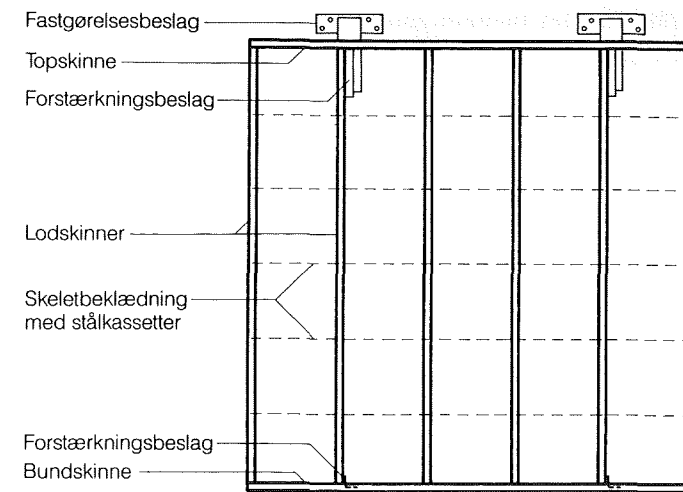
Komponenterne

Det bærende skelet i komponenterne, vist i figur 23, er udført af varmforzinket tyndplade, bukket i de fastlagte profiler. Pladetykkelsen i de lodrette skinner er 1,5 mm og i de vandrette 2,5 mm. Top- og bundskinner er profilede til fer og not samling mellem komponenterne. Skeletbeklædninger er udført af 0,7 mm stålplade som ventilerede vandretliggende kassetter med profilerede kanter til afstiving.

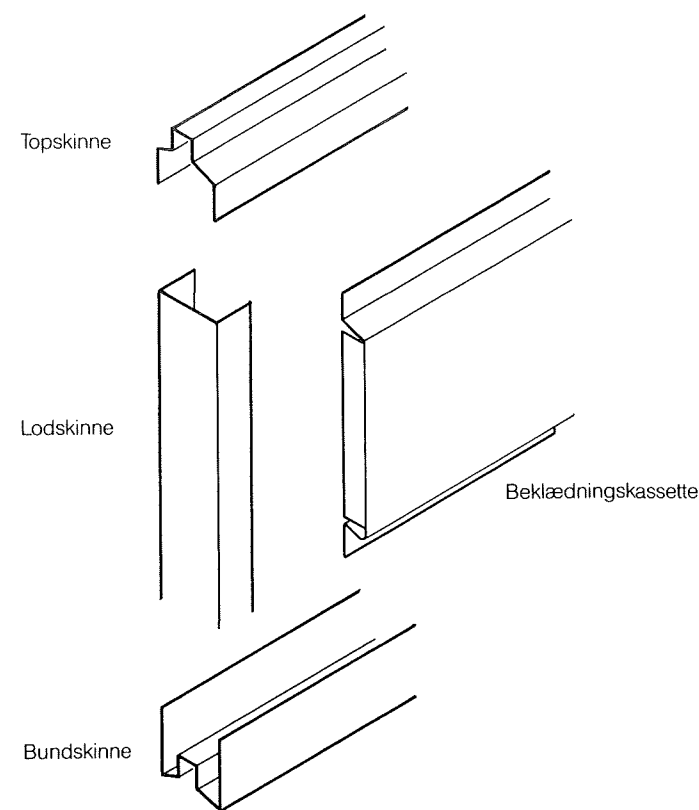
Profiler af skeletdele og kassette er vist i figur 24. Samlinger er udført med lasker, popnitter og skruer. Forstærkningsbeslag i skelettet er vist i figur 56 i bilag 2.

Isoleringen er 125 mm tykke Rockwool A-Batts, fastholdt mellem skinnerne med ståltråd på bagsiden og uden vindafdækning på forsiden.

Komponenterne er fastgjort med fladjernsbeslag i femtedelspunkterne i topskinner, som vist i figur 23.



Figur 23. Normalkomponent. Opstalt af bærende skelet i mål 1:50.



Figur 24. Profiler af komponentdele. Isometri.

Den nederste række komponenter er beklædt med profilerede plader, for at opnå en robust overflade mod mekaniske påvirkninger, og er desuden beskyttet med en fender af stål.

De øverste komponenter i gavltrekanen er opbygget som normalkomponenter, og beklædningen er afsluttet med gennemgående plade langs brandkam.

På grund af bund- og topskinnens godstykkelse (2,5 mm), var det ikke muligt at få skinnerne udført med færdigbehandlet overflade. Af tidsmæssige og økonomiske grunde blev de synlige overflader af skinnerne i stedet dækket med færdiglakerede tyndpladeprofiler, idet Korrosionscentralen skønnede, at risikoen for korrosion mellem skinner og dækprofiler ville være ubetydelig.

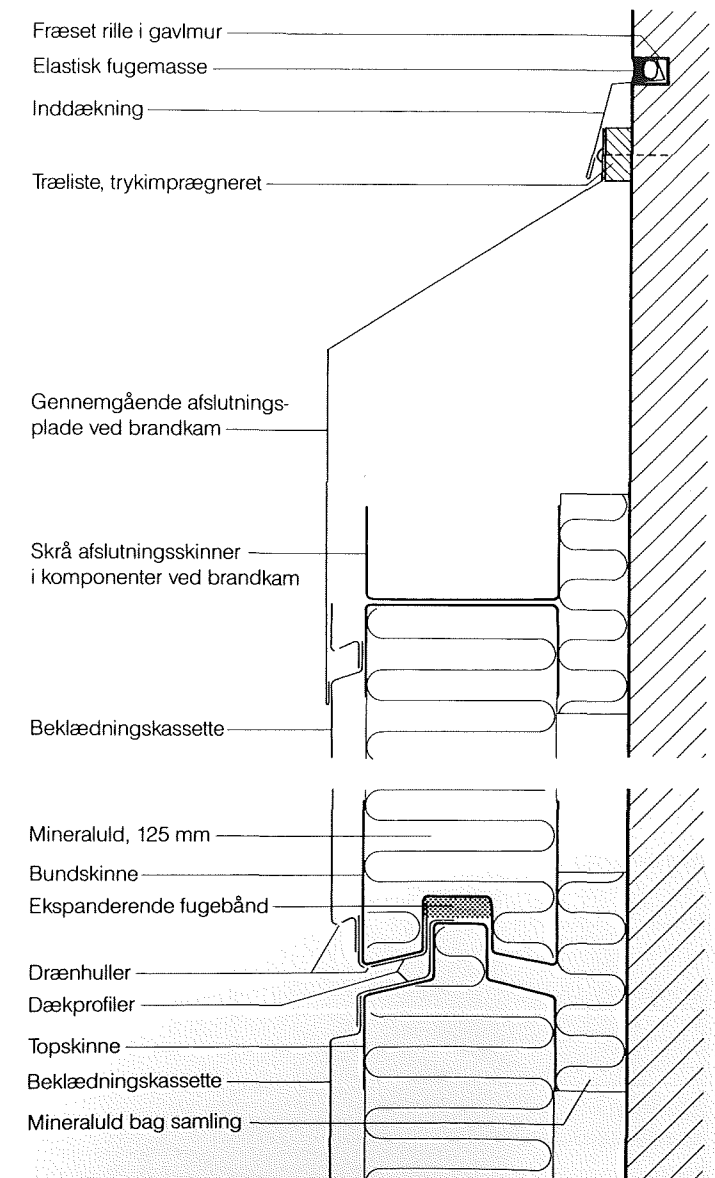
Kassetternes bagside er overfladebehandlet som forsiden, men for at sikre mod tæring er der per ca. 0,6 m boret drænhuller i kassetternes bund og i bundskinner.

