

SBI-publik

Udvendig efterisolering af en etageejendom



Byggeteknik, priser, energibesparelse

SBI-RAPPORT 132 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1981



Udvendig efterisolering af en etageejendom

Byggeteknik, priser, energibesparelse

MOGENS NØRREGAARD
HELLE BLAD
GEORG CHRISTENSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

ex. 3
22 SEP. 1981

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

EX. 3
12 NOV. 1992

00308P



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 udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Landbrugsbyggeri, Byplanlægning, Pjecer, Ydeevnebeskrivelser, Særtryk og Nomogrammer. Salg sker gennem boghandelen eller direkte fra SBI. Instituttets årsberetning og publikationsliste er gratis og kan rekvireres fra SBI.

SBI-abonnement

Instituttets publikationer kan også fås ved at tegne et abonnement. Det sikrer samtidig løbende orientering om alle nye udgivelser. Der kan vælges mellem fire abonnementer omfattende forskellige af de udgivne serier. Information om abonnementernes omfang og vilkår fås hos SBI.

ISBN 87-563-0401-3.

ISSN 0573-9985.

Pris: Kr. 79,00 inkl. 22 pct. moms.

Oplag: 2.500.

Tryk: Dyva Bogtryk, Glostrup.

Statens Byggeforskningsinstitut:

Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-rapport 132: Udvendig efterisolering af en etageejendom.

Byggeteknik, priser, energibesparelse. 1981.

Indhold

Forord	3
Projektorganisation	4
Sammenfatning	5
Udvendig efterisolering ændrer husets udseende	6
Undersøgelse af metoder og materialer	10
Beskrivelse af forsøgsjendommene	12
Valg af isoleringsmetoder	14
Gavlisolering med aluminiumkassetter	16
Facadeisolering med armeret puds	19
Facadeisolering med plane plader	27
Isolering af vinduer	31
Isolering af etageadskillelser mod kælder og loft	35
Licitation og økonomi	36
Klargørings- og følgearbejder, arbejdsplan	39
Installationer og valg af målemetode	41
Måleresultater	43
Beregnet varmeforbrug og teoretisk besparelse	46
Litteratur	47
Summary	48

Forord

Som led i energiministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling er der på basis af et oplæg fra SOFUS-BYG afsat midler til gennemførelse af et projekt med titlen »Forbedring af varmeøkonomien i eksisterende bygninger ved videreudvikling af traditionelle metoder/foranstaltninger«. Hovedprojektet er opdelt i en række delprojekter, hvoraf et har titlen »Forbedring af klimaskærmen i eksisterende etageboliger«.

I første fase af dette delprojekt udarbejdedes SBI-rapport 105, *Forbedring af klimaskærmens varmeisolering i eksisterende etageejendomme* [1], der redegør generelt for de forventede energibesparelser og dermed forbundne udgifter ved efterisolering af eksisterende etageboliger. Desuden blev der i denne fase gennemført et praktisk forsøg med indvendig efterisolering af en 3-etagers ejendom med 24 lejligheder. De byggetekniske løsninger, økonomien og erfaringerne herfra er nærmere beskrevet i SBI-rapport 113 [2]. Og i SBI-rapport 120 [3] beskrives beboernes erfaringer i forbindelse med planlægningen og gennemførelsen af byggearbejderne samt beboernes syn på resultatet af de gennemførte foranstaltninger – herunder det ændrede indeklima. I en afsluttende SBI-rapport 122 [4] redegøres for de gennemførte målinger og de opnåede energibesparelser.

I delprojektets anden fase er de tekniske og økonomiske forhold ved en udvendig efterisolering undersøgt.

Nærværende rapport har til formål at redegøre for mulighederne for etablering af en udvendig facadeisolering på ældre etageejendomme. Desuden giver den en beskrivelse af de løsninger, som er anvendt på to 5-etagers ejendomme fra 1890'erne, beliggende på Niels Ebbesens Vej 7 og 9 på Frederiksberg. Økonomien og de praktiske erfaringer behandles, og der redegøres for den målte energibesparelse samt de arkitektoniske problemer ved den gennemførte form for udvendig efterisolering.

Projektet er gennemført i samarbejde mellem det rådgivende ingeniørfirma Dominia A/S, arkitektfirmaet Fællestegnestuen ApS og Statens Byggeforskningsinstitut.

Ved udarbejdelsen af denne rapport har medvirket følgende: Fra Dominia A/S: Akademiingeniør Mogens Nørregaard. Fra Fællestegnestuen ApS: Arkitekt m.a.a. Helle Blad. Fra SBI: Civilingeniør Georg Christensen.

I forbindelse med hovedprojektet er der nedsat en styringsgruppe sammensat af 4 medlemmer fra SOFUS-BYG kredsen samt en repræsentant fra boligministeriet, energiministeriet og energistyrelsen.

Projektorganisationen er beskrevet i det følgende.

SBI, august 1981.

Projektorganisation

I foråret 1976 udarbejdede SOFUS-BYG (SOFUS-BYG: Samarbejde om forskning, udvikling og service for byggeriet) oplæg til en række projekter vedrørende energiforbruget til bygningers opvarmning og drift. I energiministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling (første fase efterår 1976) indgik tre af disse projekter med følgende program:

- Forbedring af klimaskærmen i eksisterende etageejendomme,
- Udvikling af styringsanvisninger og konsulenttjeneste for varmebesparelse i etageejendomme,
- Analyse af energibesparende foranstaltninger i offentlige bygninger.

For de tre projekter er der oprettet en fælles projektstyringsgruppe med følgende sammensætning:

Afdelingsleder, civilingeniør G. Christensen (formand),
Statens Byggeforskningsinstitut,

Afdelingsleder, civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut,

Civilingeniør N. O. Gram, *)
energiministeriet,

Professor, civilingeniør V. Korsgaard,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole,

Overingeniør, dr.techn. K. E. C. Nielsen, **)
Teknologisk Institut,

Civilingeniør O. Smith-Hansen,
boligministeriet,

Ekspeditionssekretær P. J. Snare,
energistyrelsen.

For hvert af projekterne er der udpeget følgende projektledere:

- Afdelingsleder, civilingeniør G. Christensen,
Statens Byggeforskningsinstitut,
- Afdelingsleder, cand.silv. J. Kelnæs,
Teknologisk Institut,
- Afdelingsleder, civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut

Endvidere oprettedes under hensyntagen til områdets brede berøringsflade til ministerier, andre offentlige institutio-

ner samt byggeriets organisationer og virksomheder et energisekretariat i tilknytning til SOFUS-BYG. Energisekretariatet skal drage omsorg for indsamling, formulering, koordinering og formidling samt information om energiprojekter, som vedrører bygningers opvarmning og drift. For energisekretariatet er der oprettet en styringsgruppe, som består af:

Afdelingsleder, civilingeniør E. Christophersen,
Statens Byggeforskningsinstitut,

Professor, civilingeniør V. Korsgaard,
Laboratoriet for Varmeisolering,
Danmarks tekniske Højskole,

Overingeniør, dr.techn. K. E. C. Nielsen, **)
Teknologisk Institut.

Som energisekretær fungerer civilingeniør O. Jensen, der i de foreliggende tre projekter virker som projektkoordinator.

*) I stedet for civilingeniør N. O. Gram er pr. 1.7.1980 civilingeniør J. Lemming, energiministeriet, indtrådt i projektstyringsgruppen.

**) I stedet for dr.techn. K. E. C. Nielsen er pr. 1.5.1978 cand.silv. J. Kelnæs, Teknologisk Institut, indtrådt i projektstyringsgruppen og civilingeniør P. Steensen, Teknologisk Institut, i energisekretariatets styringsgruppe.

Sammenfatning

Denne rapport beskriver et projekt, der har til formål at undersøge mulighederne for at varmeisolere eksisterende etageejendomme udvendigt. Projektet er en naturlig fortsættelse af tidligere gennemførte undersøgelser af metoder til indvendig efterisolering. Hovedvægten er lagt på de byggetekniske problemer og løsninger.

I første del af rapporten behandles de generelle forhold ved udvendig efterisolering. Ud fra en markedsundersøgelse af isoleringssystemer og -metoder fremgår det, at den ventilerede konstruktion med beklædning af metalplader var den mest anvendte og bedst gennemarbejdede metode. En meget anvendt metode i Sverige bestående af hårde mineraluldsplader og armeret puds, er dog for nylig introduceret på det danske marked, og her findes ligeledes afprøvede detailløsninger og arbejdsmetoder.

Hovedindholdet i rapporten rummer en nøje beskrivelse af den facadeisolering, der er gennemført på to eksisterende ejendomme fra 1890'erne i København. Ejendommene, der er i 5 etager, indeholder hver 10 stk. 3- og 4-værelses lejligheder. Den ene bygning blev forsynet med isolering i form af en ventileret konstruktion med plane plader, medens den anden blev isoleret med hårde mineraluldsplader og armeret puds. Gavlen på sidstnævnte ejendom er ligeledes forsynet med en ventileret facadebeklædning.

Omkostningerne ved de forskellige arbejder er vurderet på grundlag af en afholdt licitation. De generelle erfaringer har vist, at de valgte løsninger og deres udformning havde meget afgørende betydning for økonomien og arbejdets rationelle udførelse, hvilket også betyder, at omkostningerne vil kunne variere meget fra ejendom til ejendom.

De forskellige muligheder for at forbedre vinduerne er ligeledes undersøgt. I dette tilfælde var der ingen markant økonomisk forskel på en renovering af vinduerne og en total udskiftning.

Den ene ejendom er forsynet med centralvarme. Her er energiforbruget til rumopvarmning målt i sæsonen 1979/80. Udover opsætning af de nødvendige varmemålere i fyrrummet blev der foretaget en grov regulering af radiatoranlægget og monteret et klimastatanlæg til automatisk styring af fremløbstemperaturen.

Målingerne viser ved sammenligning med de foregående års forbrug en besparelse på cirka 50 pct., hvilket er cirka 10 pct. mindre end teoretisk beregnet. Den mest sandsynlige årsag til denne afvigelse er, at rumtemperaturerne er blevet forøget samt uundgåelige unøjagtigheder ved både beregninger og målinger af energiforbruget.

Udvendig efterisolering ændrer husets udseende

Efterisolering er en nødvendighed

Den overvejende del af den ældre bygningsmasse består af muret byggeri. Indtil 1920 anvendtes massive ydermure af teglsten og træbjælkelag uden varmeisolerende materialer. I perioden fra 1920 til 1950 indførtes hulmuren, som betyder en begyndende isolering af ydervæggene, og først i de seneste 30 år er egentlige isoleringsmaterialer kommet på markedet.

I 1975 kunne det skønnes, at 70 pct. af alle etageboligers ydervægsarealer udgjordes af teglstensmur [5], og langt størstedelen heraf var massiv mur. Varmetabet gennem disse uisolerede eller ringe isolerede ydervægge er betydeligt. Hvis de traditionelle og mest lønsomme isoleringsarbejder som loftsisolering og vinduesforbedringer er gennemført i en ældre etageejendom, vil op mod halvdelen af det samlede varmetab ske gennem ydervæggene.

På baggrund heraf må det erkendes, at en indvendig eller udvendig efterisolering af ydervæggene på lidt længere sigt vil blive nødvendig. Der vil fortsat være behov for besparelser som følge af de forhøjede energipriser og eventuelle yderligere energiprisstigninger.

Fordele og problemer ved udvendig efterisolering

Ud fra et byggeteknisk synspunkt må den udvendige isolering foretrækkes. Sammenlignet med den indvendige isolering opnås færre kuldebroer og hermed færre gener fra fugt og støvansamling, for eksempel ved gavlhjørner. Den udvendige isolering betyder samtidig, at de tunge vægges varmeakkumulerings-effekt bevares. Efterisolering giver en højere overfladetemperatur på beboelsesrummernes ydervægsflader, hvilket er ensbetydende med komfortforbedring og muliggør en sænkning af rumtemperaturen.

I rapport R46: 1978 fra Statens råd for bygningsforskning [6] sammenlignes energibesparelsen ved udvendig og indvendig efterisolering af en 3-etages ejendom med murede vægge og træbjælkelag. Med en isoleringstykkelse på 10 cm vil den teoretiske energibesparelse være godt 30 pct. større, såfremt der isoleres udvendigt i stedet for indvendigt.

En anden fordel ved udvendig isolering er, at isoleringsarbejdet kan foregå uden større gener for beboerne. Endvidere sker der ingen reduktion af beboelsesrummernes areal, som det er tilfældet ved indvendig isolering. Endelig vil en udvendig isolering være en umiddelbar fordelagtig løsning ved ejendomme, hvor der også er behov for en facaderenovering, for eksempel ved ældre pudsede og malede facader.

Udførelse af udvendig efterisolering har en del generelle konsekvenser, som det er vigtigt at være opmærksom på. Den udvendige isolering medfører en husdybdeforøgelse, der ofte vil kræve dispensation fra overholdelse af byggelinier og bebyggelsesprocent. En forøgelse på 2×15 cm af en husdybde på omkring 10 m vil dog normalt mere være et formelt end et reelt problem.

Inden selve det udvendige isoleringsarbejde sættes i gang, er det nødvendigt at foretage en række forskellige forberedende arbejder. Tagnedløb og -brønde må flyttes. Telefonledninger, der ofte føres på facaden, må omlægges. Eventuelle gesimser må nedhugges, så overfladen får den fornødne planhed. Gård- og gadebelysning, udendørs vandhaner, forhold omkring kælderudgange o.a. er ligeledes ting, der kan kræve forudgående foranstaltninger.

Udføres isoleringen på en teglstensydervæg, må opmærksomheden henledes på, at den nye overflade næppe vil være så robust og vedligeholdelsesfri som den oprindelige. Ofte vil de anvendte materialer være de samme, som i dag benyttes i nybyggeriet til lette facader. Disse beklædningsmaterialer har dog kendte og accepterede egenskaber, selvom de ikke umiddelbart lader sig sammenligne med en teglstensoverflade.

Isoleringsystemets brandtekniske egenskaber må vurderes. Overfladerne skal kunne klassificeres som klasse 1 beklædning, og faren for brandspredning over facaden begrænses.

Den arkitektoniske udfordring

Indvendig efterisolering kan i nogle tilfælde medføre æstetisk mindre heldige forandringer af rummernes udseende. For eksempel må paneler langs vægge, ved vinduer og lofter ændres, og en udformning som den oprindelige vil der sjældent blive råd til ved opsætningen af den nye indvendige vægbeklædning.

Ved udvendig isolering bliver de arkitektoniske følger imidlertid af langt større rækkevidde. Her vil bygningens udtryk normalt blive meget forandret. Og der er store muligheder for en ødelæggelse af ældre bygningsmiljøer, såfremt der ikke ved hver enkelt bygning tages hensyn til dens kulturhistoriske særpræg. Da den udvendige isolering uomgængeligt medfører ændringer i facadens udseende, bliver der tale om en viderebygningsopgave af helt ny art.

Også i tidligere perioder har der været bygget videre på eksisterende huse i takt med skiftende behov og funktion. For eksempel er det nuværende ydre af mange bevaringsværdige bygninger blot udtryk for et bestemt tidspunkt i



Figur 1. Oprindelig gadefacade.

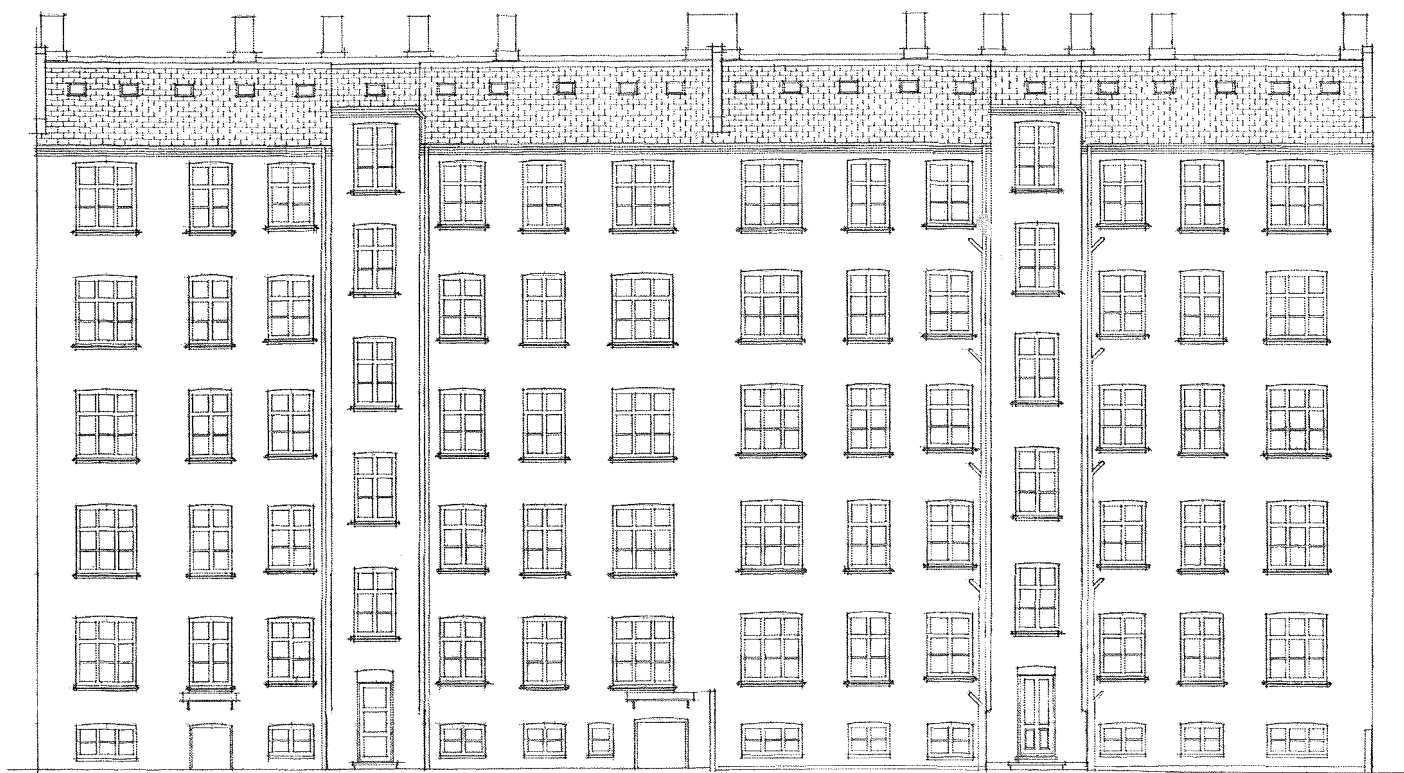


Figur 2. Gadefacade efter isolering.

bygningernes historie. Men tidligere ændringer er foregået på det traditionelle, murede byggeris præmisser, og bygningerne har bevaret den ydre karakter, som de tunge, bærende facader giver dem.

Ændringer i en bygnings facade som følge af udvendig efterisolering medfører derimod som regel, at bygningen

mister sit præg af de bærende ydermure, fordi der vælges isolering med lette beklædningsmaterialer. Man kan sige, at bygningen skifter fra en tung til en let »overfrakke«. Det har derfor været et ønske, at projektet på Niels Ebbesens Vej også skulle bidrage til belysning af de arkitektoniske problemer, der følger af udvendig efterisolering.



Figur 3. Oprindelig gårdfacade.



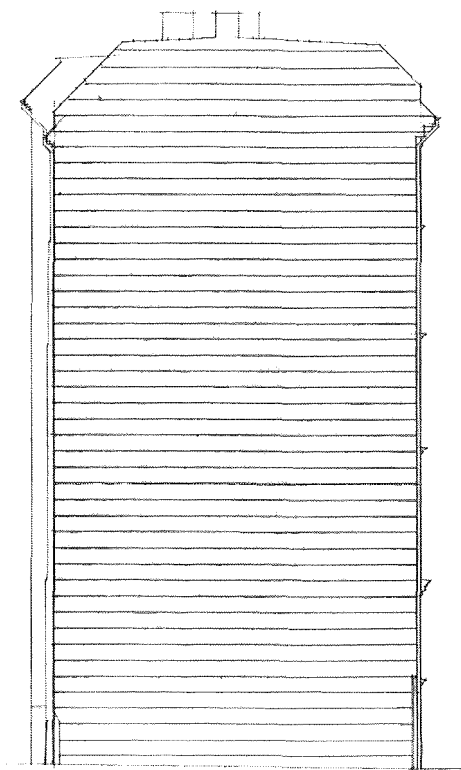
Figur 4. Gårdfacade efter isolering.

Mange af facadens detaljer ændres

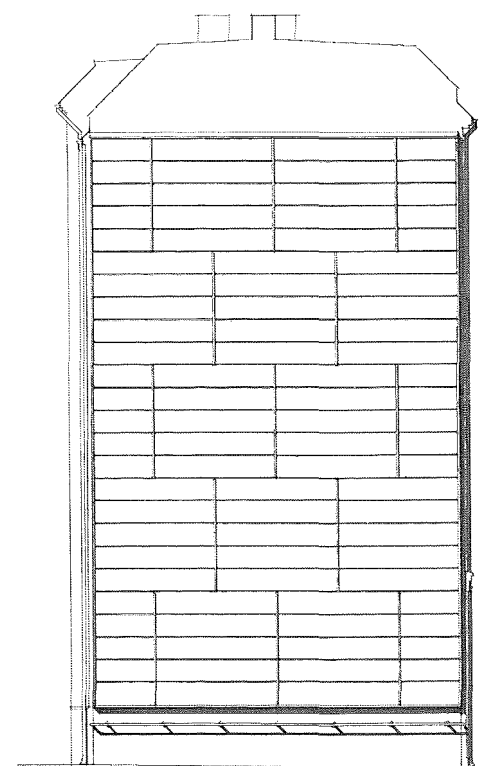
Efterisoleringen på husets yderside giver både byggetekniske og arkitektoniske problemer i forbindelse med den nye muroverflades tilslutning til vinduer, døre, tagfod og sokkel samt ved overgangen til nabobygninger.

Når de oprindelige vinduer bibeholdes, vil udvendig efterisolering medføre, at facaden i højere grad kommer til at fremtræde med rækker af mørke murhuller. Samtidig vil der ske en reduktion af dagslysfaldet i rummene.

I de to forsøgsejendommers gadefacader ligger de oprindelige vinduer 22-24 cm bag ved det nye facadeplan, det vil



Figur 5. Oprindelig gavl.



Figur 6. Gavl efter isolering.

sige at vinduerne ligger omkring dobbelt så dybt som før isoleringen. For i nogen grad at modvirke kraftig skyggedannelse ved så dybt liggende vinduer er der anbragt lyst farvede paneler i de udvendige vinduesfals. Disse lysningspaneler dækker samtidigt for overgangen mellem oprindeligt murværk og efterisolering. På den ene ejendoms gade-

facade er lysningerne kombineret med lyse vinduesindfatninger i samme materiale.

I begge gadefacaders stueetage er der valgt efterisolering med pudsoverflader uden brug af lysningspaneler. I gårdfacaderne er vinduerne fornyet, og der er valgt en placering af de nye vinduer næsten i plan med facaden. Udvendig efterisolering medfører, at hidtidige vinduesindfatninger, blændinger, lisener, friser, murbånd, gesimser og lignende udsmykning i facaden bliver tildækket, eventuelt fjernet. Overførelse af sådanne dekorative detaljer fra en eksisterende murflade til en ny, efterisoleret facade kommer ikke i betragtning, alene af økonomiske årsager. Men enkelte af de oprindelige elementer af størst betydning for facadens karakter vil dog kunne genskabes.

De to forsøgsejendomme på Frederiksberg er opført i slutningen af det 19. århundrede som tvillingejendomme med kun nogle få variationer i murværket omkring vinduerne på første og anden sal mod gaden. Facaderne er i blank mur. Mod gaden er facaderne underdelt af en gesims mellem stueetage og første sal og af et mindre markant vandret bånd langs undersiden af fjerde sals vinduer.

Også i de nye gadefacader er der udført en kraftig gesims over stueetagen, som desuden er klart adskilt fra de ovenliggende etager gennem valg af farve.

Da forsøget har til hensigt at afprøve forskellige metoder til udvendig efterisolering, fremtræder de to ejendomme nu ret forskelligt, men de giver måske netop derfor et mere sandsynligt billede af udvendig facadeisolering i ældre bykvarterer, hvor karreerne består af sammenbyggede ejendomme med forskellige ejere.

Undersøgelse af metoder og materialer

Markedsundersøgelse

I løbet af foråret og forsommeren 1978 blev der foretaget en henvendelse til firmaer, der kunne tænkes at producere eller handle med produkter til brug for udvendig isolering eller markedsføre samlede systemer hertil. Brochuremateriale m.v. blev indsamlet og systematiseret.

Som ventet var langt de fleste af produkterne udviklet til lette facader i nybyggeriet. Metalplader og kassetter i forskellige former udgjorde halvdelen af materialet og fremtrådte gennemgående med de bedst gennemarbejdede systemer.

En del firmaer havde løsninger direkte beregnet på udvendig efterisolering, medens en anden gruppe havde produkter, der måtte anses for anvendelige til opgaven.

Ordnes de indsamlede oplysninger i grupper efter materialetype fås følgende opdeling:

A. Metalprodukter

Bølgeplader af stål, aluminium og kobber.

Plane plader og kassetter af stål, aluminium, kobber og rustfrit stål (Corten stål).

Isolerede facadeelementer med overflade af stål og aluminium.

B. Cementbaserede pladeprodukter

Plader af asbestcement og glasfiberarmeret beton.

Isolerede facadeelementer med overflade af cementbaseret plademateriale.

C. Træprodukter

Krydsfinerplader, specielle spånplader og træspåner (shingels).

D. Glas- og plastprodukter

Glasplader og plastplader.

Isolerede facadeelementer med overflade af glas og plast.

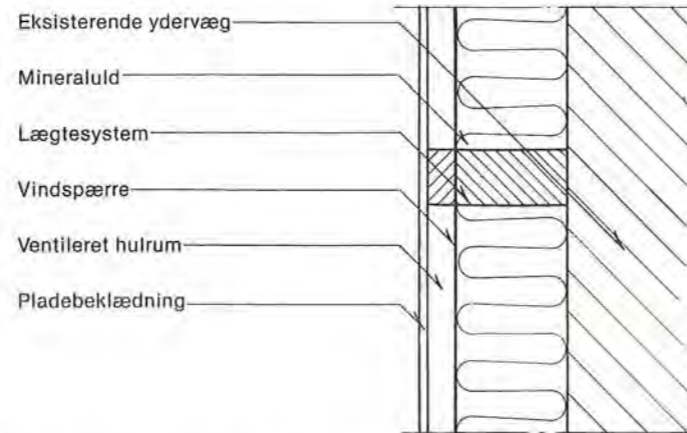
E. Andre produkter

Sprøjtepuds på hård mineraluld, kunststofpuds på polystyren, sømtegl og teglstensimitationer.

De forskellige produkter anvendes efter to hovedprincipper, som kort beskrives i det følgende.

Ventileret pladebeklædning

Princippet fremgår af figur 7. Lægtesystemet kan bestå af træ, stål- eller aluminiumprofiler, og der anvendes normalt en blød mineraluldisolering og en vindspærre af pap.



Figur 7. Ventileret facadebeklædning.

Beklædningen kan bestå af de under A og B nævnte plader og kassetter. Til lavere byggeri kan eventuelt anvendes sømtegl eller murstensimitationer til montering på aluminiumlægger.

Metoderne er afprøvede både her i landet og i udlandet, og der foreligger standardløsninger af tilslutningsdetaljer til vinduer, tag og terræn m.v.

De under C og D nævnte materialer vil i princippet kunne anvendes på lige fod med de nævnte pladematerialer, men ud fra de indsamlede oplysninger må det antages, at erfaringerne hermed er begrænsede. Endvidere er der for de træbaserede pladematerialer et brandteknisk problem, som ikke umiddelbart lader sig løse for etageejendommens vedkommende.

Hård isoleringsplade med pudsoverflade

Her i landet markedsføres to metoder baseret på henholdsvis hårde mineraluldplader og polystyren/polyurethanplader.

I det første tilfælde fastholdes isoleringen ved hjælp af rustfri stålankre, der også holder armeringen i et cirka 20 mm tykt pudslag, der påføres med tryklufsprøjte i flere omgange, se figur 8.

Metoden stammer fra Sverige, hvor den er anvendt i ret stort omfang de senere år med forskellige forankringssystemer. Her i landet er den kun udført forsøgsvis, men markedsføres nu af H + H - Scanbyg.

Den anden metode er meget anvendt i Tyskland, men ikke afprøvet herhjemme, blandt andet fordi de brandtekniske problemer er uafklarede. Isoleringspladen limes på ydermuren med speciallim, og overfladen armeres med

glasvæv, inden der påføres en kunstharpikspuds i et cirka 3-5 mm tykt lag. Se figur 9.

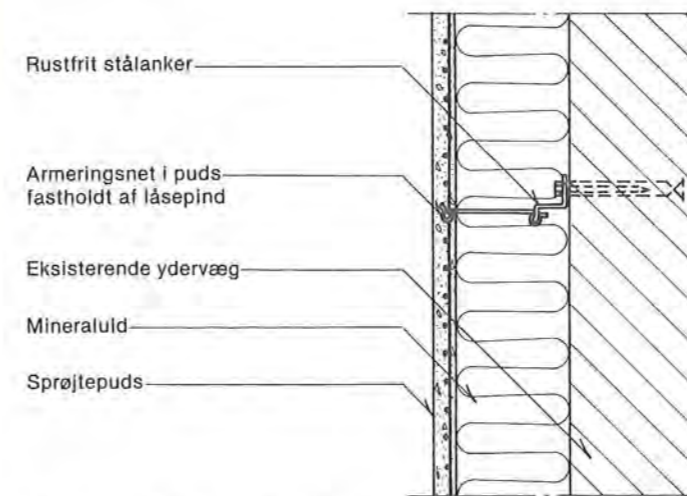
En variant af ovennævnte metoder er et sprøjtepudssystem, der er baseret på et isolerende pudsmateriale med tilslag af polystyrenkugler, se figur 10. Pudsens påføres i lag op til cirka 50 mm tykkelse, men det er begrænset, hvor meget isoleringsevnen kan forbedres med denne metode.

Andre metoder

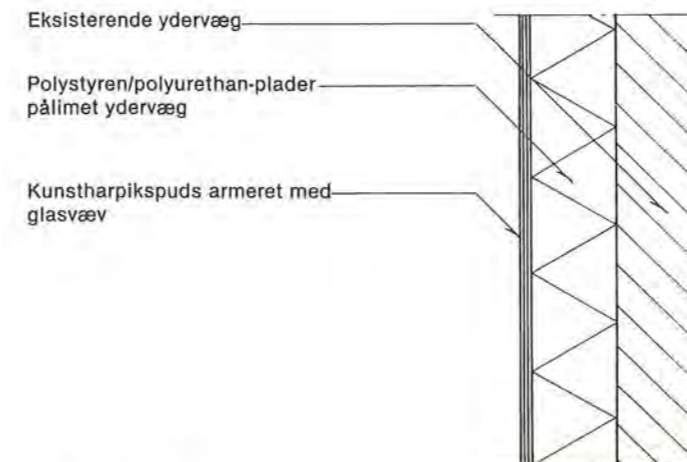
I enkelte tilfælde findes en kombination af isoleringsmateriale og en overfladebeklædning i form af præfabrikerede lette komponenter, se figur 11. Der findes dog ingen eksempler på efterisolering udført i praksis med sådanne færdige isoleringselementer, men for visse typer af ejendomme kan denne mulighed være anvendelig.

Skalmuring er en metode, der er anvendt i forbindelse med etablering af nye gavle efter nedrivning af ejendomme ved saneringsarbejder. Erfaringer fra skalmuring af hele facader på etageejendomme i Danmark foreligger ikke. Erfaringer findes fra Sverige og er gengivet i [8].

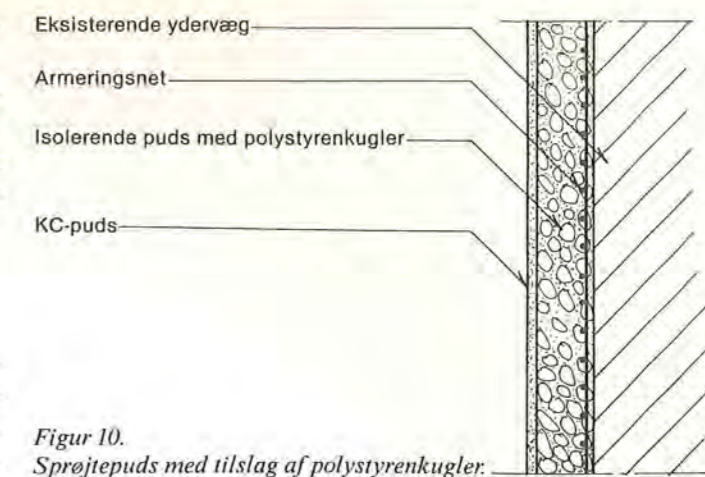
En skalmuring kræver særlige løsninger ved terræn i form af nye sokler og eventuel forstærkning af fundamenter og må antages at være noget dyrere end de øvrige metoder. I den forbindelse skal dog nævnes, at der i Sverige er typegodkendte, tekniske løsninger på skalmuring af op til 12 m høje facader med 60 mm brede specialmursten [8].



Figur 8. Hård isoleringsplade med pudsoverflade.



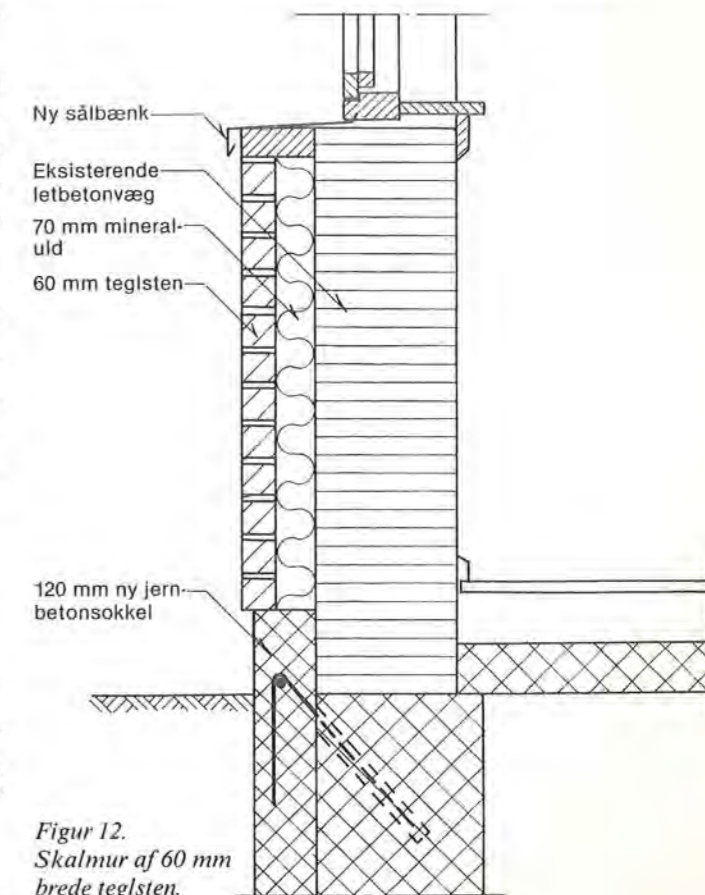
Figur 9. Hård polystyren/polyurethanplade med kunstharpikspuds.



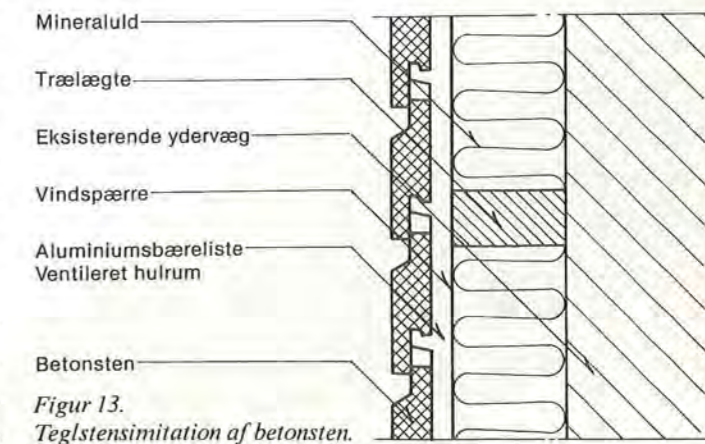
Figur 10. Sprøjtepuds med tilslag af polystyrenkugler.



Figur 11. Element af tyndpladestål med isoleringsmateriale.



Figur 12. Skalmur af 60 mm brede teglsten.



Figur 13. Teglstensimitation af betonsten.