Vandrette samlinger mellem komponenterne er, som vist i figur 25, tætnet med ekspanderende fugebånd (3K).

Noten i bundskinner er 5 mm bredere end feren i topskinner, således at der ud for komponenternes fastgørelsesbeslag – til styring af samlinger – kunne indlægges 2 mm tykke neoprenstrimler mellem fer og not, som vist i figur 56 i bilag 2. Disse strimler kunne imidlertid ikke anbringes, da pladsen hertil blev udnyttet til de nævnte dækprofiler.

De lodrette samlinger mellem komponenterne er som vist i figur 26 udført med tottrins fuge, stoppet med mineraluld og med regnskærm af dækplade påskruet komponenternes lodskinner. De lodrette T-profiler til begge sider for dækpladen sikrer mod indtrængning af vand i kassetternes hulrum og er ligeledes fastgjort på lodskinnerne.

Beklædningens afslutning ved brandkarm og gavlhjørner er vist henholdsvis i figur 25 og 27.



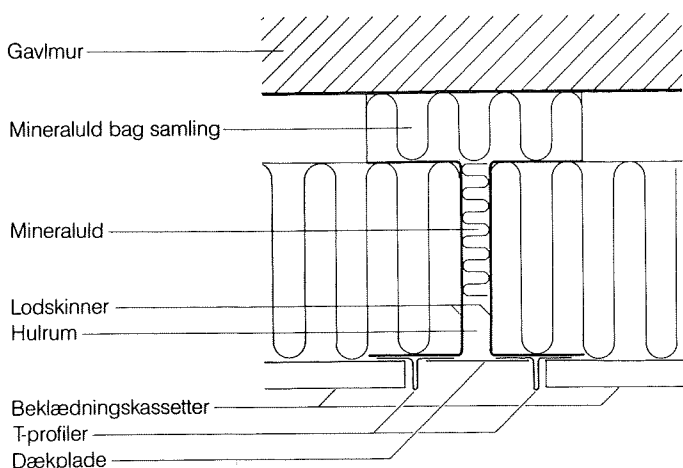
Figur 25. Vandret samling mellem komponenter samt afslutning ved brandkam. Lodret snit i mål 1:5.

Montagen

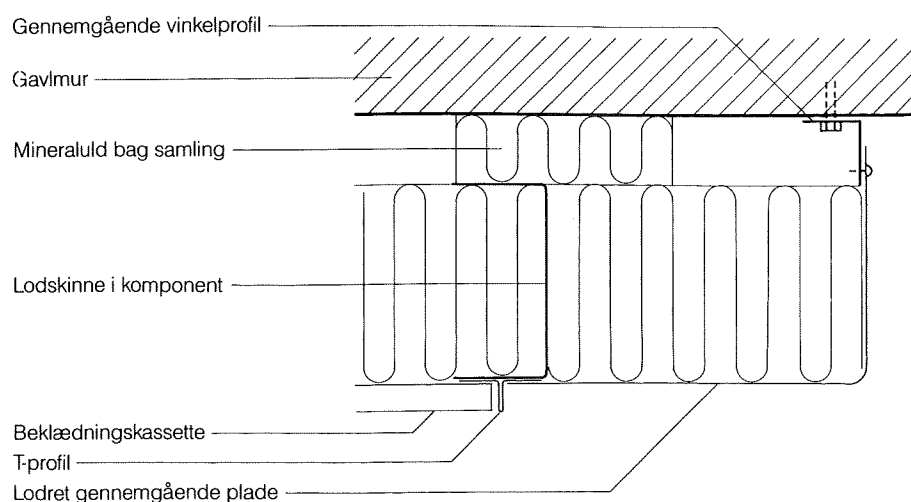
Komponenterne er fastgjort hver for sig til gavlen, dels for at undgå opsummering af egenlasten, dels for at sikre, at temperaturbevægelser i den enkelte komponent ikke overføres til nabokomponenter, men optages alene i fugerne.

Fastgørelsesbeslagene er vist i figur 23 og 28 og udført med flere huller, således at det altid var muligt at placere ekspansionsbolte i intakte mursten. Komponenternes afstand fra gavlfladen kunne inden for 0–15 mm justeres med afstandsskiver. Som vist i figur 28 er de nederste komponenter fastholdt forneden med vinkelbeslag. Beslagenes beskyttede placering bag den viste dækplade medførte, at de blev udført varmforzinkede i stedet for af rustfrit stål.

Ved montagen blev den første række af komponenter opklodset på de nederste vinkelbeslag og derefter rettet ind og fastgjort foroven til muren med normale fastgørelsesbeslag. Efter fjernelse af opklodsningen hang komponenterne i fastgørelsesbeslagene. Den næste komponentrække blev på tilsvarende måde opstillet ovenpå den første række, rettet ind og fastgjort – og så fremdeles for de følgende rækker.



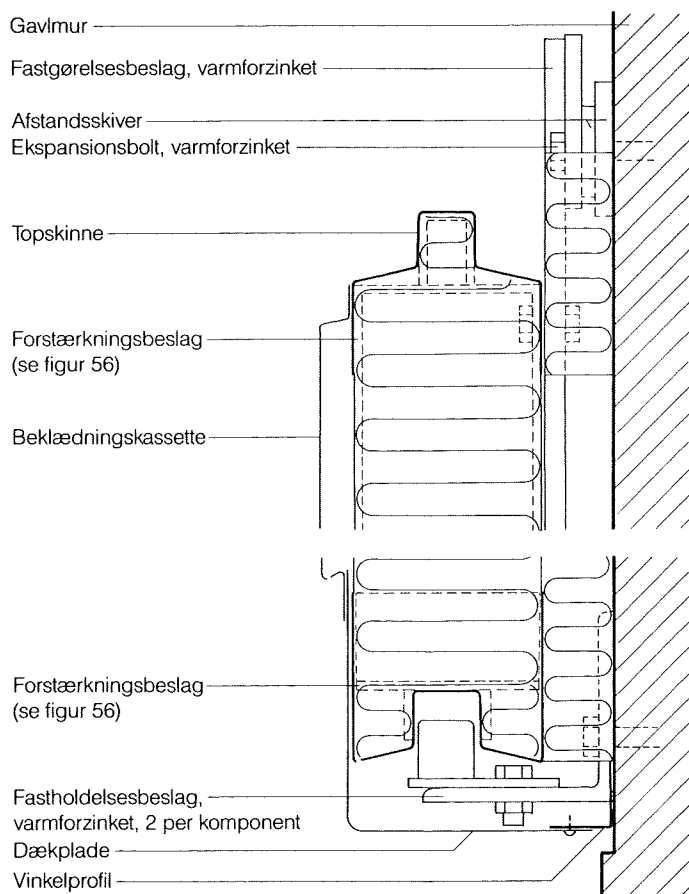
Figur 26. Lodret samling mellem komponenter. Vandret snit i mål 1:5.



Figur 27. Afslutning ved gavlhjørne. Vandret snit i mål 1:5.

Hulrummet mellem gavl og komponenter blev under montagen stoppet med mineraluld bag alle vandrette og lodrette komponentsamlinger og således opdelt i lukkede hulrum på ca. 9 m² med stillestående, varmeisolerende luft.

Til at løfte komponenterne på plads blev der anvendt kran. Montagen blev udført fra lift, men kunne være udført fra stillads med tårne ved gavlhjørnerne og med mellemliggende gangbro, således at komponenterne frit kunne sænkes ned mellem gangbro og gavl.