Beskrivelse af forsøgsejendommene

Valg af forsøgsobjekt

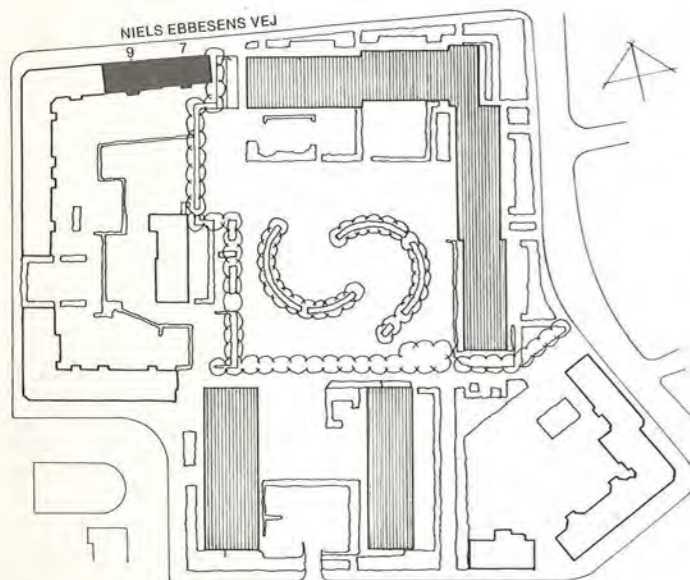
Bag valget af en egentlig byejeendom som forsøgsobjekt lå ønsket om at vurdere mulighederne for at isolere udvendigt på en arkitektonisk og miljømæssig forsvarlig måde. Niels Ebbesens Vej 7 og 9's placering i et kvarter med både gammel og ny bebyggelse var i den henseende gunstig. Lejlighederne var store og anvendelige og for nr. 9's vedkommende med centralvarme og bad. En investering i ejendommen forekom derfor rimelig. Samtidig var der muligheder for at måle energibesparelsen i nr. 9, og ved at kunne arbejde på to

naboejendomme var der mulighed for at afprøve forskellige løsninger.

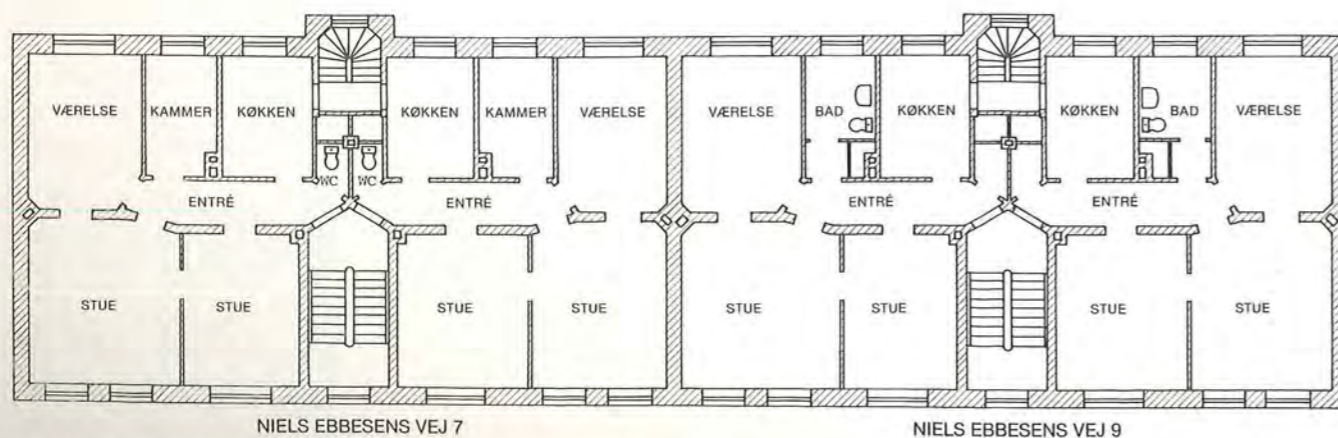
Niels Ebbesens Vej 7 og 9 er opført i slutningen af 1890'erne som to ens opgange i 5 etager med 10 lejligheder pr. opgang.

Nr. 9 er udstykket som ejerlejligheder, og der er indrettet badeværelse i det lille kammer ved køkkenet. I 1965 er der installeret centralvarme med fyrrum i kælderen.

Nr. 7 ejes af boligselskabet VIBO og indgår i saneringsplanen for Kongens Bryghus-området. Disse lejligheder opvarmes ved petroleumsbrændere i kakkelovne og er uden badeværelse.



Figur 14. Oversigtsplan.



Figur 15. Plan af de to forsøgsejendomme.

Oprindelige ydervægge

Ydervæggene består af grå-gule teglsten. I øverste etage er de 36 cm tykke, 48 cm på de to underliggende etager og 60 cm på de to nederste etager. Kælderydervæggene er af 72 cm murværk.

Vinduesbrystningerne er de fleste steder af 24 cm murværk, på første sal delvis 12 cm, alle steder forsynet med træpaneler.

Facaden mod gaden er i stueetagen profileret ved, at et skifte med mellemrum er trukket en kvart sten tilbage fra overfladen. Et muret og skiferbelagt, vandret bånd markerer overgangen mellem normaliteterne og stueetagen, der blandt andet afviger fra de overliggende etager ved at have to butiksvinduer. Et noget mindre markant vandret bånd findes i højde med sælbænkene under vinduerne i den øverste etage.



Figur 16. Foto af gadefacaden.

Vinduerne, der er ens i alle etager, er i gadefacaden indrammet af murværk, der er trukket en kvart sten frem, eller af profilerede sten. I nr. 9 er dele af facaden trukket en halv sten tilbage.

Den kraftige gesims ved tagfoden i gadefacaden er ligeledes opmuret og dekoreret med indmurede profilsten.

Tagnedløbene er placeret i nicher i væggen, dels ved gavl og dels i skellinien til naboopgangen.

Mod gården er muroverfladen helt glat og uden dekorationer, kun mod tagfoden er der opmuret en mindre gesims.

Køkkentrappen danner et fremspring i gårdfacaden på godt 60 cm. Bygningen fremtræder herved med denne periodes karakteristiske trappetårne. Tagnedløbene er anbragt på siden af trappetårnene.

Gavlen er 36 cm tyk og pudset med vandrette spor i overfladen pr. cirka 40 cm.



Figur 17. Foto af gårdfacaden.

Valg af isoleringsmetoder

Ventilerede og ikke-ventilerede konstruktioner

Da projektets væsentligste formål var at afprøve forskellige metoder, blev det tilstræbt at anvende så forskellige løsninger som muligt, dog under hensyntagen til de arkitektoniske forhold. I det omfang det drejede sig om nye og uafprøvede metoder, var det en forudsætning, at de skulle kunne udføres af anerkendte danske firmaer med tilstrækkelig teknisk ekspertise og med mulighed for yderligere at udnytte de individuelle erfaringer.

På baggrund af den beskrevne markedsundersøgelse blev det besluttet at bruge en ventileret pladebeklædning på Niels Ebbesens Vej 9 samt på gavlen (af nr. 7) og en isolering med pudsoverflade på nr. 7.

Som beklædningsplade på nr. 9's gadefacade valgtes malede eternitplader, medens der til gårdfacaden blev valgt en færdigmalet plade af glasfiberarmeret beton. Til gavlen valgtes ovnlakerede aluminiumkassetter.

Da principperne i den ventilerede konstruktion er kendt og anvendt i mange år i forbindelse med nybyggeri, blev der ikke truffet særlige aftaler med leverandørfirmaerne, og arbejdet blev tilrettelagt med henblik på en indbudt licitation blandt entreprenørfirmaer med erfaring fra beslægtede opgaver.

Forholdet var anderledes ved valget af pudsløsningen. I forbindelse med et studiebesøg i Sverige havde projektgruppen besøgt forskellige byggepladser og set eksempler

på blandt andet Serporock-systemet. Det blev besluttet at anvende Serporock-isolering på nr. 7's gadefacade, og det danske firma H + H - Scanbyg indgik en aftale om at introducere systemet i Danmark.

Det blev også aftalt, at detaljerne i projektet skulle udføres i samarbejde med teknikere fra H + H og deres samarbejdspartnere. Arbejdet skulle desuden udføres af H + H.

På nr. 7's gårdfacade var det tanken at forsøge et tilsvarende samarbejde etableret om en isoleringsmetode, der er meget anvendt i Tyskland. Her limes stive polystyren- eller polyurethanplader direkte på den rensede facade og belægges med en tynd kunstharpikspuds armeret med glasvæv. Metoden var efter de modtagne oplysninger meget billig. De brandtekniske forhold var imidlertid ikke tilstrækkeligt undersøgt. Specielt kunne det frygtes, at store flager af materialet ville falde brændende ned i tilfælde af brand.

På grundlag af en vurdering af boligministeriets brandtekniske konsulent blev løsningen definitivt opgivet, og Serporock-isoleringen blev valgt også til gårdfacaden. Herved blev det i øvrigt også muligt at udføre forsøg med to forskellige former for tilslutning imellem vægisolering og vinduer for Serporock-systemet.

Økonomisk isoleringstykkelse

De konstruktive forhold satte visse grænser for isoleringsmaterialets tykkelse. Hvad Serporock-systemet angår var

der kun erfaringer med tykkelser på cirka 100-120 mm. Ingen af de implicerede parter ønskede i dette projekt at eksperimentere med større isoleringstykkelser, og det blev derfor besluttet at isolere med 100 mm mineraluld.

For den ventilerede konstruktions vedkommende vil større isoleringstykkelser end de anvendte lægters dimension medføre et eller flere ekstra krydsende lag af lægter med heraf følgende praktiske problemer. Store konstruktionsstykkelser ville også gøre lysforholdene ved de eksisterende vinduer problematiske. For de ventilerede facaders vedkommende valgtes også en isoleringstykkelse på 100 mm, hvorved den samlede konstruktionstykkelse blev cirka 140 mm. Større isoleringslag ville have givet problemer ved overgangen til Serporock-facaden, hvor konstruktionstykkelsen var 120 mm.

I det følgende er der gennemført en simplificeret beregning af den mest økonomiske isoleringstykkelse for de to konstruktioner.

Vægisolering mm	Håndværker- udgift inkl. moms. kr./m ² *)	Årlige energi- besparelser kr./m ²	Tilbage- betalingstid år
50	390	13,5	29
100	410	17,0	24
150**)	430	18,5	23
200**)	450	19,0	24

*) Gårdfacaden uden Glaton-indfatninger.

***) Ikke gennemprøvet.

Tabel 1. Økonomisk isoleringstykkelse for Serporock-systemet. Kr. pr. 01.10.78.

Vægisolering mm	Håndværker- udgift inkl. moms kr./m ² *)	Årlige energi- besparelser kr./m ²	Tilbage- betalingstid år
50	675	13,5	50
100	700	17,0	42
150	750	18,5	41
200**)	900	19,0	47

*) Gårdfacaden uden udvendige lysningspaneler.

***) Dobbelt lægtesystem. Håndværkerudgiften fastsat med nogen usikkerhed.

Tabel 2. Økonomisk isoleringstykkelse for ventileret facadebeklædning. Kr. pr. 01.10.78.

I skemaerne er anført sammenhørende værdier af energibesparelse og håndværkerudgifter for forskellige isoleringstykkelser samt tilbagebetalingstiden. Energiprisen sættes til 0,25 kr./kWh og væggenes oprindelige k-værdi til 1,3 W/m² °C. Den årlige varmeudgift pr. m² uisoleret væg bliver altså

$$1,3 \cdot \frac{2830 \cdot 24}{1000} \cdot 0,25 = 22,1 \text{ kr./m}^2$$

Beregningerne viser intet præcist minimum for Serporock-systemet. Den begrænsede stigning i håndværkerud-

giften ved øgede tykkelser skyldes, at arbejdslønandelen kan regnes praktisk taget konstant. Ud fra forventningen om fremtidige stigninger i energiprisen bør tykkelsen vælges så stor som mulig under hensyntagen til de førnævnte forhold.

For den ventilerede facades vedkommende ses det, at tilbagebetalingstiden stiger, så snart et dobbelt lægtesystem er nødvendigt. Beregningen viser hermed, at isoleringstykkelsen bør vælges så stor, som et enkelt lag lægter tillader det.



Figur 18. Detailfotos af gadefacaden.



Gavlisolering med aluminiumkassetter

Hoveddispositioner

Som pladebeklædning til den ventilerede konstruktion på gavlen valgtes aluminiumkassetter ÅSV fra NORDISK ALUMINIUM, type Glattpanel. Kassetterne er ovnlakerede i en mørk grøn farve, og der hører standardbæreprofiler med til systemet. Beklædningens vandrette fuger genskaber det vandrette mønster fra den oprindeligt pudsede gavl.

Det valgtes at begrænse isoleringen til den overflade, der vender direkte ind mod de opvarmede rum, da ekstraarbejderne ved tilslutning til tag ville blive unødvendigt store i forhold til de isoleringsmæssige fordele.

Den øverste del af gavlen mod det kolde tagrum samt den nederste del mod kælderen blev repareret og malet. De kuldebroer, der uundgåeligt vil opstå mellem gavl og etageadskillelse mod loft og kælder ved isoleringen fremgår af figur 21. Det blev ikke anset for nødvendigt at træffe særlige foranstaltninger for at formindske kuldebroerne.

Detaljer

Alt træværk var trykimprægneret i henhold til DS 2122. De lodrette lægter pr. 60 cm blev fastgjort med varmforzinkede 12 mm bolte i murankre af messing (se figur 22).

Mineraluldisoleringen, kvalitet A, blev passet stramt til mellem lægterne og fastholdt af 6 mm Internitplader, der anvendtes som vindspærre.

Diffusionsåbent pap kan overvejes som alternativ til Internitpladen, dog må risikoen for brandspredning i luftspalten i så tilfælde vurderes.

Til sammenligning kan det anføres, at lignende hulrum i ventilerede, ikke-bærende ydervægge i nybygninger ikke må passere etageadskillelserne med mindre isolering, trælægter og lignende er afdækket med en klasse 1 beklædning, f.eks. 6 mm Internit (BR-77, kap. 6.9.2, stk. 5).

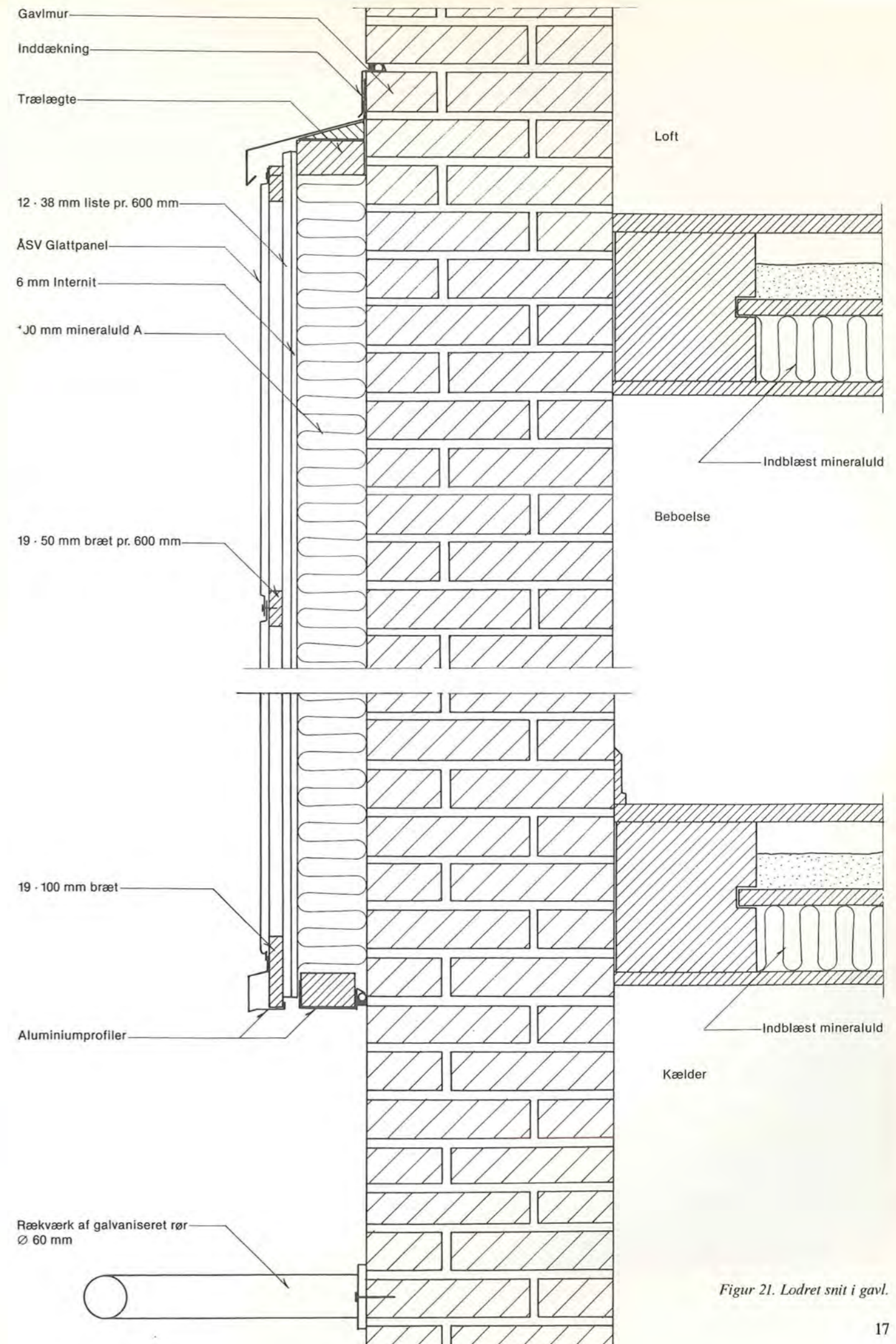
Efter at afstandslisterne var anbragt fastsømmedes vandrette 19 x 50 mm brædder pr. 60 cm med 2 stk. kamsøm



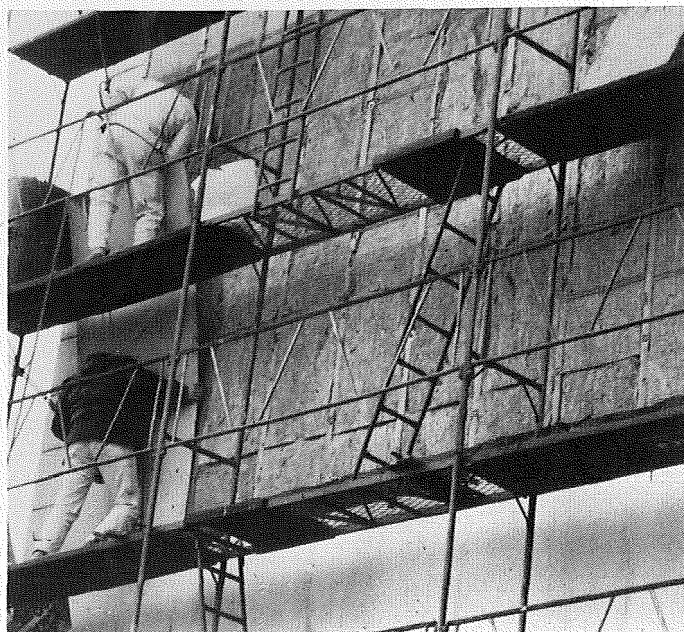
Figur 19. Foto af gavl før isoleringsarbejdet.