Figur 28. Fastgørelsesbeslag for komponenter og fastholdelsesbeslag for underkant af nederste komponentrække. Lodret snit i mål 1:5.

Praktiske erfaringer

Erfaringer fra det gennemførte projekt kan været et nyttigt grundlag for vurdering og sammenligning af fordele, ulemper og udgifter ved anvendelsen af forskellige komponenter og dermed for den tekniske og arkitektoniske udformning af udvendig efterisolering.

I de økonomiske oversigter er fordelingen af udgifterne ved de to isoleringsmetoder, der kunne gennemføres i det begrænsede projekt med éngangsproduktion af komponenter, angivet i hovedposter samt i priser per m². Udgifterne ville ved serieproduktion kunne reduceres væsentligt for begge metoder på grundlag af de opnåede og i det følgende beskrevne erfaringer om fremstilling og montage af komponenter.

Fiberbetonkomponenter

Fremstilling

Formene var af træ, der gav udmærkede betonoverflader. Støbningen blev udført ved påsprøjtning af beton i to eller tre lag til den fastsatte tykkelse og med mellemliggende udjævning og indtrykning af glasfibrene i betonen. Denne arbejdsproces, der blev udført med hånden, forekom omstændelig og tidskrævende.

Efter afformningen blev mineraluldsisoleringen ilagt. Som følge af støbemetoden blev de indvendige hjørner i komponenterne afrundede, og det var nødvendigt at affase isoleringen for at få tæt tilslutning til betonen.

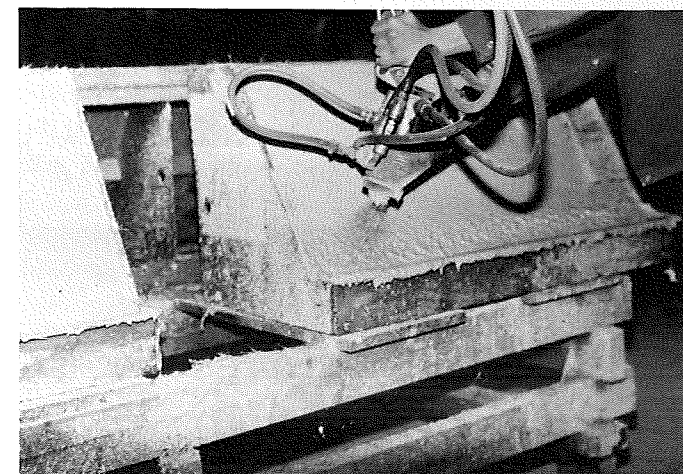
Slidserne i kantribberne til fastgørelsesbeslagene blev skåret med vinkelsliber, en metode der var meget besværlig og medførte uøjagtigheder i slidsernes placering. Ved fremtidige arbejder bør slidserne udføres ved udsparring i ribberne.

En nøjagtig opmåling af gavlen til brug ved projekteringen var med disse arbejdsmetoder ikke nødvendig. Opmålingen kunne indskrænkes til gavlhøjde og -bredde samt mål på gavltrekanten.

Montage

Komponenterne blev transporteret på paller og kunne håndteres uden problemer af to mand.

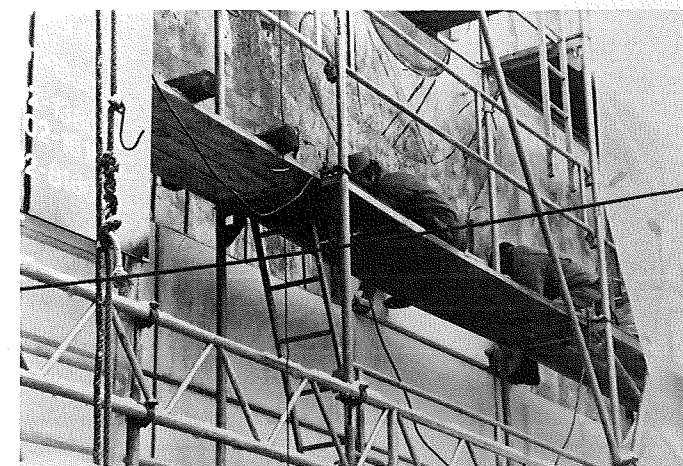
Montagen forløb som planlagt, men det voldte en del problemer at bestemme indstillingen af momentnøglen, der blev anvendt til tilspændingen af fastgørelsesboltene. Den nødvendige tilspændingskraft var lille, i forhold til hvad der følte naturligt, og på nogle af de først anbragte komponenter skete der brud ved slidserne, fordi tilspændingskraften var blevet for stor. Disse komponenter blev udskiftet.



Figur 29. Påsprøjtning af fiberbeton i form.



Figur 30. Indtrykning af glasfibre i betonen med murske.

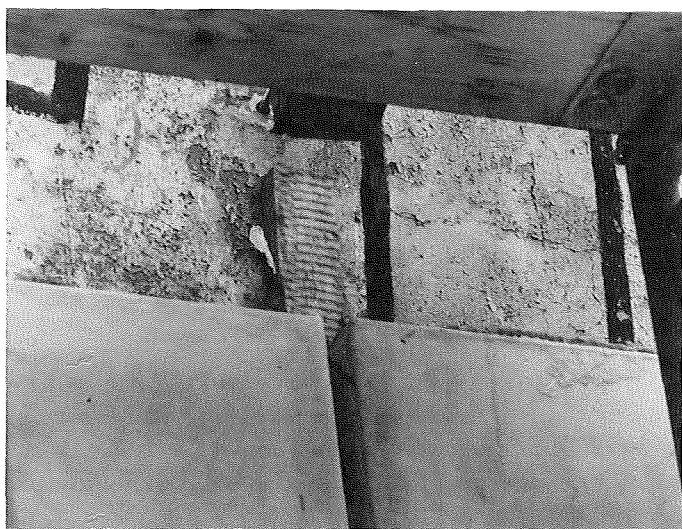


Figur 31. Montering af komponenter med håndkraft.

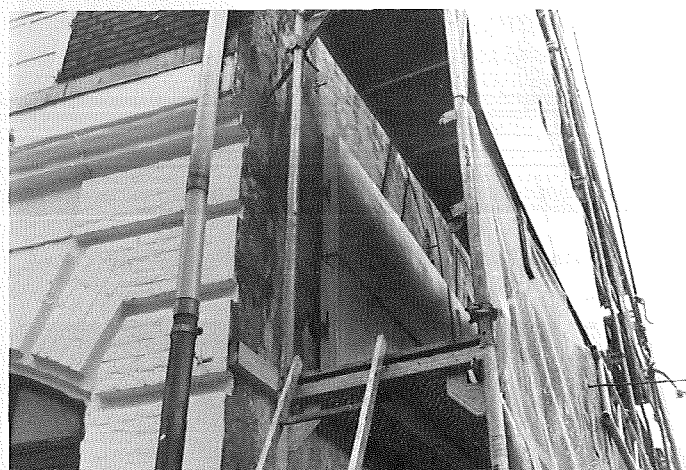
Dagen efter montagen af en komponentrække kunne det konstateres, at boltene skulle efterspændes. Efter at dette var udført, viste tilspændingskraften sig at være konstant, og det må antages, at der efter den første tilspænding er sket en mindre reduktion af trækraften i boltene som følge af deformationer og ujævnheder.

Tilskæringen af komponenterne til gavltrekanten voldte ingen problemer bortset fra, at der var for ringe plads til at udføre arbejdet på det lette stillads.