Figur 20. Foto af gavl efter isoleringsarbejdet.



Figur 21. Lodret snit i gavl.



Figur 22. Vindspærre monteres.



Figur 23. Vandrette brædder pr. 60 cm sømnes i afstandslisterne. Heri fastgøres aluminiumkassetterne med specialskruer.

40/80 til de lodrette lægter. Aluminiumkassetterne blev fastgjort til disse brædder, som derfor må kunne overføre vindpåvirkningerne til lægterne. Til fastgørelse af kassetterne blev anvendt specialskruer fra leverandøren.

Afslutningsdetaljerne fremgår af figur 21. Det bemærkes, at der blev opsat et rækværk af 2" damprør ved isoleringens nederste kant for at beskytte aluminiumpladerne og forhindre forbipasserende i at støde imod konstruktionens udragende kant. Når et nybyggeri på nabogrunden er færdigt, vil der kun være en cirka 1,2 m bred passage.

Praktiske erfaringer

Arbejdet forløb uden særlige problemer. Inden starten måtte tagnedløbet, der var anbragt i en niche i gavlhjørnet mod gaden, flyttes, og nichen udmuredes med letbeton. Desuden måtte den eksisterende port, der lukkede gården mod gaden, fjernes og gårdbelysningen på gavlen nedtages.

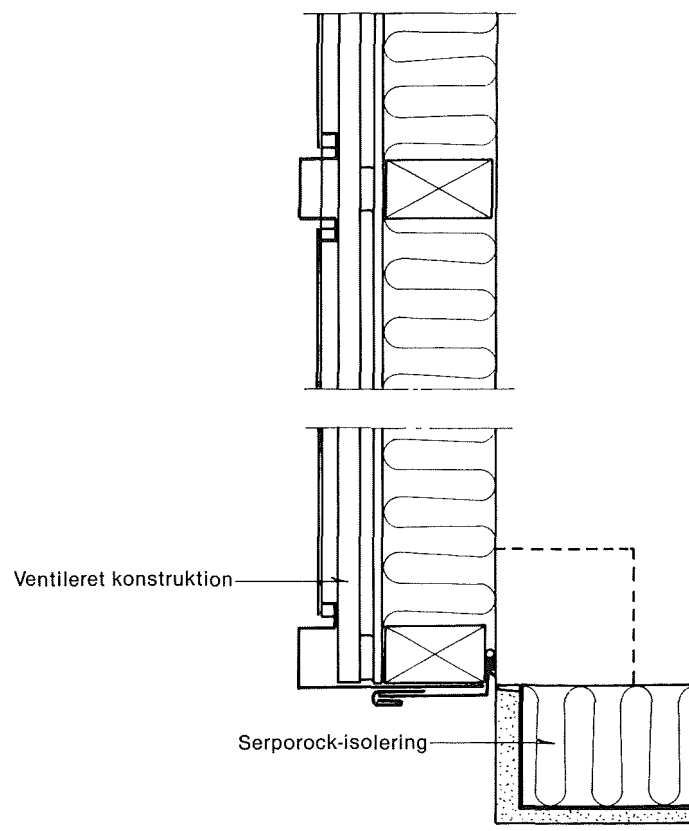
Stilladset, der blev rejst cirka 30 cm fra gavlen, blev i første omgang fastgjort direkte i murværket, men fastgørelsen måtte flyttes til trælægterne efterhånden som konstruktionen blev opbygget, hvilket dog foregik problemfrit.

Derimod forsinkede en fejlløsløsning af inddækningsprofilerne arbejds afslutning og medførte en mindre projektændring.

Den på figur 24 angivne samling i gavlhjørnet mellem Serporock-isoleringen og aluminiumkassetterne viste sig at give anledning til problemer på grund af ujævnheder i muren og unøjagtigheder ved gavlbeklædningens montering.

En tilpasning af denne detalje, så unøjagtigheder bedre optages, bør overvejes ved fremtidige lignende projekter.

Under nedtagningen af stilladset blev et par af pladerne lettere beskadiget, da der ikke blev taget tilstrækkeligt hensyn til beklædningen.



Figur 24. Vandret snit i gavlhjørne.

Facadeisolering med armeret puds

Serporock-systemet

Det valgte system til isolering af facaderne på Niels Ebbensens Vej 7 har været anvendt i Sverige gennem nogle år med tilsyneladende gode resultater.

Fastgørelsen af isoleringen og den armerede puds foregår ved hjælp af et patenteret forankringselement af rustfrit stål, se figur 25. Elementet fastgøres til murværket med f.eks. Fischer dyvler og skruer i et antal af cirka 4 stk. pr. m².

Forankringselementet holdes i vandret stilling, så de hårde mineraluldplader kan trykkes ind over det og fastholdes midlertidigt indtil armeringsnettet af varmforsinket strækmetal er monteret og fastlåst med låsepinde, se figur 26. Samtidig med armeringsarbejdet løsnes forankringselementet fra sin vandrette position, og det vil i den færdige isolering fungere som et hængsel, der frit tillader lodrette bevægelser af pudslaget. Princippet svarer til det, der anvendes ved ophængning af forstøbning i betonsandwich-elementer.

Pudsen påføres i tre omgange. Først en grundingspuds ca. 15 kg/m² og dernæst en let specialpuds i cirka 10 mm tykkelse. Endelig et afsluttende tyndt lag, der giver overfladen en grov struktur. Til de to sidste arbejdsoperationer anvendes gennemfarvet puds. I øvrigt henvises til nogle svenske publikationer [9] og [10], hvor de byggetekniske problemer ved puds på tillægsisolering er behandlet.

Hoveddispositioner

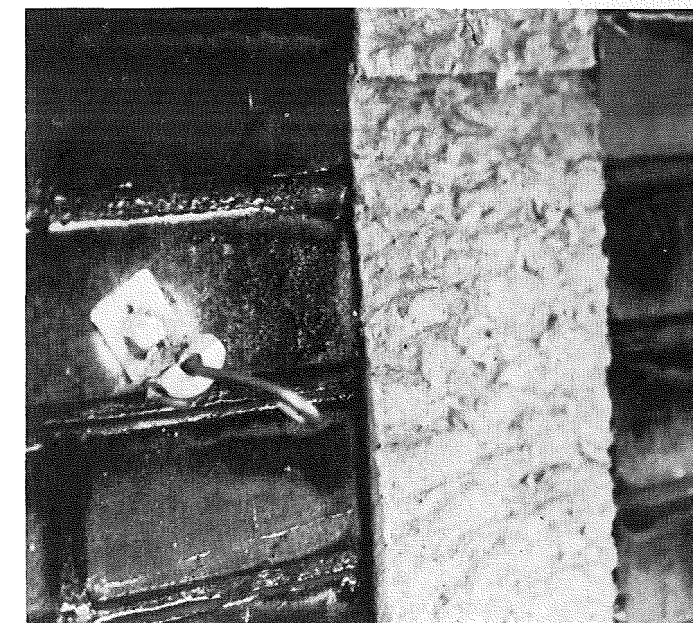
Gadefacadens udsmykning med murede, profilerede indramninger af vinduerne og en markant gesims over stueetagen medførte ønsket om en lignende udformning af den nye facade. Da det samtidig blev besluttet at bevare de eksisterende vinduer, måtte facaden tilpasses vinduernes dybere placering.

På grundlag heraf opstod ideen om at anvende vinduesindfatninger af glasfiberarmerede betonelementer og tilsvarende elementer til det kraftige vandrette bånd mellem stueetagen og første sal. Indfatningerne blev profileret med henblik på at opnå så stort et lysindfald i lejlighederne som muligt. Løsningen medførte samtidig, at isoleringsarbejdet omkring vinduesfalsene blev væsentligt forenklet.

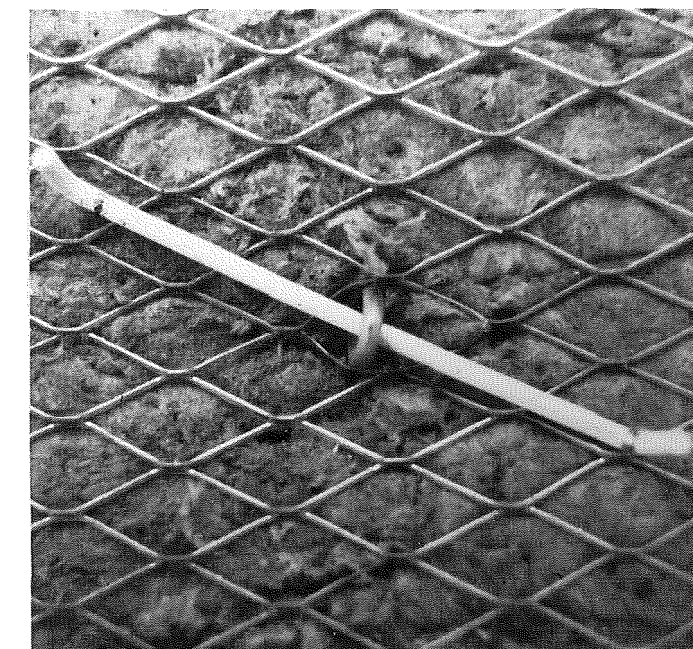
Isoleringen afsluttedes mod undersiden af taggesimsen, der på denne måde ville blive bibeholdt i den nye facade, se figur 58.

Gårdfacadens meget enkle og plane udformning blev bevaret videreført i Serporock-beklædningen.

Da vinduerne her var i så dårlig stand, at en udskiftning var nødvendig, kunne de nye vinduer anbringes cirka 3-4 cm tilbage fra den færdige overflade. Den normale Serporock-løsning, hvor sprøjtepudsen føres ind i vinduesfalsene til karmen kunne så i princippet anvendes her.



Figur 25. Forankringselement.



Figur 26. Låsepind monteret.



Figur 27. Grundingspudsen påføres.



Figur 28. Grundingspudsen jævnes med bræt og murske.



Figur 29. Den færdige overflade fremstår med en grov struktur.

Afslutningen af isoleringen mod taggesimsen gav en del problemer, da vinduerne sad ganske tæt under gesimsen, se figur 29.

Serporock-isoleringen kunne derfor ikke føres hen over vinduerne. I stedet er den nye facade afsluttet som vist på figur 31 med en Eternitplade.

Desuden blev det besluttet at udføre en isoleret betonsokkel cirka 1,5 m høj. Denne beslutning skyldtes ønsket om at få den samme løsning som ved naboejendommen nr. 9. Her var soklen nødvendig, fordi facaden blev udført med en pladebeklædning, der ikke var robust nok til at modstå de forventede mekaniske påvirkninger.

Efter en del overvejelser blev det valgt ikke at isolere det fremspringende trappetårn. Afgørende for denne disposition var, at isoleringen ville blive kompliceret at udføre og dyr, og at energibesparelsen ville være lille i forhold hertil.

Normalt opdeles Serporock-isolerede facader i felter på højst 15 x 15 m med dilatationsfuger for at undgå revner. Gadefacaden opdelt vandret af et kraftigt bånd, og fladen ovenover båndet på cirka 12 x 17 m blev udført uden fuger. På gårdfacaden udførtes en vandret fuge i flugt med vinduesundersiden på 3. sal. Fugen blev skåret med carbordumskive før sidste lag puds og er i princippet åben.

I stueetagen mod gaden blev pudsen armeret med to net, og der blev anvendt en stærkere mørtel for at få en overflade med tilstrækkelig styrke til at modstå stød og slag fra blandt andet cykler og knallerter.

Farve og struktur

Det gennemfarvede Serporock-puds leveres i henved 50 standardnuancer. Til stueetagen valgtes to nuancer af mørkegråt og til den øvrige facade mod gaden samt gårdfacaden valgtes en rødbrun farve.

Overfladen udføres kun med en grov struktur (stænkpuds), hvorved eventuelle hårfine revner og ridser sløres. En glat overflade svarende til normalt glatpudsede facader ønskes



Figur 30. Den færdigisolerede gadefacade.

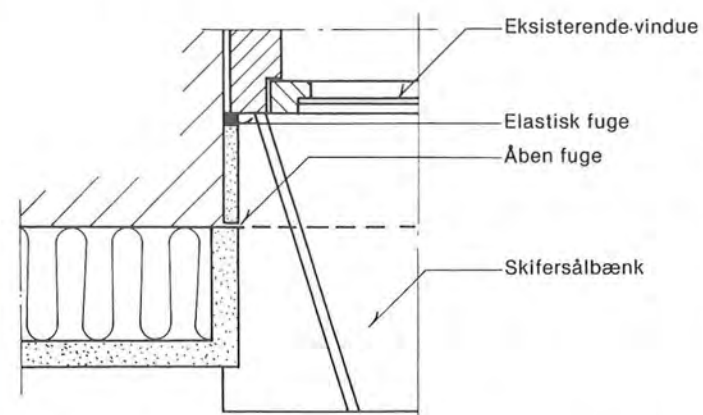


Figur 31. Gårdfacadens trappetårn er uisolert og forned er støbt en 1,5 m høj betonsokkel.

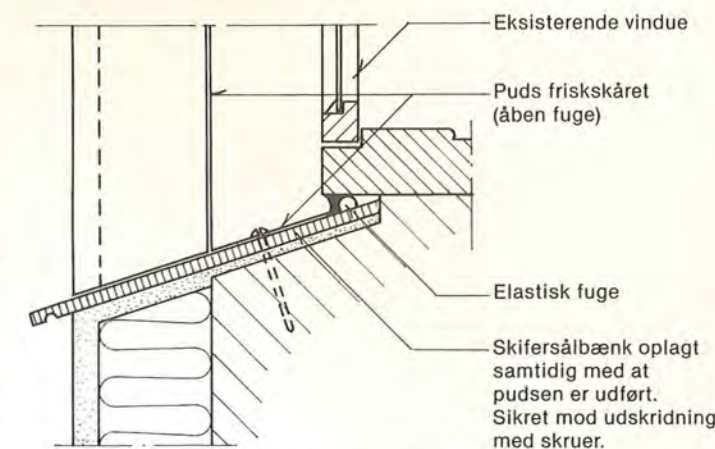
skede firmaet ikke at udføre, da der ikke havde været erfaringer hermed. Man havde kun brugt glat puds til indramning af døre og vinduer i facader med grov struktur, og der blev næret frygt for et dårligt resultat. Det blev derfor aftalt, at strukturen skulle være så fin som mulig, og i stueetagen mod gaden blev overfladen udjævnet ved at trykke et pudsebræt mod det sidste pudslag, inden det var afbundet.

Detaljer

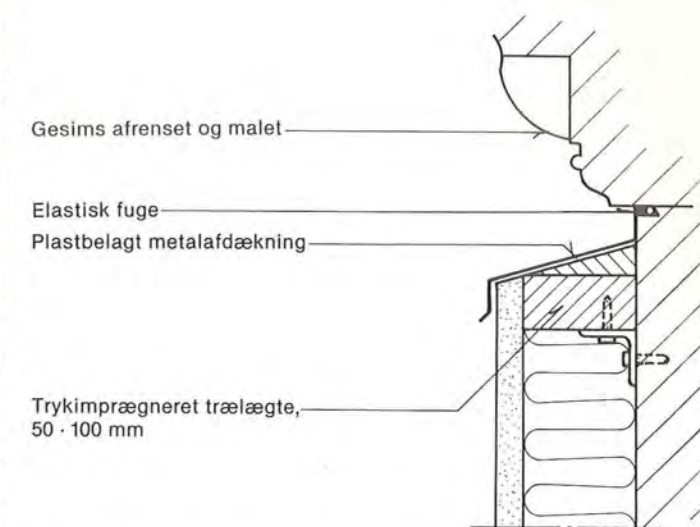
På figur 32-36 er vist en række af de forekommende detaljeløsninger omkring vinduer, ved terræn (sokkel) og ved overgangen til naboejendommens facadeisolering mod gaden.



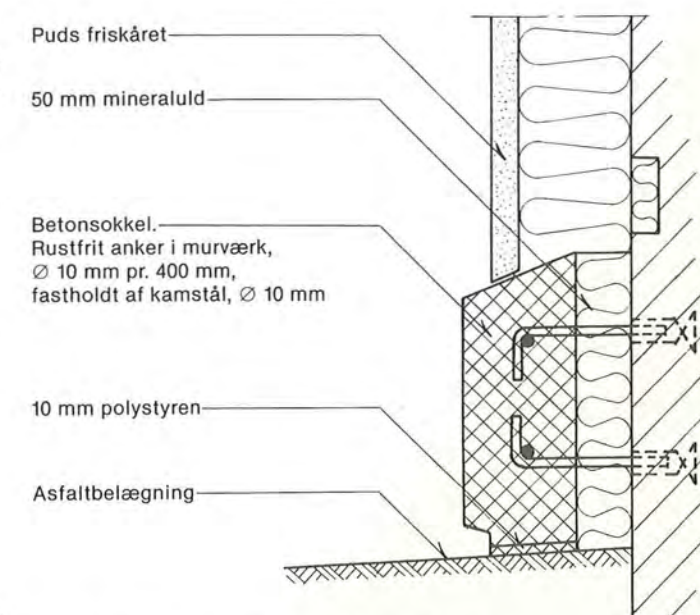
Figur 32. Vandret snit ved vindue med pudset fals, stueetage mod gade.



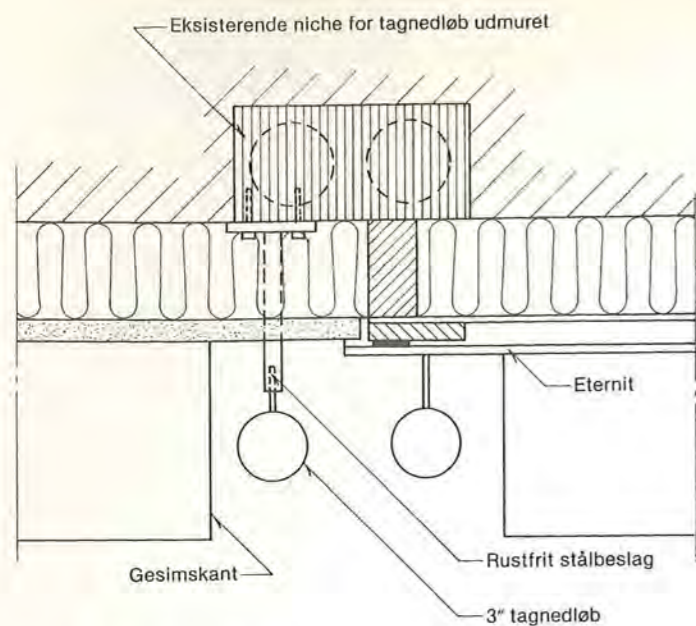
Figur 33. Lodret snit i vinduesunderside, stueetage mod gade.



Figur 34. Lodret snit i taggesims, gadefacade.

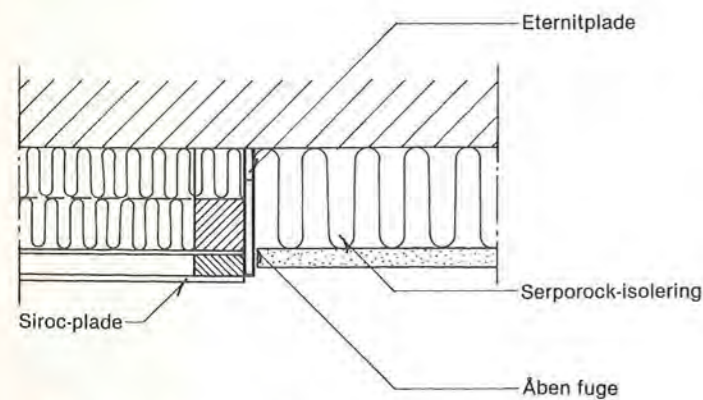


Figur 35. Lodret snit i betonsokkel ved fortov.

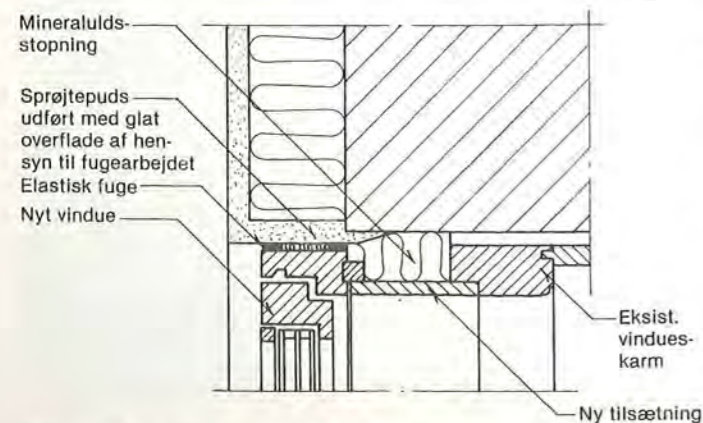


Figur 36. Vandret snit ved nabohus, gadefacade.

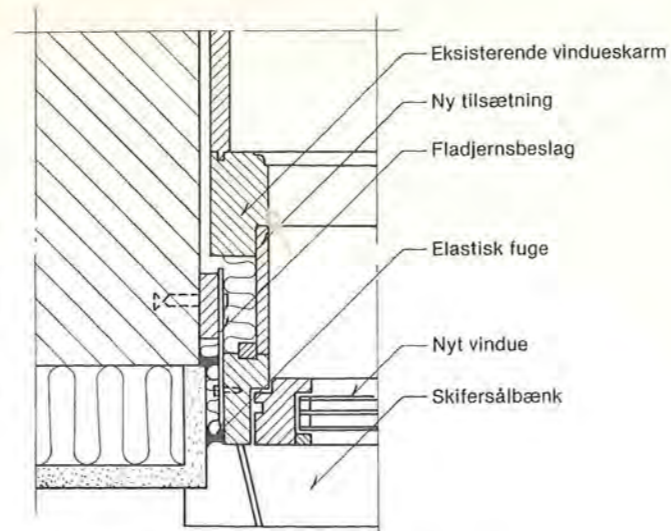
Figur 37 viser samlingen mellem den ventilerede beklædning og Serporock-isoleringen mod gården, og figur 38, 39 og 40 viser løsninger omkring de nye vinduer i gårdfacaden.



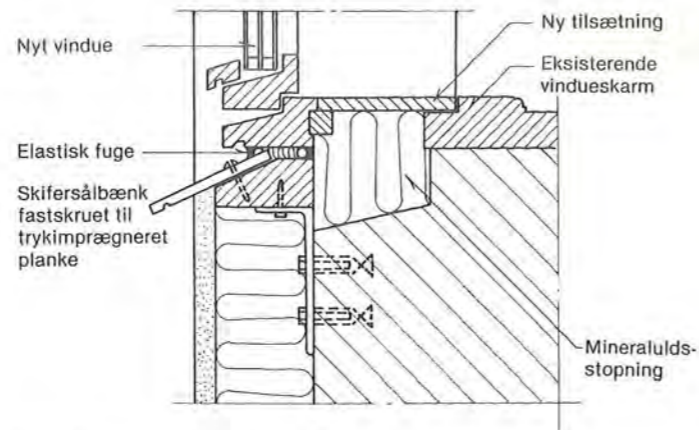
Figur 37. Vandret snit ved nabohus, gårdfacade.



Figur 38. Lodret snit i vindue, gårdfacade.



Figur 39. Vandret snit i vindue, gårdfacade.



Figur 40. Lodret snit i vindue, gårdfacade.

Elementer af glasfiberarmeret beton (Glaton)

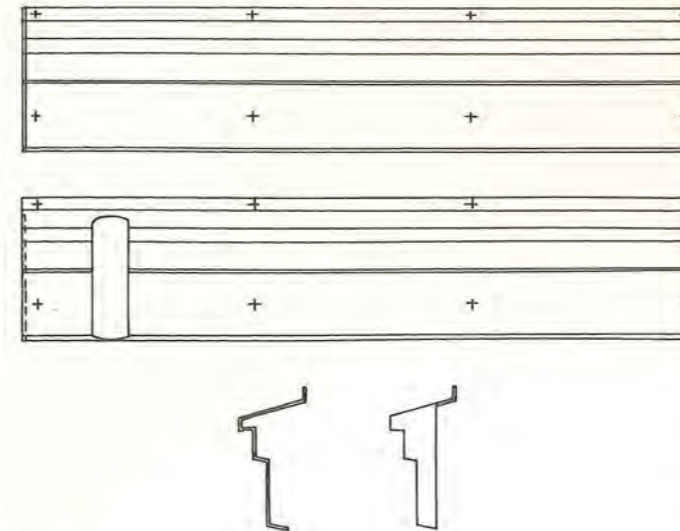
Til lysningselementer og gesimselementer på gadefacaden anvendtes glasfiberarmeret beton med produktbetegnelsen Glaton.

Materialet forener glasfiberens trækstyrke med betonens trykstyrke og er særdeles vejrbestandig. Elementerne blev produceret efter sprøjtemetoden, hvor glasfibre og cementmørtel blandes ud for munden af en sprøjtepistol. Materialet blev sprøjtet direkte mod de specielt fremstillede forme i en tykkelse af cirka 10 mm.

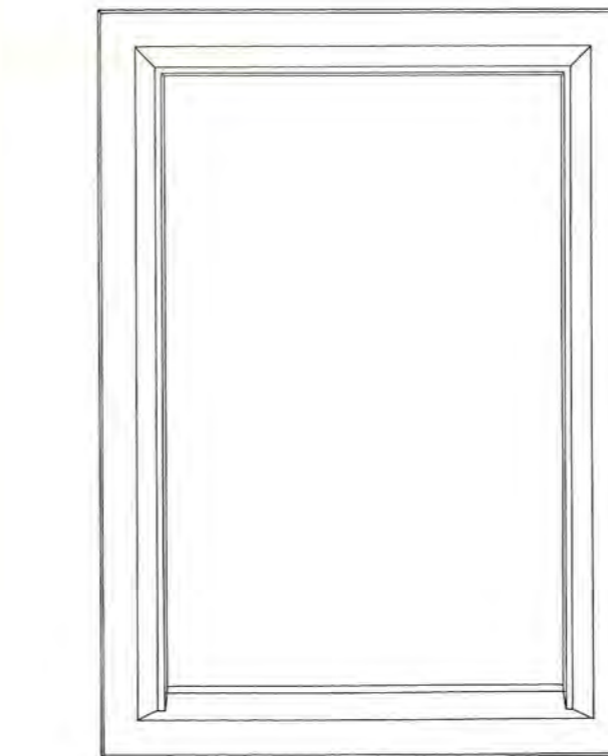
Gesimselementerne blev fremstillet som vist i figur 41. Montagen fremgår af figur 45. De lodrette fuger mellem elementerne blev udfuget med elastisk fugemasse. Da det ikke har nogen betydning, om der opnås fuldstændig tæthed mod slagregn, anvendtes en et-trinsfuge i form af en elastisk fuge i stedet for en to-trinstætning.

Under vinduerne på første sal lå muren tilbagetrukket 12 cm. Inden opsætningen af bærelægter for gesimselementerne blev disse flader udmuret med letbetonsten og isoleret som vist i figur 45.

Gesimselementerne er benyttet på begge ejendommers gadefacade.



Figur 41. Gesimselement.

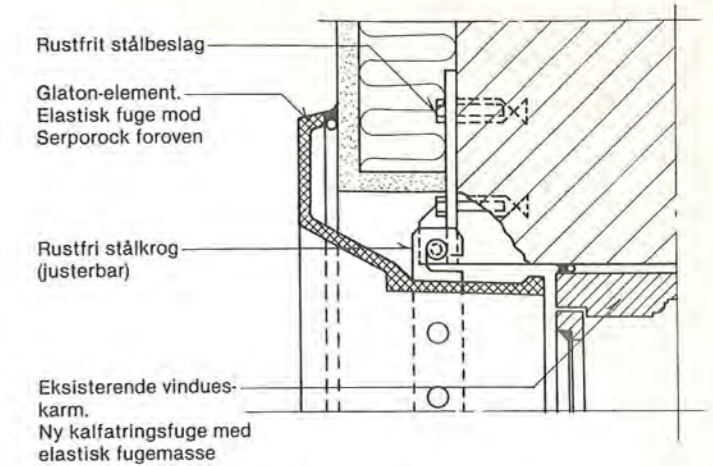


Figur 42. Lysningselement.

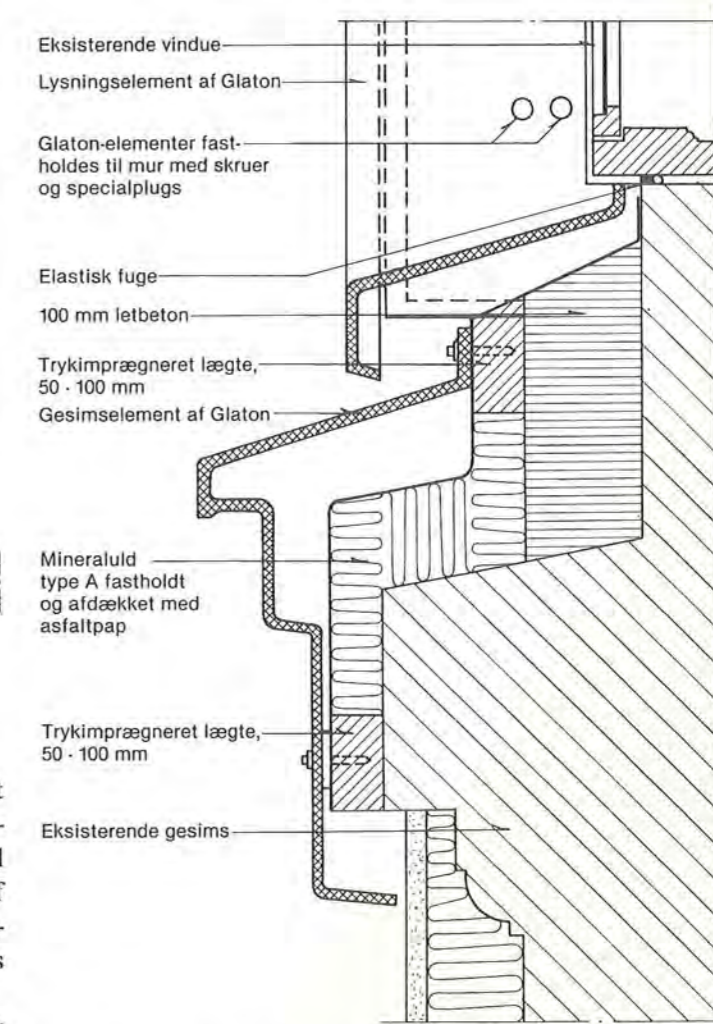
Lysningselementer blev fremstillet i to typer, hvoraf det største vejede cirka 90 kg. I modsætning til gesimselementerne, der blev fastskruet direkte til trælægter fastgjort til muren, blev der udviklet et specielt ophængningsbeslag af rustfrit stål til lysningselementerne. Ved montagen ophængtes elementerne i beslaget og de kunne dernæst finindstilles ved justering af beslagene.

Lysningerne fastholdes i den ønskede position af skruer og murankre i murværket, som vist i figur 44 og 48.

Figur 43. Ophængningsbeslag af rustfrit stål.

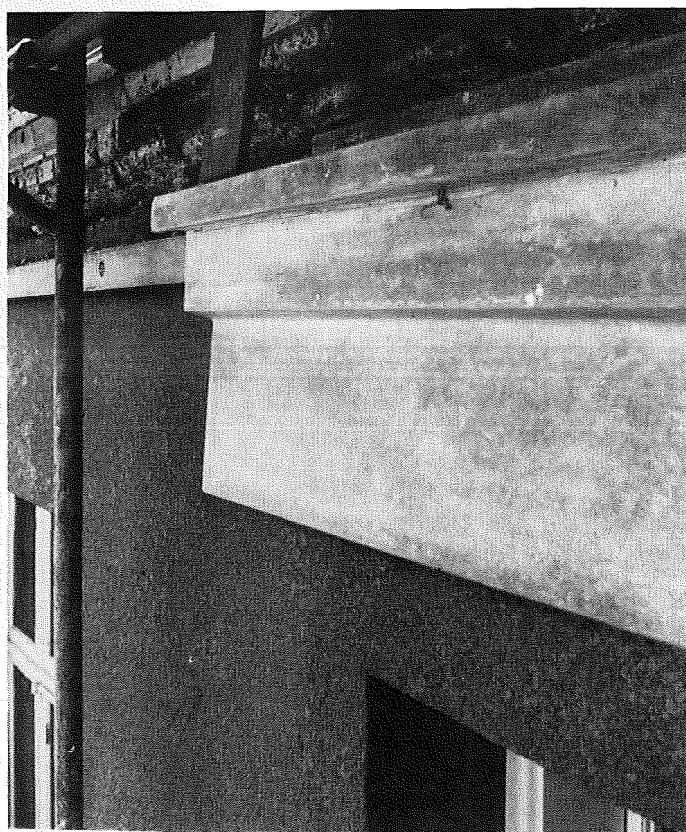


Figur 44. Lodret snit i vinduesoverside.



Figur 45. Samling mellem gesims- og lysningselement.

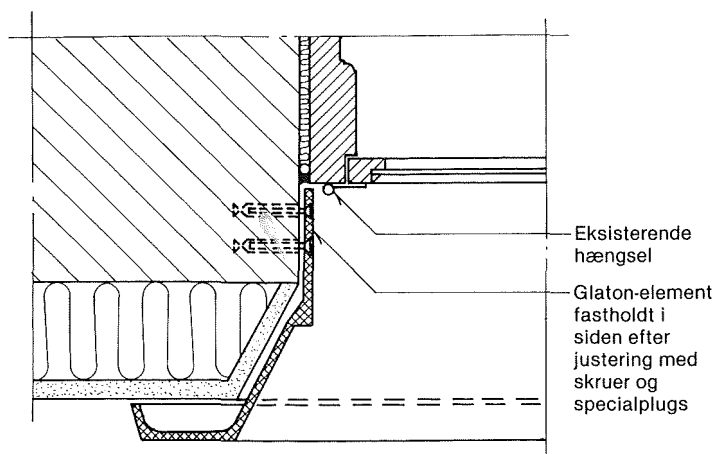
Hulrummet bag Glaton-elementerne er ventileret, og lysningselementernes overside er udformet således, at eventuelt indtrængende vand vil blive ført ud til siderne, se figur 44. Herfra vil det løbe ned på den papafdækkede mur og bort uden at fugtbelaste vinduer eller murværk. For at formidske vandbelastningen blev det dog besluttet at udfuge foroven med elastisk fugemasse.



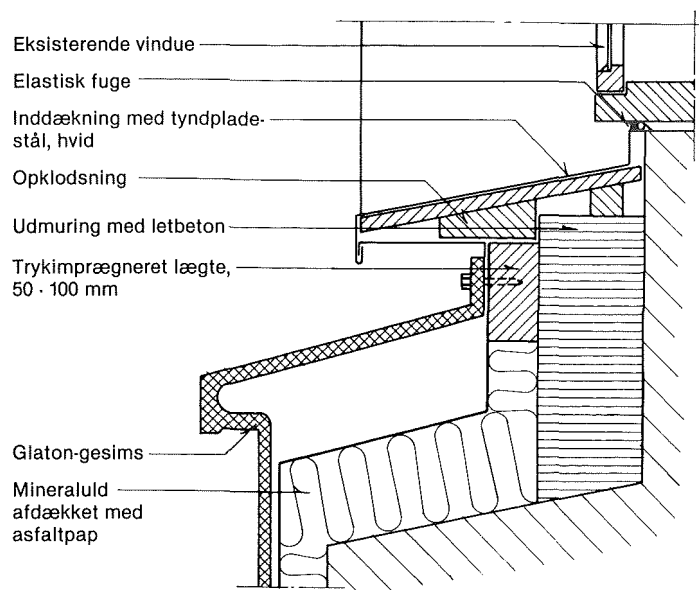
Figur 46. Gesimselement under montage.



Figur 47. Fastgørelse af lysningselement.



Figur 48. Vandret snit i lysningselement.



Figur 49. Samling mellem gesimselement og sålbænk, gadefacade nr. 9.



Figur 50. Hjørne af lysningselement, som samtidig danner vinduesindfatning.

Praktiske erfaringer

Som tidligere nævnt blev isoleringsarbejdet udført af svenske specialarbejdere, og der blev derfor truffet aftale om, at alle klargøringsarbejder på facaden, opstilling af stillads, støbning af sokler m.v., skulle udføres under en særlig murerentreprenør. Disse arbejder og den samlede arbejdsplan er beskrevet i et efterfølgende afsnit.

Inden isoleringens start blev klargjort facade og stillads gennemgået og godkendt af H + H, der hermed overtog det fulde ansvar for den færdige facadeisolering.