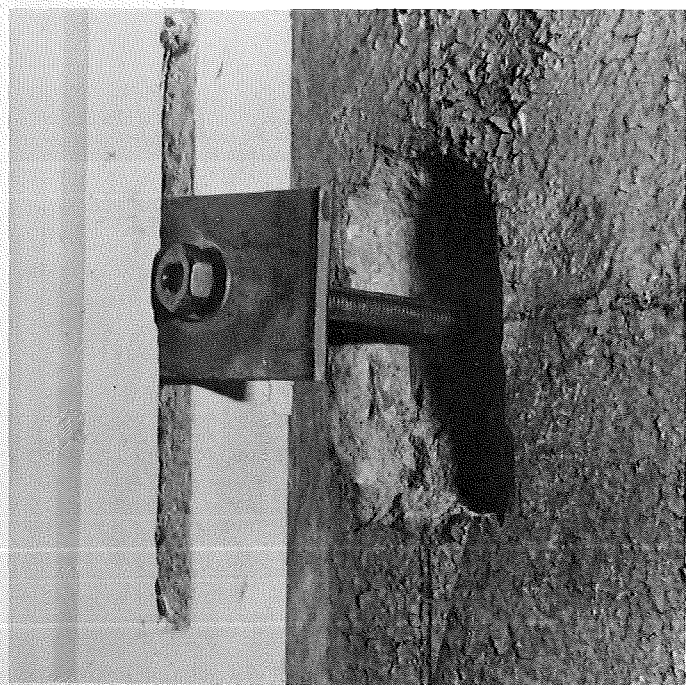
Ilægning af ekspanderende fugebånd i de vandrette fuger og neoprenfugebånd i de lodrette fuger blev foretaget til sidst uden større vanskeligheder. Det kolde vejr betød dog, at de vandrette fugebånd var stive og hårde at arbejde med, og den anvendte dimension var tillige relativt dyr. Ved fremtidige arbejder bør en anden udformning af de vandrette fuger derfor overvejes.



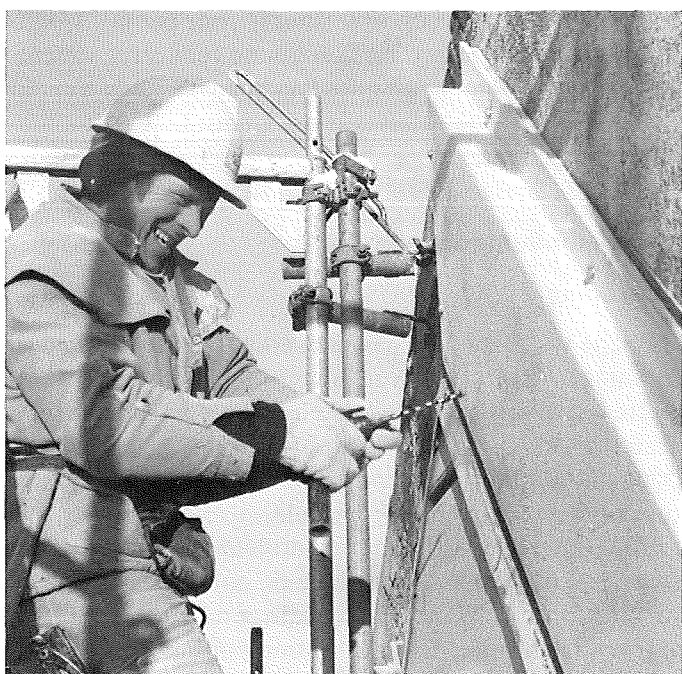
Figur 34. Mineraluldsisolering bag samlinger.



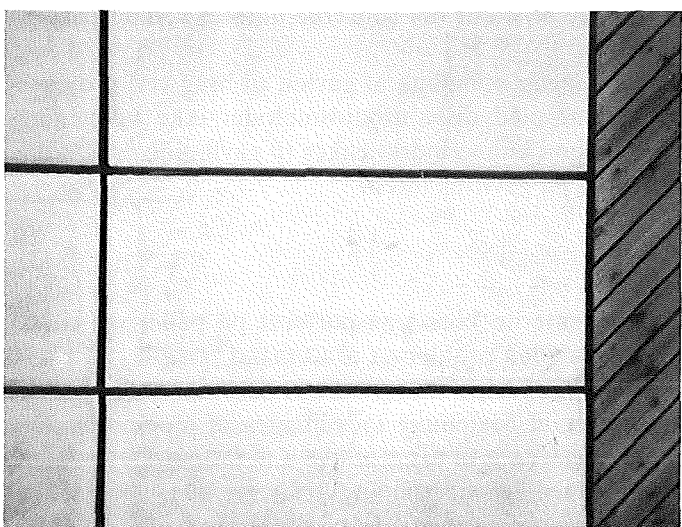
Figur 32. Den først monterede komponentrække midlertidigt understøttet på en planke på gavlmur over skur.



Figur 33. Nærbillede af fastgørelsesbeslag med bolt i gavlmur og med spændplade i slids i kantribbe. Pudslag fjernet ved hul for bolt.



Figur 35. Montering af kantkomponent ved gavlspids.



Figur 36. Tilslutning mellem komponenter og bræddebeklædning ved skur.

Økonomisk oversigt

	Udgifter uden moms	
	Kr. i alt	Kr. per m ²
1. Komponentleverance og -transport	125.000	740
2. Lønudgift til montage af komponenter og forstærkning af gavl.		
450 mandetimer	65.000	380
3. Stillads og hejs	15.000	90
4. Beslag, inddækninger og fugemateriale	30.000	170
5. Byggepladsudgifter	25.000	150
For 170 m ² isoleret vægareal i alt	260.000	1.530

Tabel 1. Oversigt over udgifter til efterisolering med fiberbetonkomponenter.

Udgifterne svarer til prisniveauet januar 1986, men er reduceret skønmæssigt med ekstra udgifter ved montagen på grund af forsinkelser i leveringen af komponenter og på grund af den ekstra tid, der normalt medgår til forsøgsprojekter. Posterne 2-5 omfatter ikke omkostninger ved arbejdsledelse og salær til montageentreprenøren, ligesom arkitekt- og ingeniørhonorar (ca. 15 pct. af de samlede udgifter) ikke er medregnet.

Udgifter til støbeforme udgjorde ca. 50.000 kr. af de 125.000 kr. eller ca. 300 kr. per m². Såfremt leverancen havde været større, ville kvadratmeterprisen have været væsentligt lavere. Ved en større leverance havde prisen desuden ved planlægning og rationalisering af produktionen kunne reduceres betydeligt.

Tidsforbruget til montage var 3½ time per komponent eller 2½ time per m² isoleret vægareal. Det relativt høje tidsforbrug må tilskrives manglende erfaring med montage teknikken, og at forberedelsestiden ikke kunne fordeles på et større arbejde. På tilsvarende måde belastede udgifterne under post 5 kvadratmeterprisen uforholdsmæssigt meget.

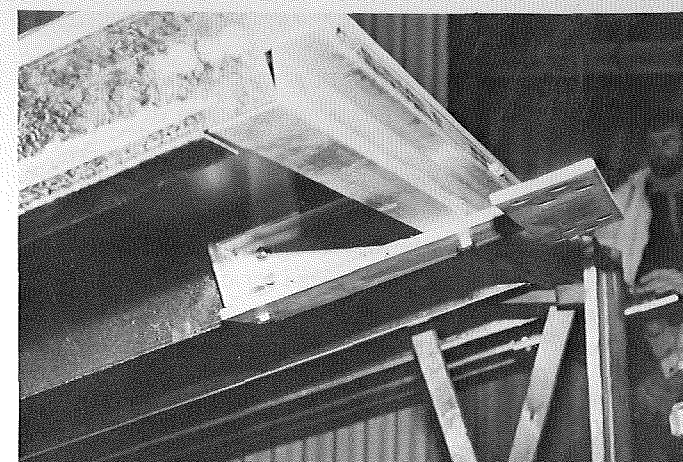
Stålkomponenter

Fremstilling

Det var forudsat, at komponenterne skulle fremstilles på fabrik i Jylland. Transporten af de 3 m × 3 m store komponenter ville imidlertid blive temmelig dyr, og det blev derfor besluttet i stedet at samle komponenterne i en ledig fabriksal på Amager.