På grund af det strenge vintervejr blev stilladset inddækket med gennemsigtige presenninger, og facaden blev holdt frostfri ved hjælp af varmekanoner.

Arbejdsprocesserne forløb planmæssigt og problemfrit. En enkelt misforståelse af en detailtegning medførte mindre tilhugningsarbejder omkring nogle af gadefacadens vinduer. Gårdfacadens nye vinduer blev monteret som vist på figur 39 helt fremme i vindueshullerne. Nogle steder var hullerne for små på grund af ujævnheder i Serporock-pudsen og måtte eftergås med en plansliber, men begge efterhjulningsarbejder var af begrænset omfang.

Montagen af lysningselementerne voldte en del problemer til trods for, at der var udført et prøveelement på fabrikken, så blandt andet de udviklede beslag kunne afprøves.

Hovedårsagen til vanskelighederne var de knebne tolerancer.

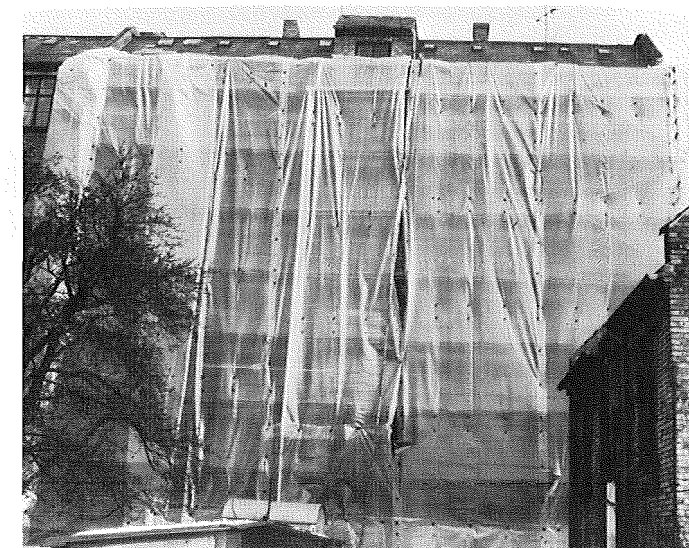
Som det fremgår af det vandrette snit figur 48, måtte Glaton-elementets side monteres tæt på murfalsen for at vinduesrammerne stadig kan åbnes og eventuelt afmonteres. Da godstykkelsen på Glaton-elementerne var en del større end forudsat, måtte vindueshullerne gøres større ved tilhugning af murværket. Tilhugningen måtte foretages individuelt samtidig med montagen, der således blev meget mere kompliceret end forudsat.

Lysningselementerne var noget højere end etagehøjden på stilladset, og da dette desuden var forankret til vindueskarmene, blev det besluttet at starte montagen foroven, samtidig med at stilladset blev demonteret.

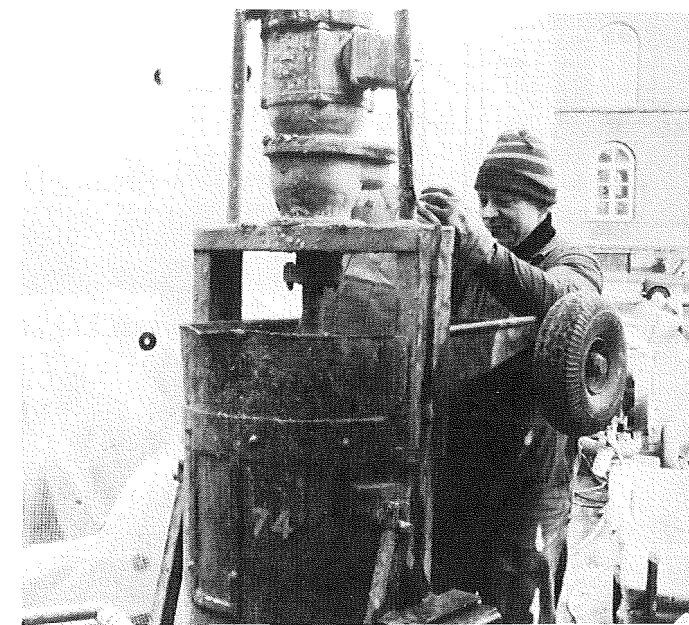
Gesimselementernes montage var enklere og forløb som forudsat, men udjævning af tolerancerne gav vanskeligheder med den vandrette flugt.

Under oplagringen af elementerne blev et hjørne af et lysningselement beskadiget, men en reparation af hjørnet blev accepteret.

Godt et år efter færdiggørelsen fremtræder den pudsede facade uden synlige revner eller andre skader. En vandret revne i »murfællerne« på gadefacaden blev konstateret et stykke tid efter at pudsearbejdet var afsluttet, men revnen er ikke synlig fra gaden, og der blev ikke truffet foranstaltninger til at udbedre den. En dilatationsfuge i lighed med den, som udførtes på gårdfacaden, ville formentlig have forhindret revnen i at opstå.



Figur 51. Under afbindingen blev pudsen holdt frostfri ved hjælp af presenninger og varmekanoner.



Figur 52. Det til pudningen nødvendige materiel krævede kun ringe plads.



Figur 53. Tilhugning af murhul for montage af lysningselement.



Figur 54. Lysningselementer af Glaton oplagt på stillads, klar til ophængning.



Figur 55. Færdig isoleret facade mod Niels Ebbesens Vej.

Facadeisolering med plane plader

Hoveddispositioner

De to ejendomme fremtrådte i deres oprindelige udseende som to ens bygninger, og det var et ønske, at de to huse efter isolering med beklædning af forskellige materialer fremtrådte med klare fælles træk i en harmonisk helhed.

Til gadefacaden på Niels Ebbesens Vej 9 valgtes som pladebeklædning 10 mm Eternitplade, der blev malet i en lys farve. Men stueetagen med det kraftige vandrette bånd udførtes som ved nr. 7 med Serporock-isolering og gesimselementer af Glaton. Pladebeklædningen blev ligeledes stoppet ved taggesimsen, der blev renset og malet, som ved nr. 7.

Vinduerne blev også her bevaret, og der blev udført vindueslysninger af vandfast krydsfiner beklædt med hvid, plastbelagt stålplade, så lysindfaldet kunne blive så stort som muligt. Der blev ikke udført vinduesindfatninger.

Som pladebeklædning på gårdfacaden af nr. 9 valgtes 6 mm Siroc-plade fremstillet af glasfiberarmeret beton. På



Figur 56. Vindueslysninger mod gaden beklædt med hvid plastbelagt stålplade.



Figur 57. Siroc-facadebeklædning mod gården.

denne facade blev vinduerne udskiftet, og de nye blev monteret næsten helt fremme i den nye facadeoverflades plan som ved nr. 7's facade. Isoleringen blev stoppet ved taggesimsen, og forinden blev det besluttet at udføre en isoleret, 1,5 m høj betonsokkel, da de anvendte beklædningsplader ikke var robuste nok til at modstå forventede stød og slag. Pladerne, der kunne fås færdigmalede fra fabrik i flere farver, valgtes i en lys grå farve.

Også på denne gårdfacade blev det valgt at undlade en beklædning af trappetårnet, der ligesom ved nr. 7 blev berappet.

Detaljer

Eternitfacaden blev udført med 50 × 100 mm trykimprægnerede lægter pr. 60 cm fastgjort til muren med vinkelbeslag, 12 mm bolte og murankre af messing. Ligesom ved gavlbeklædningen anvendtes stramt tilpassede mineraluldstykker kvalitet A, der blev afdækket med en 6 mm Internit-plade som vindspærre.

Det ventilerede hulrum blev etableret ved hjælp af den viste 19 × 50 mm træliste, se figur 58-61.

På figurerne ses, hvordan lysningspanelerne af 12 mm vandfast krydsfiner monteres. Hulrummet bag panelet er ventileret af hensyn til eventuel indtrængende fugt. Efter at finerpladerne var opsat, blev de beklædt med tyndpladestål med hvid plastbelægning. Inddækningerne mod facadebeklædningen blev fastskruet til trælægterne gennem Internit-pladen.

Foroven under taggesimsen blev der udført en afslutning som vist på figur 58 med en inddækning af tyndpladestål som anvendt omkring vinduerne.

Detaljen ved tilslutningen til gesimselementerne over stueetagen fremgår af figur 49 forrige afsnit.

Siroc-facadens lægteskelet blev opbygget af to lag 50 × 50 mm krydsende lægter og to lag 50 mm mineraluld, kvalitet A. Årsagen hertil var, at de 6 mm tykke glasfiberarmerede betonplader skulle understøttes pr. 40 cm, hvorved kuldebroernes omfang ville blive relativt stort, såfremt der anvendtes ét lag 50 × 100 mm lægter. Også forbruget af træ blev formindsket herved, da det første lag lægter blev anbragt med 60 cm afstand svarende til isoleringsmaterialets dimension.

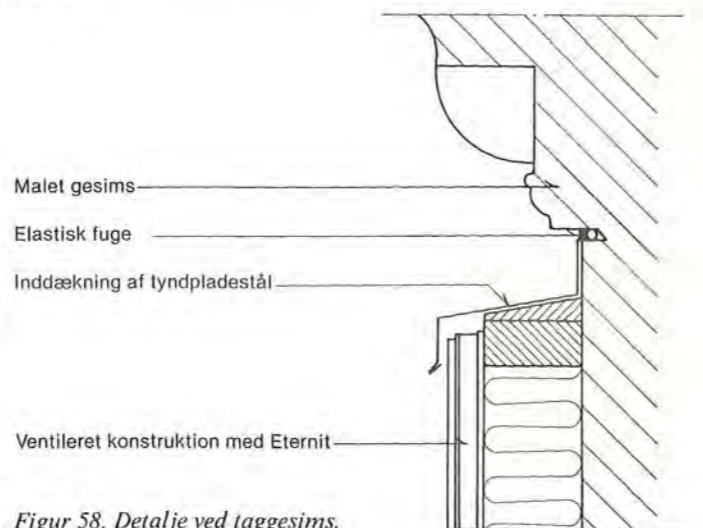
Arbejdets udførelse blev noget kompliceret af det dob-

belte lag lægter, men dette var ikke særlig væsentligt i forhold til arbejdet med tilpasning af lægterne til de mange vinduer.

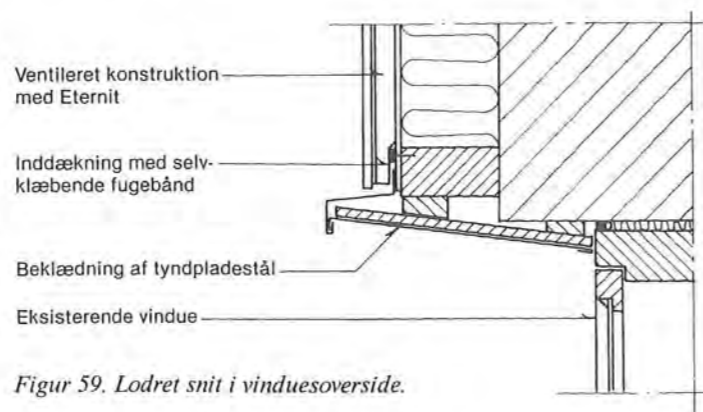
Der udførtes en armeret 100 mm jernbetonsokkel i en højde af 1,5 m oven på 50 mm isolering. Soklen blev op-hængt på facaden i rustfri stålstritter, se figur 65, og afsluttet mod asfaltbelægningen i gården med en 10 mm polystyrenstrimmel.

Detaljerne omkring de nye vinduer ses af figurerne 63, 64 og 66.

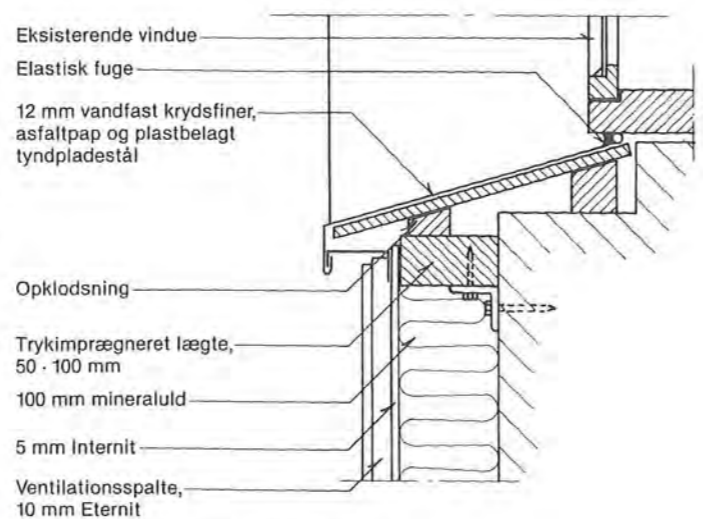
Sålbænk og inddækninger mod facadebeklædningen valgtes af samme materiale som ved Eternitfacaden mod gaden.



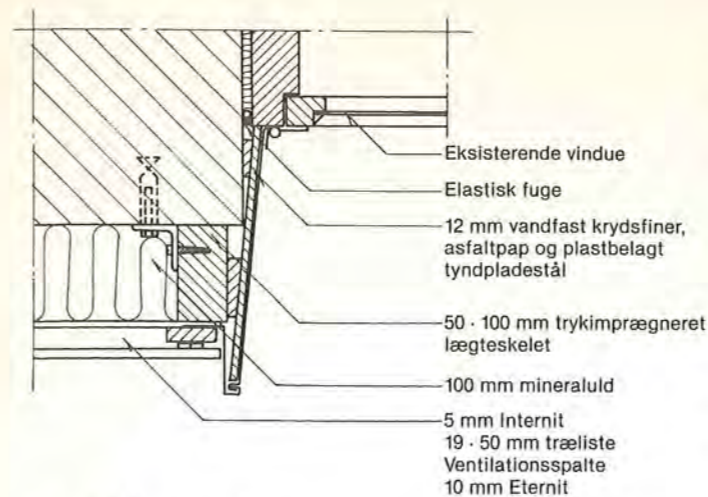
Figur 58. Detalje ved taggesims.



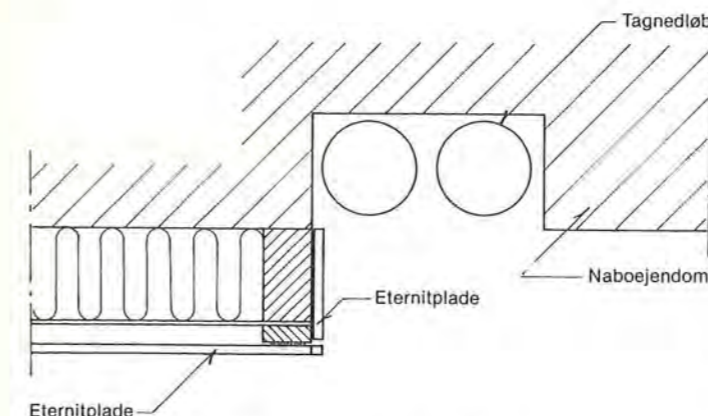
Figur 59. Lodret snit i vinduesoverside.



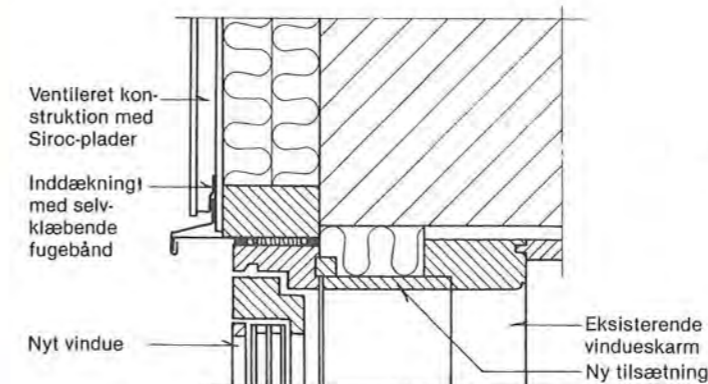
Figur 60. Lodret snit i vinduesunderside.



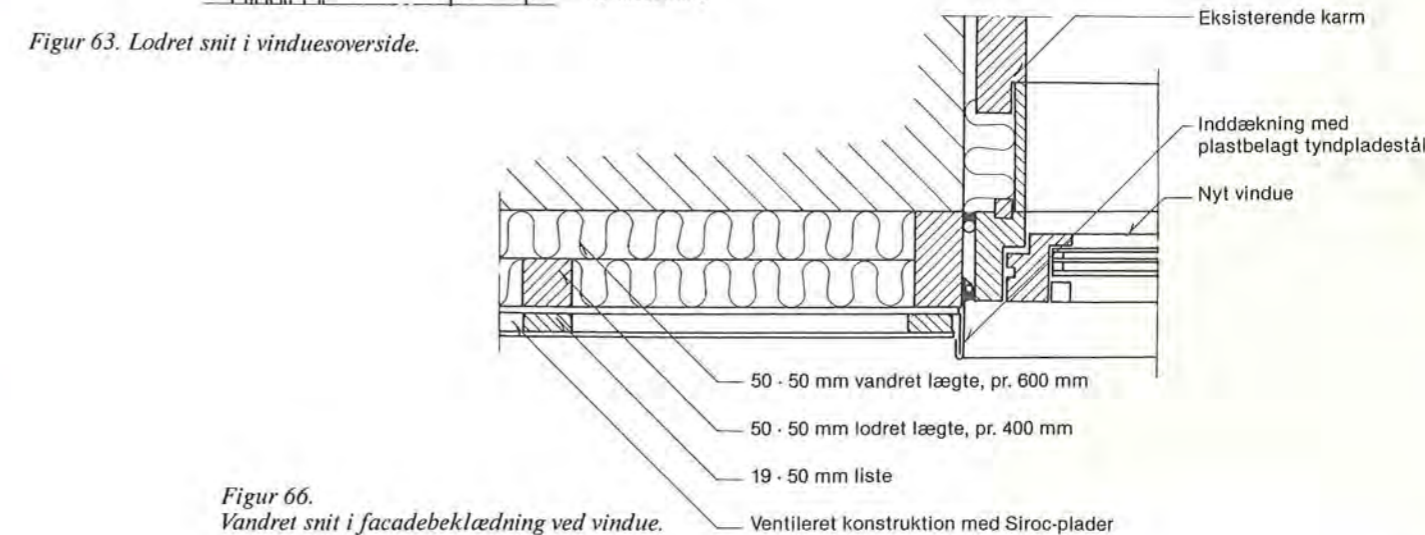
Figur 61. Vandret snit i vindue.



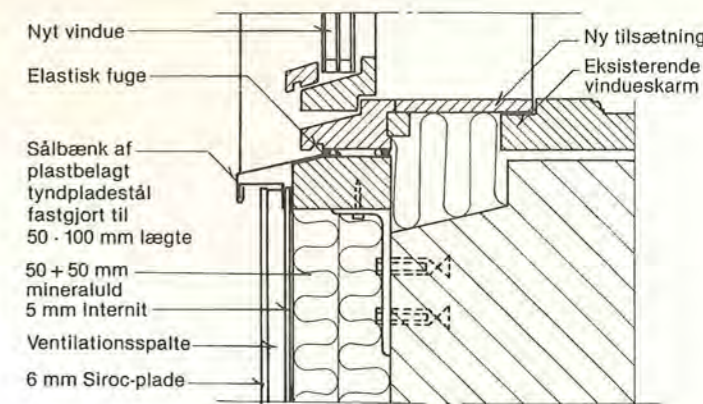
Figur 62. Vandret snit i afslutning mod nabohus.



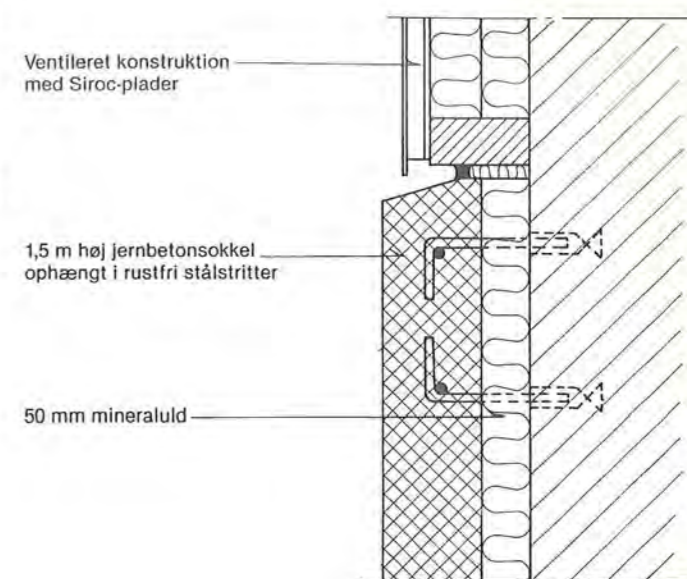
Figur 63. Lodret snit i vinduesoverside.



Figur 66. Vandret snit i facadebeklædning ved vindue.



Figur 64. Lodret snit i vinduesunderside.



Figur 65. Lodret snit i betonsokkel.

Praktiske erfaringer

Det generelle indtryk var, at den ventilerede pladebeklædning krævede megen tilpasning på stedet af lægter, lysningspaneler, plader m.v.

Da gadefacadens murværk lå i forskellige planer blev opbygningen af lægteskelettet ganske kompliceret.

En rationel løsning af detaljerne omkring vinduerne er væsentlig for hele arbejdsgangen.

Lysningspanelerne omkring gadefacadens vinduer voldte en del praktiske problemer, og en forenkling af disse detaljer vil givetvis kunne medføre besparelser gennem en hurtigere arbejdsgang.

Eternitpladerne blev leveret tilskåret på pladsen. Nogen tilskæring måtte dog foretages på stedet, hvilket efter nu gældende regler ikke umiddelbart tillades af sundhedsmæssige grunde.

Siroc-pladerne blev leveret færdigmalet i standarddimensioner og måtte i stort omfang tildannes på stedet. Da materialet var temmelig sprødt, måtte de tilskårne kanter stry-



Figur 67. Tilpasning af lysningspanel mod gaden.



Figur 68. Tilpasning af gesimsen over stueetagen.

ges med maling inden opsætningen og pletrepareres de steder, hvor overfladen fik ridser og sår. Den færdige overflade fik hermed et utilfredsstillende udseende, der medførte, at alle plader blev malet om.

Produktionen af Siroc-plader er i øvrigt standset og afløst af en anden type facadeplader.



Figur 69. Opsætning af Siroc-plader.



Figur 70. Inddækningen er monteret før Siroc-pladen fastgøres.

Isolering af vinduer

Hoveddispositioner

De eksisterende vinduer var traditionelle dannebrogsvinduer og hertil svarende 3-fagsvinduer. Mod gaden havde de store vinduer en fast rude i midten og oplukkelige rammer i siderne. Vinduer mod gården havde kun ét lag glas, medens vinduerne mod gaden i et vist omfang var forsynet med forsatsrammer inden for de store, faste ruder. Der var ingen steder foretaget tætning mellem rammer og karme, ligesom kitfalsene var utætte.

Også mange fuger mellem murværk og karme var i dårlig stand, og beboerne var meget generet af træk og kulde fra vinduerne.

Træværket i gadefacadens vinduer, der vender mod nord, var i udmærket stand. Kun i en enkelt bundkarm måtte der fjernes råddent træ.

Derimod var gårdfacadens vinduer meget nedbrudte dels på grund af solen og dels fra fugt fra køkkener og badeværelser (nr. 9). Malingen på vinduerne var i meget dårlig stand, og dette har utvivlsomt også været en medvirkende årsag til den kraftige nedbrydning.

Det blev besluttet at forbedre vinduerne fra et lag glas til tre lag glas og samtidig foretage en effektiv fugetætning.

De tre lag glas må anses for det maksimale, der normalt vil være aktuelt ved vinduesforbedringer. De ganske store vinduesarealer (20-25 pct. af gulvarealet) talte desuden for, at vinduerne blev isoleret så godt som muligt.

På baggrund af vinduernes forskellige stand var det naturligt at udskifte vinduerne mod gården og bygge videre på de gode vinduer mod gaden.

Denne disposition ville samtidig muliggøre en sammenligning af de alternative løsninger, der normalt foreligger i situationer, hvor der ønskes foretaget forbedringer af vinduer i eksisterende etageejendomme. Desuden indebar beslutningen, at der kunne afprøves to sæt af detaljløsninger for vinduestilslutning til facadeisoleringen. Der kunne dels anvendes løsninger, hvor vinduer blev bevaret, og dels løsninger, hvor vinduer blev udskiftet samtidig med isoleringsarbejdet.

Nye vinduer af træ mod gården

De arkitektoniske vurderinger resulterede i valget af trævinduer med den samme opdeling som den oprindelige, se figur 74.

Alternative muligheder for en enklere udformning med færre rammer blev undersøgt, men til sidst forkastet.



Figur 71. Facade mod gaden før isoleringsarbejdet.



Figur 72. Facade mod gården før isoleringsarbejdet.



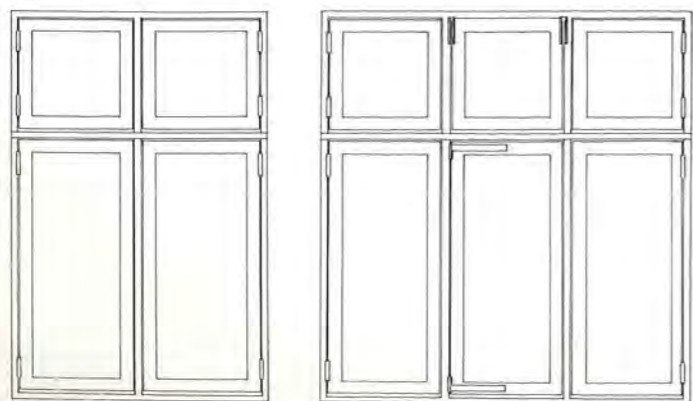
Figur 73. Vinduerne mod gården var i meget dårlig stand.

Det fremgår af figur 74, at det store vindues funktion er forbedret. Den midterste, øverste ramme er tophængt med udskyderstang for at muliggøre en ganske svag ventilation af lejlighederne. Desuden er den midterste, store ramme forsynet med et vendebeslag, så pudsningen af vinduet lettes. Køkkenvinduerne blev udstyret med en »I-vinkelåbner« på den ene af de øverste små rammer, så køkkenet kan ventileres efter behov. Køkkenbordets placering foran vinduet vanskeliggør i øvrigt betjeningen af vinduet.

Udformningen af ramme- og karmprofiler fremgår af figur 75, medens indbygningen i den isolerede facadekonstruktion fremgår af de foregående afsnit.

For at undgå at udskifte de eksisterende lysningspaneler af træ blev den gamle karm bevaret. Kun lod- og tværposte blev fjernet sammen med rammerne.

Efter isætningen af det nye vindue, stopning og fugning, udbyggedes lysningspanelerne med en tilsætningsplade,



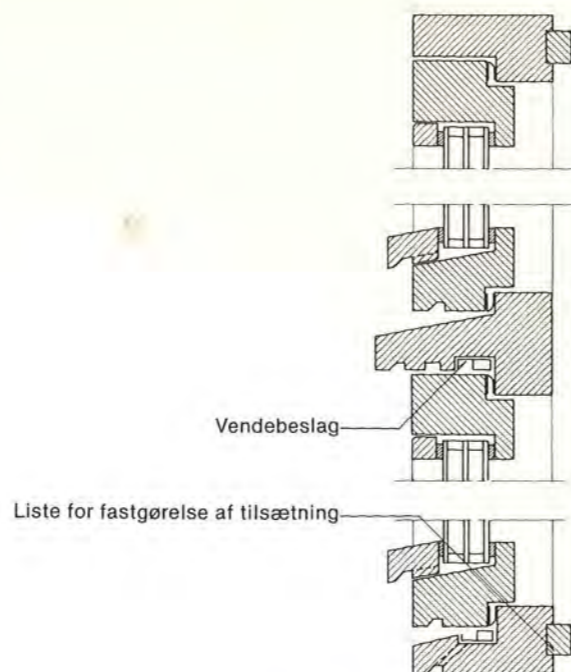
Figur 74. Nye trævinduer med udformning som de oprindelige.

der monteredes i falsen i den tilbageblivende, oprindelige karm, se figur 38-40 og figur 63-64.

Vinduerne, der blev leveret vacuumimpregnerede og grundede, blev efter isætningen malet to gange med acrylmaling.



Figur 76. Oprindeligt 3-fags vindue med lysningspaneler.



Figur 75. Lodret snit i nyt vindue.

Praktiske erfaringer

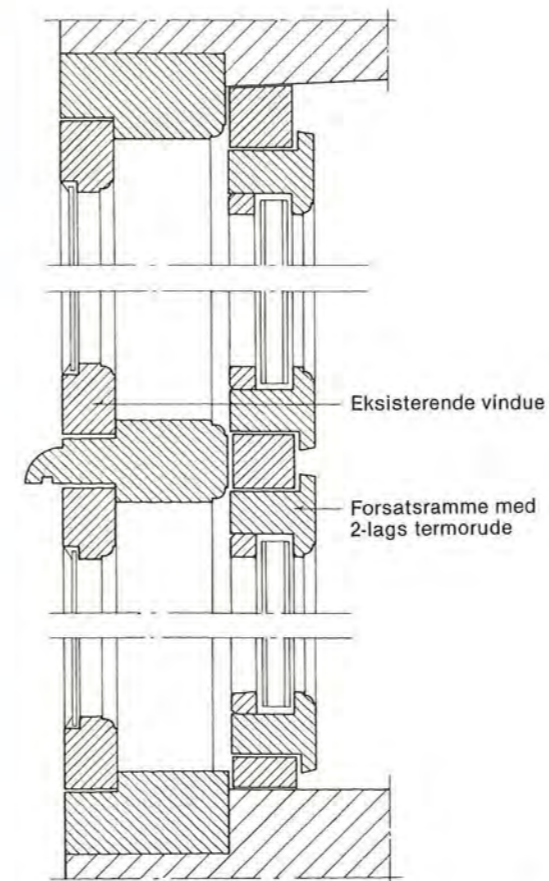
I udbudsmaterialet var det forlangt, at vinduerne skulle overholde de krav til ydeevne, der er angivet i SBI-ydeevnebeskrivelse 2, Vinduer. Tætheden mod nedbør og lufttætheden blev kontrolleret på et prøveelement (vindue med 6 rammer) i SBI's prøvestand.

Afprøvningen viste, at selv små udførelsessvigt i arbejdet, f.eks. samling af tætningslister i hjørner, upræcist anslag og dårlig justering gav væsentlige lækager. De mange gående rammer forøgede samtidig mulighederne for utætheder, og kun ved omhyggelig kontrol og efterhjælpning kunne vinduet klassificeres som acceptabelt.

Entreprenøren, der havde ansvaret for den endelige opmåling af vinduerne, havde ved opmålingen begået en fejl, der medførte, at de nye vinduer blev leveret for små. Ved at ændre detaljerne af monteringen af lysningspanelerne kunne vinduerne ved den ventilerede facade anvendes, hvorimod der måtte leveres nye vinduer til Serporock-facaden, hvor »vindueshullet« var fast.

Under udførelsen af den elastiske fuge omkring vinduet måtte fugen ved bundkarmen flyttes, da den lå for langt fremme og lukkede for dræningen af det nedfældede vendebeslag i de store vinduer.

Tætningslisterne på vinduesrammerne gav også problemer ved at hæfte til malingen, selvom det var tilstræbt at den var tør, inden vinduerne blev lukket. Dette problem blev delvis afhjulpet ved at smøre tætningslisten med silicone.



Figur 77. Lodret snit i vindue med forsatsrammer (løsning a).

Forbedring af eksisterende vinduer mod gaden

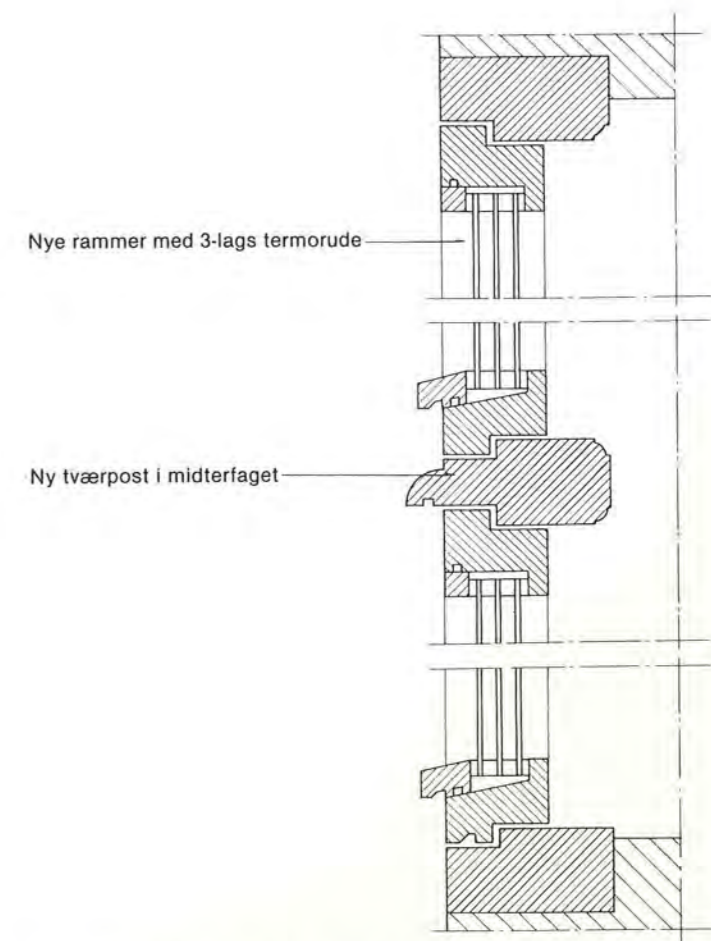
Til prisindhentningen blev der udarbejdet to alternative løsninger:

- Forsatsrammer med 2-lags termoruder. Sidehængte rammer i egen karm.
- Udskiftning af vinduesrammer til nye med 3-lags termoruder.

Andre og billigere typer af forsatsvinduer end den valgte var på tale, for eksempel skydevinduer af aluminium, men den traditionelle løsning af træ med en opdeling svarende til de eksisterende vinduer blev valgt af funktionsmæssige og æstetiske årsager.

En anden mulighed var at montere rammer af træ eller aluminium direkte på de oprindelige rammer. Denne løsning måtte opgives, da de eksisterende rammer ikke kunne tåle vægten af yderligere to lag glas. Desuden virkede detaljløsningerne noget komplicerede og problematiske. Af samme grund så man bort fra muligheden af at udbygge rammerne til 3-lags termoruder som alternativ til løsning b.

For at forbedre mulighederne for vinduespudsning af det store 3-fags vindue, blev det besluttet at erstatte det faste glas i midten med to oplukkelige rammer og ny tværpost. Desuden skulle de eksisterende vinduer (vindueskarne, løsning b) eftergås og males. Mellem murværk og eksisterende karne skulle udfuges med elastisk fugemasse i forbindelse med facadeisoleringen.

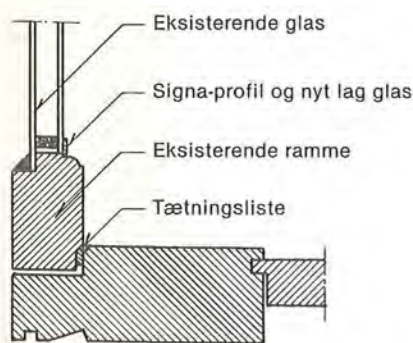


Figur 78. Lodret snit i vindue med nye rammer (løsning b).



Figur 79. Inden forsatsrammerne blev monteret, erstattedes det faste glas i de store vinduer med en ny tværpost og oplukkelige rammer.

Som det fremgår af det efterfølgende afsnit, var løsningen noget billigere end b. For at opnå besparelser i projektet blev det derfor besluttet at montere forsatsvinduer og i øvrigt at nøjes med to lag glas i trappevinduerne. Her valgtes »Signa-ruden«, hvormed der kan opbygges en termorude på det eksisterende glas, se figur 80.



Figur 80. Principsnit i Signa-rude.

Praktiske erfaringer

Monteringen af forsatsvinduerne gav ingen særlige problemer. Det var dog nødvendigt at justere og eftergå nogle af vinduerne for at få den fornødne tæthed og undgå dug på de yderste ruder.

Økonomi, nye og forbedrede vinduer

Ved den afholdte licitation 15.09.1978 blev der afgivet tilbud fra fire indbudte firmaer på vinduesforbedringen (levering og montering).

Vinderfirmaets priser er udspecificeret i skemaet nedenfor. De anførte priser er ekskl. stillads og moms, men tillagt prisen på nødvendige følgearbejder som malerarbejde, opretning af eksisterende konstruktion samt ny fuge om karme.

En sammenligning af de øvrige bydendes delpriser viste, at prisforskellen mellem I, II.a og II.b også var relativ lille. Den billigste foranstaltning var hos vinderen forsatsrammer, men to entreprenører havde isætning af nye rammer, og den sidste entreprenør nye vinduer, som den billigste foranstaltning.