Top- og bundskinner kunne som tidligere nævnt ikke udføres af færdigbehandlet stålplade, mens lodskinner og beklædningskassetter blev klippet og bukket af færdig, overfladebehandlet plade. Kassetterne var forsynet med en beskyttende film, der kunne trækkes af efter montagen. Samlingen af komponenterne foregik under intermiste forhold med håndværktøj.

Påsætningen af fastgørelses- og forstærkningsbeslagene tog en stor del af den tid, der blev anvendt til samlearbejdet, og der er ingen tvivl om at mindre komponenter ville have medført færre og enklere forstærkninger af samlin-



Figur 37. Nærbillede af fastgørelsesbeslag og forstærkningsbeslag, påboltet lodskinne.



Figur 38. Skinner, dækplader og beklædningskassetter.



Figur 39. De færdiglakerede beklædningskassetter forsynet med en plastfilm til beskyttelse mod ridser og snavs.

gerne samt mindre dimensioner på top- og bundskinner og dermed et billigere produkt.

Komponenterne til gavltrekanten kunne fremstilles ud fra en nøjagtig opmåling af gavlen fra et stillads, der havde været brugt ved murreparationer. En normal opmåling ville have været vanskelig, men det må formodes, at opmåling ved hjælp af teodolit ville kunne gøres let og hurtigt.

Montage

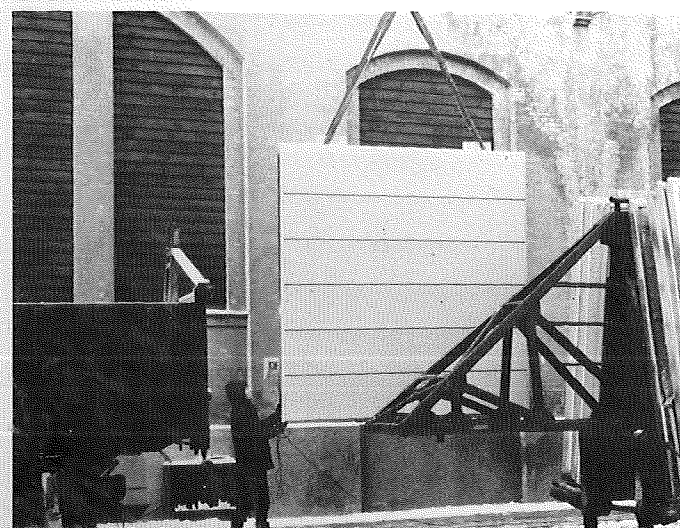
Samtlige nitten komponenter blev transporteret lodretstående på en sættevogn af samme type som til transport af betonelementer.

Til montagen blev benyttet en mobilkran og to lifter på lastvogne. Opstillingen af den første komponent forløb som planlagt, men da arbejdet foregik i 5–10° C frost, var fugebåndene, der skulle anbringes i fer og not samlingerne, så hårde, at de ikke lod sig trykke sammen af de følgende komponenter. De blev derfor erstattet med strimler af mineraluld, hvad der måtte betragtes som en nødløsning.

Mellemrummet mellem fer og not viste sig desuden at være lidt for snævert, da de i figur 25 viste dækprofiler på top- og bundskinner ikke sluttede tæt til skinnerne, hvorfor de påregnede neoprenstrimler måtte udelades.



Figur 40. Komponenter på sættevogn på gaden.



Figur 41. Løftning af komponent i strop i komponentens fastgørelsesbeslag.

Montagen foregik i øvrigt i følgende trin:

1. Løftning af komponent i strop og anbringelse af fugemateriale i not i bundskinne.
2. Løftning af komponent til placeringshøjde.
3. Styring og placering af komponent.
4. Justering af komponentens placering.
5. Fastgørelse af komponent til gavlvæg.

I løbet af to arbejdsdage blev der monteret atten komponenter, idet den øverste komponent og kantafslutningerne resterede. Til de afsluttende arbejder, herunder tætning af lodrette fuger, medgik to dage med brug af kun én lift.



Figur 42. Anbringelse af fugemateriale i not i komponentens bundskinne.



Figur 43. Styring og placering af komponent fra lifter.



Figur 44. Justering af komponentplacering samt fastgørelse af komponent fra lifter.



Figur 45. Lodret kant af beklædning før udførelse af afslutning ved gavlhjørne.

Økonomisk oversigt

	Udgifter uden moms	
	Kr. i alt	Kr. per m ²
1. Komponentleverance og -transport	116.000	610
2. Lønudgift til montage af komponenter og forstærkning af gavlvæg	90 mandetimer	70
3. Lifter og kran med førere	29.000	150
4. Beslag, inddækninger og fugemateriale	12.000	65
5. Byggepladsudgifter	4.000	20
For 190 m ² isoleret vægareal i alt	174.000	915

Tabel 2. Oversigt over udgifter til efterisolering med stålkomponenter.

Udgifterne svarer til prisniveauet januar 1986. Posterne 2–5 omfatter ikke omkostninger ved arbejdsledelse og salær til montageentreprenøren, ligesom arkitekt- og ingeniørhonorar (ca. 15 pct. af de samlede udgifter) ikke er medregnet.

Udgifter til lifter blev ca. 18.000 kr., hvorimod udgifterne til det tidligere nævnte stillads var kalkuleret til ca. 15.000 kr. Der var imidlertid nogen betænkelighed ved at sænke komponenterne ned i mellemrummet mellem gavlen og stilladset ovenfra, hvorfor montage fra lifter blev foretrukket.

Materialeudgifterne til komponenter udgjorde ca. 66.000 kr. af de 116.000 kr. eller ca. 350 kr. per m². Den temmelig høje pris skyldtes den valgte udførelse med specielle profiler samt den førnævnte forstærkning af samlingerne, som følge af de store komponenter.

Som det fremgår af tabellerne 1 og 2, var prisen per m² beklædning for stålkomponenter mindre end to trediedele af prisen for fiberbetonkomponenter, hovedsagelig som følge af den store forskel i forbruget af mandtimer ved montagen. Et af projektets formål – at reducere tidsforbruget på byggepladsen mest muligt ved anvendelse af fabriksfremstillede komponenter – blev således opfyldt med de her anvendte stålkomponenter.

Udviklingsmuligheder

Selvom isoleringsarbejdet var af begrænset omfang, viste resultatet af projektet, at tanken om en fabriksproduktion af komponenter til facadeisolering ikke er urealistisk.

Teknisk set volder det ingen særlige problemer at udforme komponenter med enkle samlinger og enkel montage.

Problemet er den nødvendige investering i udvikling af fleksible komponenter og samlinger og i produktionsanlæg, der forudsætter løbende produktion. Det er tvivlsomt, om markedet for facaderenovering er stort nok i Danmark til en sådan investering, men anvendelse i nybyggeri og eksport af komponenter kunne måske kompensere herfor.

Anvendelse af edb til styring af projektering, produktion og montage er måske en forudsætning for en sådan udvikling.

Bilag 1. Prøvning af fuger

Prøvningsmetode og -opstilling

Fugerne mellem komponenterne blev prøvet i SBI's prøvningsapparat til bestemmelse af lufttæthed og vandtæthed af ydervægskonstruktioner, se figur 46. Prøvningen blev udført som angivet i SBI-ydeevnebeskrivelse 2: Vinduer. Metoden er nærmere beskrevet i SBI-notat 26: Vinduers lufttæthed, regntæthed og stivhedsforhold.

Til prøvning af fugernes tæthed mod vind og regn anvendtes et fugekryds, der blev udført af 4 mindre komponenter, specielt fremstillet til prøvningen med fugeudformninger svarende til de projekterede.

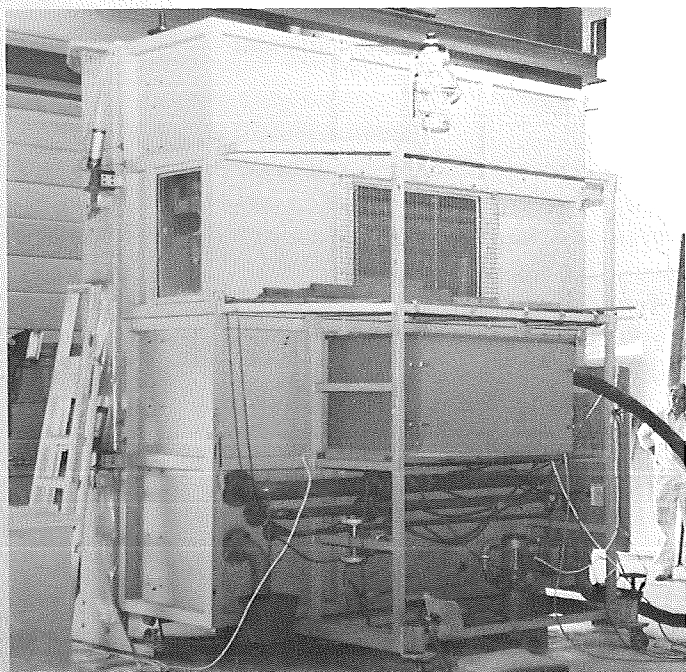
Komponenterne blev fastgjort på en krydsfinerplade, der illuderede som mur, se figur 47. Pladen var indbygget lufttæt i prøvningsapparatets stålramme og havde på bagsiden et kvadratisk hul på 1,2 m × 1,2 m med et tofløjet plexiglasvindue, som vist i figur 48. Man kunne således under prøvningen iagttage, hvad der skete, og senere – ved at åbne vinduet – undersøge, hvor meget vand der var trængt ind i fuger og konstruktion.

Prøvning af fuger mellem fiberbetonkomponenter

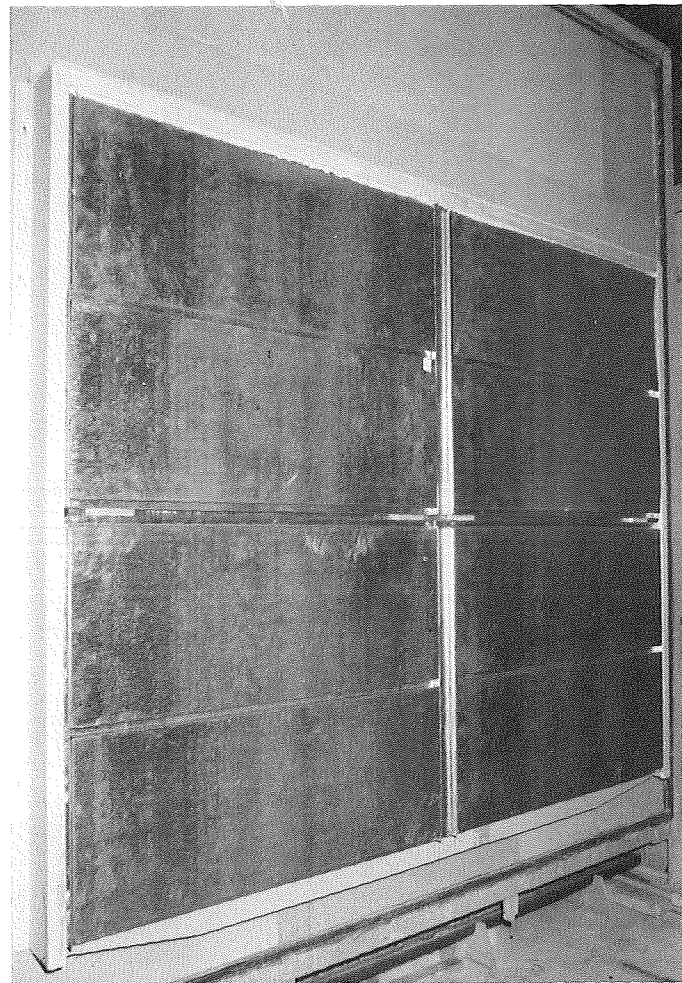
De prøvede fuger (se figur 11 og 12) er vist i nærbillede af fugekryds i figur 49.

Lufttæthed

Fugekrydsets lufttæthed er angivet i figur 50. Luftgennemgang, målt i m³ luft per time per m² væg, er vist som funktion af overtryk, målt i Pascal.



Figur 46. Prøvningsapparatet.



Figur 47. Prøvningsopstilling, her med stålkomponenter.



Figur 48. Plexiglasvindue for iagttagelse af prøvning.

I en afstand af 150 mm bag fugekrydsets plan kunne der ikke måles nogen lufthastighed, hvilket betød, at der ikke kunne konstateres punktlækager i fugerne.

Vandtæthed

Ved 300 Pa sås lidt vand i den lodrette fuge, og ved 500 Pa trængte der mere vand ind i fugen.

Det blev efter prøvningen konstateret, at det ekspanderende fugebånd i den vandrette fuge havde trykket neoprenfugebåndet i den lodrette fuge ud af sporet, så vandet ikke løb ud, men blev presset ind i fugen. Ved at skille fugekrydset blev det konstateret, at komponenterne var rimeligt tørre indeni.

Konklusion

Fugerne var tilfredsstillende vind- og vandtætte, forudsat at neoprenfugebåndet ikke blev trykket ud. Dette blev opnået ved at ændre sporet, således at fugebåndet blev ført skråt indad og op til undersiden af den overliggende komponent, som vist i figur 11.

Prøvning af fuger mellem stålkomponenter

De prøvede fuger (se figur 25 og 26) er vist i nærbilleder af fugekryds i figur 51 og 52.

Lufttæthed

Fugekrydsets lufttæthed kunne ikke måles, da stålkomponenterne som ventet var helt utætte. I den udførte gavlbeklædning er fugerne tilstrækkeligt lufttætte, da gavlmuren er tæt, og der ved montagen blev tætnet med mineraluld mod gavlen bag komponenternes samlinger.

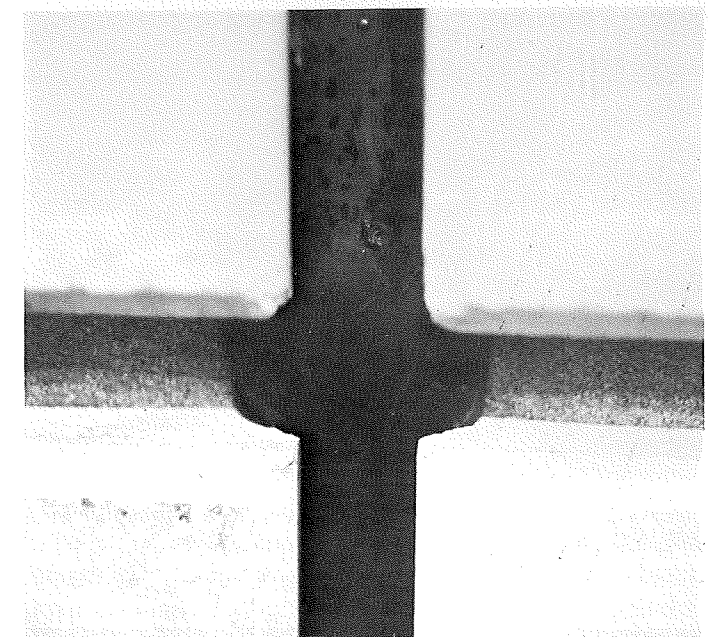
Vandtæthed

Der blev prøvet både med og uden mineraluldsstrimler mod plexiglasvinduet. Figur 53 viser de vandrette og lodrette strimler. Der blev i begge tilfælde ikke iagttaget vandindtrængning, selv ikke ved 700 Pa.

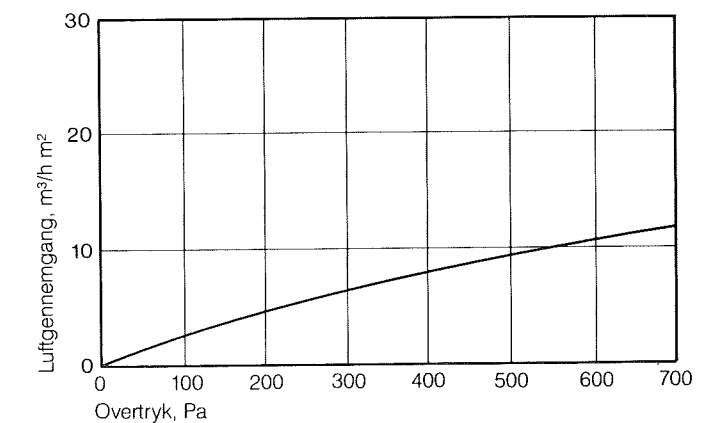
Efter udtagning af isoleringen efter prøvningen blev der konstateret lidt vand i bunden af kassetterne og enkelte vanddråber bag på mineralulden. Stopningen i den lodrette fuge var praktisk talt tør, og der var intet vand i komponenternes bundskinner.

Konklusion

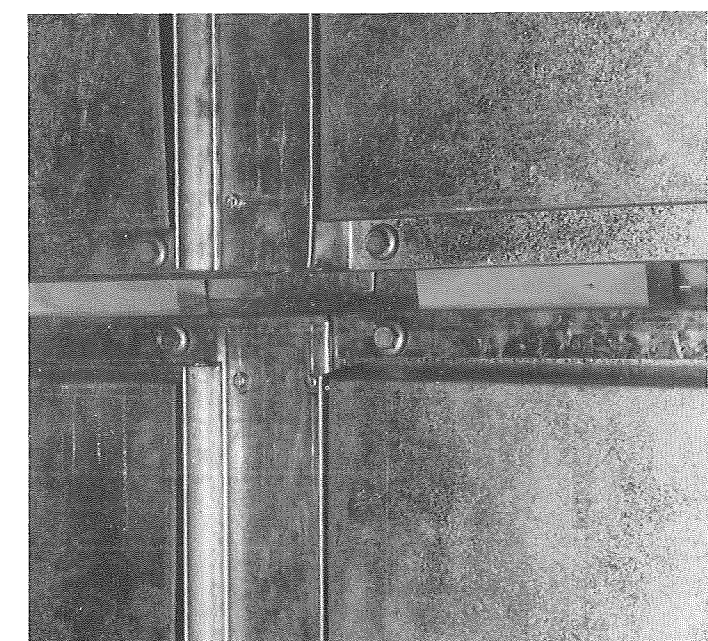
Fugerne var tilfredsstillende vandtætte. Vandet i bunden af kassetterne skyldtes, at forsøgskomponenterne ikke var drænedede, og de anvendte komponenter blev derfor udført med drænhuller, som vist i figur 25.



Figur 49. Nærbillede af fugekryds mellem fiberbetonkomponenter med ekspanderende fugebånd i vandret fuge og lodret gennemgående neoprenfugebånd, indlagt i noter i komponentkanter.



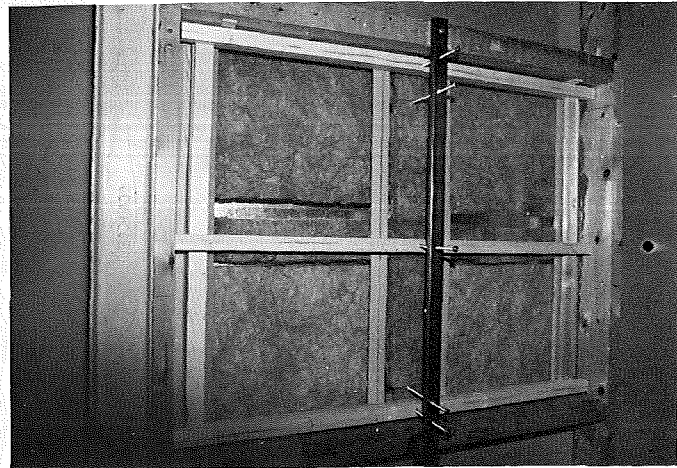
Figur 50. Diagram over lufttæthed af fuger mellem fiberbetonkomponenter.



Figur 51. Fugekryds mellem stålkomponenter med midlertidige afstandsklodser i vandret fuge.



Figur 52. Nærbillede af fugekryds mellem stålkomponenter med dækplade foran lodret fuge ført ind i vandret fuge.



Figur 53. Stålkomponenter prøvet med mineraluldsstrimler mod plexiglasvinduet.

Bilag 2. Dimensionering og fastgørelse af komponenter

Fiberbetonkomponenter

Tværsnittet er dimensioneret for vindsug, idet komponenterne blev regnet som simpelt understøttede bjælker med spændvidden 1,8 m. For momentet, optaget ved komponenternes udbøjning, er der regnet med tilladelige trækspændinger i fiberbetonen på $5,25 \text{ N/mm}^2$.

Forankringen blev udført med 10 mm ekspansionsbolte. Trækprøvning af bolte forskellige steder i muren gav en middelbrudværdi på 13,9 kN mod en forudsat værdi på 9,5 kN.

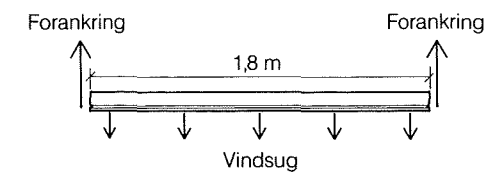
Som foran nævnt og vist i figur 13, er de lodrette kræfter optaget gennem den friktion, der opnåedes ved tilspændingen af boltene. For den anvendte isolering forelå oplysninger om friktionskoefficienter på 0,73 mod tagpap og 0,41 mod galvaniseret stålplade. Tilspændingskraften for boltene blev beregnet ud fra en friktionskoefficient mellem mineraluld og væg på 0,12.

Komponenternes kantribber er, som vist i figur 55, forstærket med varmforzinket strækmetal omkring slidser for spændskiver. Slidserne blev udført 160 mm høje, hvorved boltene i alle tilfælde kunne indbores i intakte mursten.

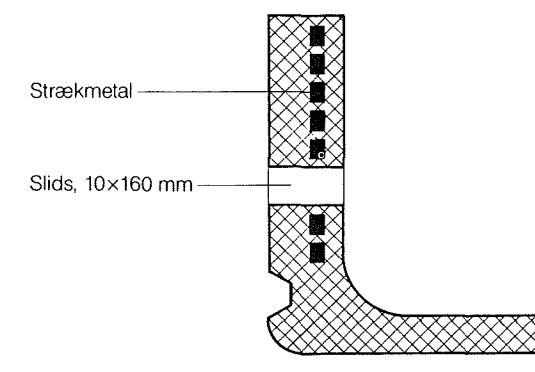
Gavltrekanter blev for en sikkerheds skyld forankret med nye murankre ved hanebåndet og langs brandkammen, da det ikke kunne konstateres, om den gamle forankring var tilstrækkelig. Andre særlige foranstaltninger, herunder ekstra fundering, skønnedes ikke nødvendige, da påvirkningerne af gavlen kun blev øget uvæsentligt ved beklædningen.

Stålkomponenter

Vindlasten er ført fra kassettebeklædningen via lodskinnerne til top- og bundskinnerne, hvoraf de første er fast-



Figur 54. Vindlast på fiberbetonkomponent.



Figur 55. Forstærkning af kantribbe i fiberbetonkomponent ved slids for fastgørelsesbeslag. Vandret snit i mål 1:2.

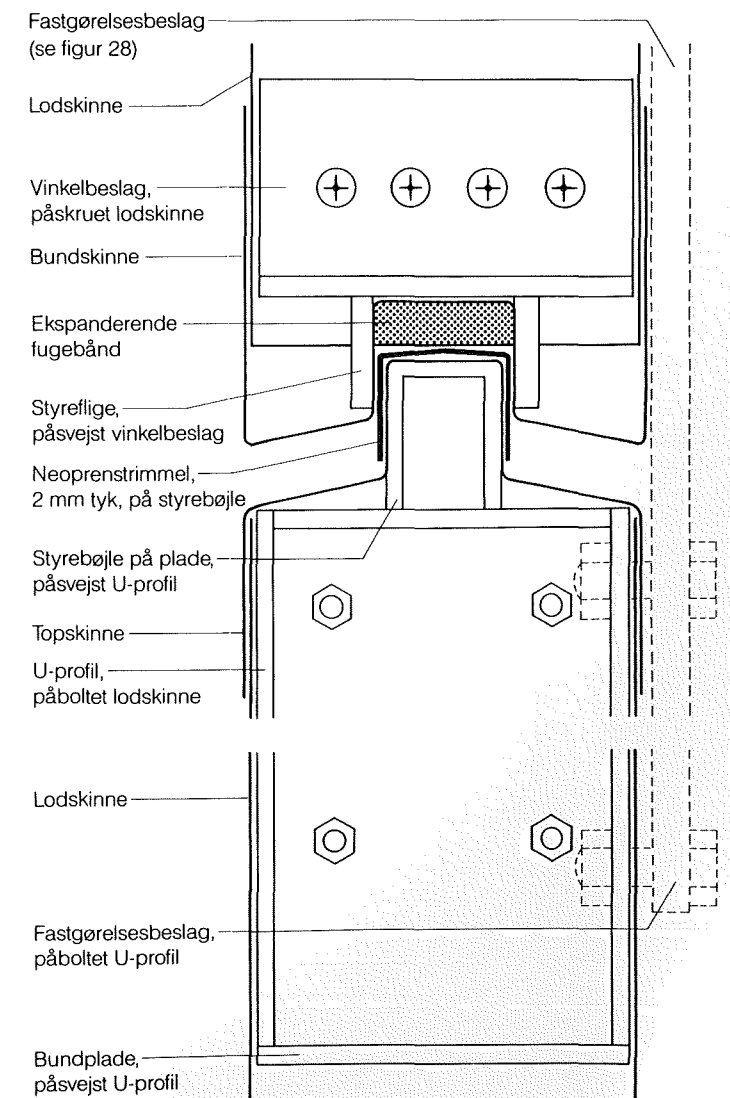
gjort i gavlen med ekspansionsbolte i femtedelspunkterne, som vist i figur 23 og 28, og de sidste er fastholdt i fer og not samlingerne, som vist i figur 25.

Ud for fastgørelsesbeslagene er stålskelettet forstærket med U-profiler og vinkelbeslag, som vist i figur 56.

Trækprøvning af ekspansionsbolte gav en middelbrudværdi på 12,0 kN mod en forudsat værdi på 10,5 kN.

Komponentstørrelsen på $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ medførte, at vindlasten blev koncentreret i forholdsvis få punkter i gavlen. Men med den valgte komponenthøjde kunne boltene placeres tæt ved etageadskillelserne, således at murværket ikke er udsat for bøjningspåvirkninger fra punktbelastninger. Dette har størst betydning i de øverste etager, hvor egenlasten af det overliggende murværk er mindst.

Gavltrekanter blev for en sikkerheds skyld forankret med ekstra murankre til tagværket og tagbjælkelaget. Andre særlige foranstaltninger, herunder ekstra fundering, skønnedes ikke nødvendige.



Figur 56. Forstærkningsbeslag i skelet for stålkomponenter. Lodret snit i mål 1:2½.

1. Fugemasser og facadefuger. 2. udgave. Anthon Brandt og Alice Kjær. SBI-anvisning 108. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1983.
2. Komponenter til udvendig facadeisolering. Mogens Nørregaard, Georg Christensen og Johannes Evald. SBI-rapport 157. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm 1984.
3. Udvendig efterisolering af en etageejendom. Byggeteknik, priser, energibesparelse. Mogens Nørregaard, Helle Blad og Georg Christensen. SBI-rapport 132. Hørsholm 1981.

SBI-Report 192: Prefabricated components for external, additional insulation of gable walls

The present report describes a project the purpose of which was to examine the possibilities of providing additional, external insulation to gable walls of older buildings by means of prefabricated insulating panels. The project is a continuation of a previous project concerned with additional, external insulation of walls and described in SBI-Report 132: Additional, external insulation of a block of flats. The conclusion from the previous project was that a traditional working process with much labour on the building site made the approach uneconomic. With this background the present project was initiated with the purpose of demonstrating that prefabrication of insulating components would give technically good solutions at a more competitive price. In contrast to the previous project, only solutions for gable walls were considered in this project. In this way complicated fittings around windows were avoided.

In the present report two different types of components are described. For demonstration purposes they have both been mounted on two gable walls in Central Copenhagen. For one of the gables fairly small components, 1,8 m × 0,8 m, were chosen. They were made of glass fiber, reinforced concrete shells with a 100 mm mineral wool insulation.

For the other project large components, 3,0 m × 3,0 m, were chosen. They were made of coated steel panels fixed to steel profiles and with a 125 mm mineral wool insulation.

The fibre-reinforced concrete components were mounted by hand from a scaffold whereas the larger steel components were mounted by means of building lifts.

The report describes the building techniques used and the way the components were fixed to the gables. While the construction technique in itself did not give rise to problems, it was difficult to keep costs down to the anticipated level. The reason for this is most likely that the projects were too small to benefit from the prefabrication techniques. Each production was only in the order of 180 m². Especially steel components, however, seem with further development to be competitive as to price with the more traditional solutions.

The project has been part of the Danish energy research programme and was initiated and financed by the Danish Ministry of Energy.

Denne rapport omhandler et projekt, der er gennemført under Energiministeriets energiforskningsprogram med det formål at udvikle og i praksis afprøve komponenter til udvendig efterisolering og regntæt beklædning af gavle. De udviklede komponenter af henholdsvis fiberbeton og stål er detaljeret beskrevet, og der er redegjort for samlinger og fuger og for montagearbejdet. Desuden er de praktiske erfaringer og udgifterne ved arbejdsudførelsen omtalt. Rapporten er rettet til arkitekter og ingeniører og til producenter af facadekomponenter samt til entreprenører, der udfører reovering af facader.