Den manglende tendens i prismaterialet skal givetvis søges i kalkulationsmetoderne, der kan være forskellige hvad angår fordelingen af omkostningerne på delpriserne, samt i vurderingen af tidsforbruget på pladsen, men alligevel forekommer det overraskende, at løsning I ikke er væsentlig dyrere end II.a og II.b.

I dette tilfælde var besparelsen ved valget af forsatsvinduer i stedet for nye vinduer cirka 10 pct., men var der valgt andre typer – funktionsmæssigt knap så gode – forsatsvinduer, ville der formentlig kunne opnås større besparelser.

Det må i den forbindelse understreges, at billedet kan være anderledes for andre vinduestyper og anden vedligeholdelsesstand, og såfremt der kun ønskes en forbedring fra et lag glas til to lag glas. Kan anvendelsen af PVC- eller aluminiumvinduer komme på tale, må vedligeholdelsesudgifterne inddrages i vurderingsgrundlaget.

Foranstaltning	Samlet pris, kr.	Kr. pr. m ²
I Nye vinduer med 3-lags termoruder i gårdfacaden, 82 stk.	250.000	1.400
II a. Forsatsrammer med 2-lags termoruder i gadefacaden inkl. gennemgang af eksisterende vinduer, 29 stk.	85.000	1.250
b. Udskiftning af vinduesrammer. Nye med 3-lags termoruder inkl. gennemgang af eksisterende karm, 37 stk.	125.000	1.450
III*) »Signa-ruder« til trappevinduer inkl. gennemgang af eksisterende vinduer, 8 stk.	9.000	530

*) Kun et tilbud.

Tabel 3. Økonomisk oversigt vedrørende alternative vinduesforbedringer. Kr. pr. 01.10.1978.

Isolering af etageadskillelser mod kælder og loft

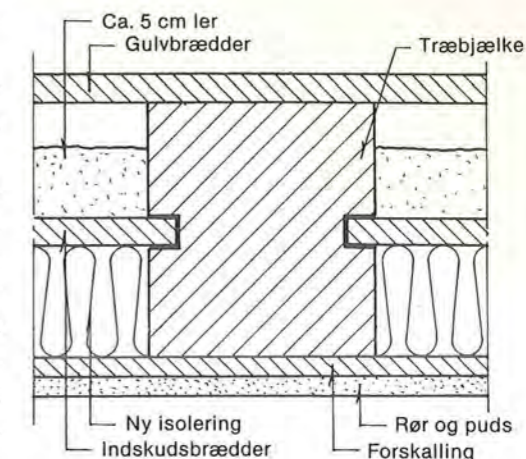
Etageadskillelser mod kælder og loftsetage bestod af træbjælkelag med lerindskud.

Her blev det besluttet at isolere ved at indblæse granuleret mineraluld i de eksisterende hulrum, der var cirka 10 cm høje (se figur 81).

Denne metode var specielt velegnet til isolering af dækket mod tagrummet, der var udnyttet til pulterrum og tørrelofter. Mod kælderen blev opsætning af isolering på undersiden af etageadskillelsen overvejet, men da kælderen var opdelt i mange små rum, ville arbejdet blive kompliceret og langt dyrere end indblæsningen. Også den lave højde i kælderen talte imod isoleringen på undersiden, og i nr. 9 ville arbejdet desuden blive generet af centralvarmerørene under loftet.

Indblæsningen i dækket mod tagrummet foregik uden problemer oppefra, og hullerne blev lukket med perforerede metalplader for at sikre mod eventuel fugtphobning de steder, hvor gulvbrædderne var lakeret.

Isoleringen af kælderdekke foregik ved indblæsning nedfra. Under dette arbejde faldt noget af loftspudsen – der fra starten sad løs – ned.



Figur 81. Ny isolering. Snit i træbjælkelag.

Det var på disse flader nødvendigt at opsætte gipsplader. Hullerne fra indblæsningsslangen blev pudset til efter at isoleringen var færdig.

ret på det rejste stillads indtil de endelige kunne opsættes. Mod gården fungerede de oprindelige tagedløbsrør på nr. 7 også som faldstammer for køkkenvaskene. Nye indvendige faldstammer måtte derfor opsættes i køkkenerne og nye stikledninger trækkes i kælderen og i terræn.

Ejendommens telefonledninger løb udvendigt på gårdfacaden, og en omlægning var nødvendig. I stedet blev ledningerne anbragt på loftet i kældergangen og ført op til lejlighederne via køkkentrapperne. Desuden måtte andre småarbejder som flytning af udendørslamper, forlængelse af ledninger til udendørs vandhaner og oliestuds foretages.

Butiksfacader af glas blev fjernet og hullet udmuret, så der kunne isættes et nyt vindue svarende til de øvrige ruder i facaden. Dernæst blev støbningen af soklerne påbegyndt på den ene del af facaden, medens nedhugning af vinduessålbænke og tilhugning af de vandrette bånd startede på den anden del. Samtidig begyndte isoleringen af gavlen med aluminiumkassetter.

Efter at klargøringen til Serporock-isoleringen var færdig, blev stilladset overdækket med klar plastpresenning, og der blev opstillet varmekanoner for at holde den nypudsede facade frostfri det første døgn.

Herefter arbejdede de forskellige fag på begge ejendomme som det fremgår af arbejdsplanen.

De nødvendige arbejder i lejlighederne forløb planmæssigt og uden nævneværdige gener for beboerne, bortset fra lejerne i de to oprindelige butiksejemål. Inddækningen af stilladserne formindskede lysindfaldet i lejlighederne en hel del. Endvidere gav materialeoplag i gården anledning til en del problemer for beboerne under arbejdets udførelse.

Som nævnt under beskrivelsen af de forskellige delarbejder, opstod der undervejs flere større eller mindre problemer af forskellig art, der forrykkede tidsplanen. Den planlagte afslutning medio maj fandt først sted i begyndelsen af august 1979. Den hårde vinter med megen snefald var dog også en medvirkende årsag til forrykkelsen.

Installationer og valg af målemetode

Hovedvægten i projektet er lagt på de konstruktive og byggetekniske problemer ved udførelsen af udvendig facadeisolering. Ved udvælgelsen af forsøgsobjekter blev det dog sikret, at den opnåede energibesparelse kunne måles ved hjælp af varmemålere, og i første fase var det ikke hensigten at gennemføre andre målinger til støtte for en nøjere vurdering af den opnåede energibesparelse.

Niels Ebbesens Vej 9 var forsynet med centralvarme fra eget fyr, medens nr. 7 var individuelt opvarmet med oliebrændere i de oprindelige kakkellovne. Det var derfor kun muligt at kontrollere energibesparelsen med tilstrækkelig nøjagtighed for nr. 9's vedkommende, hvor de tidligere års olieforbrug forelå i form af varmeregnskaberne.

Radiatorerne var plade-søjleradiators anbragt under vinduerne, og de oprindelige ventiler var af fabrikat DAMETA RV00, enkelte dog BØRMA type 301.

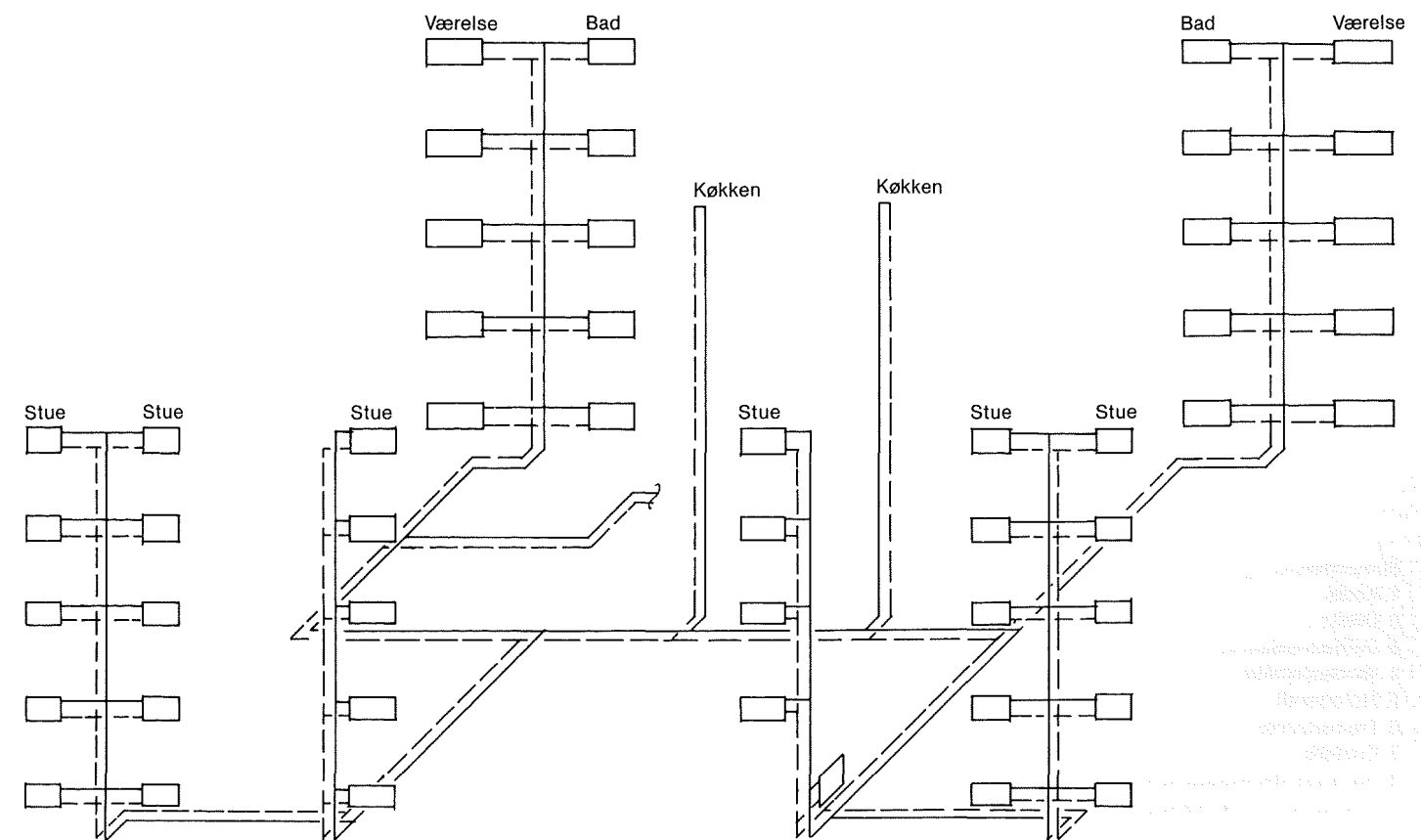
Anlægget må karakteriseres som dårligt indreguleret. I fyrrummet er monteret en NORRA-HAMMER støbejernskedel med oliefyrt. Oletanken er anbragt i kælderen ved siden af fyrrummet. Varmtvandsbeholderen er udstyret med kedelvandspumpe, men er uden termostat. Ledningerne er forsynet med blandesløjfe med pumpe og termostatstyret 3-vejs RECI-blandeventiler, men uden automatisk styring efter udeklimaet. Anlægget var således behæftet med en række mangler, ligesom driften af anlægget må karakteriseres som mangelfuld.

Varmeanlægget på Niels Ebbesens Vej 9

Radiatorsystemet er to-strengt uden vendt retur på fordelingsledning og strenge. Der er i alt otte strenge, og der er ingen radiatorer på de to strenge til køkkenerne.

Valg af målemetode

Det må understreges, at så omfattende isoleringsarbejder som her beskrevet, ikke bør gennemføres uden at der samtidig foretages en tilpasning af centralvarmeanlægget. Var-



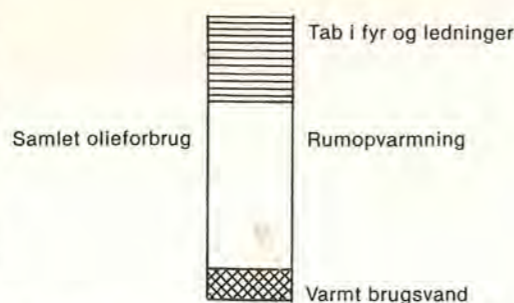
Figur 83. Diagram for varmeanlægget på Niels Ebbesens Vej 9.

mebehovet i lejlighederne mere end halveres efter isoleringen, og skal generende høje rumtemperaturer med varmespild til følge undgås, må systemets varmeafgivelse ændres tilsvarende.

I dette tilfælde måtte omfanget af disse foranstaltninger dog ses i sammenhæng med de ønskede måleresultater. Hvis der eksempelvis valgtes helt korrekt indregulering kombineret med klimastatanlæg og termostatventiler, ville det være svært at vurdere, om den opnåede energibesparelse hovedsagelig skyldtes isoleringsarbejderne eller installationsarbejderne.

Det blev derfor besluttet at gennemføre den første måleperiode med begrænsede installationstekniske indgreb. Radiatorventiler, der ikke kunne forindstilles, blev udskiftet, og der blev foretaget en forindstilling, der sikrede, at alle radiatorskiver fik en vandstrøm, der nogenlunde svarede til deres størrelse. Derudover blev der monteret et klimastatanlæg til styring af fremløbstemperaturen for at kompensere for varmemesterens svingende eller manglende manuelle indstillinger.

Måleresultatet skulle således være udtryk for energibesparelsen ved isoleringsarbejderne og den mest nødvendige tilpasning af varmeanlægget.

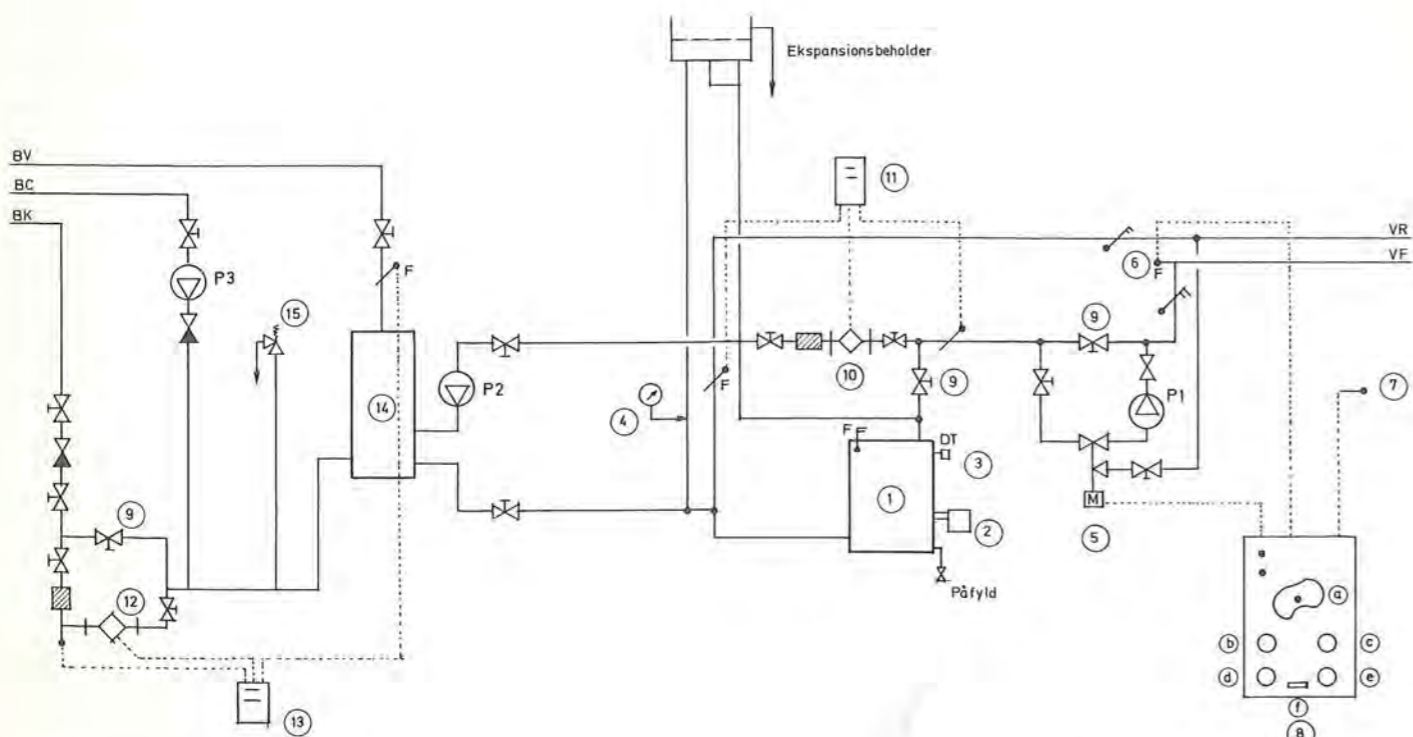


Figur 84. Energiforbrugets sammensætning

På figur 84 er sammensætningen af ejendommens energiforbrug afbildet, og varmemålerens placering fremgår af figur 85.

Ved at måle energiforbruget til brugsvand og rumopvarmning og det samlede olieforbrug ved hjælp af en oliestandsmåler, kan energitabet ved forbrændingen bestemmes.

På grundlag af de tidligere års olieregnskaber kan forbruget før de energibesparende foranstaltninger findes og besparelsen bestemmes.



- Komponentfortegnelse**
- 1 Kedel
 - 2 Oliefyr
 - 3 Driftstermostat/overkogssikring
 - 4 Vandsøjlemåler
 - 5 Motorventil
 - 6 Fremløbsføler
 - 7 Udeføler
 - 8 Recitherm/temperaturregulator
 - 9 Afspærringsventil (lukket)
 - 10 Vandmåler, centralvarme
 - 11 kWh-måler, centralvarme
 - 12 Vandmåler, koldt vand
 - 13 kWh-måler, varmt vand
 - 14 Varmtvandsbeholder
 - 15 Sikkerhedsventil
 - P1 Centralvarmepumpe
 - P2 Varmtvandsbeholderpumpe
 - P3 Cirkulationspumpe, varmt vand

- Signaturer**
- Afspærringsshane
 - Snavssamler
 - Kontraventil
 - Manometer
 - Termometer
 - BK Brugsvand, koldt
 - BV Brugsvand, varmt
 - BC Brugsvand, cirkulation
 - VF Varme frem
 - VR Varme retur

Figur 85. Diagram over varmecentralen med indbyggede varmemålere.

Måleresultater

Registreret forbrug efter isolering

Som nævnt er der i perioden juni 1979 til maj 1980 foretaget målinger af energiforbruget til brugsvand og rumopvarmning samt pejling af den indfyrede oliemængde i ejendommen Niels Ebbesens Vej 9.

Energiforbruget målt for brugsvandets og for rumopvarmningens vedkommende ved løbende at registrere vandforbrug og den tilhørende temperaturforskel mellem koldt og opvarmet vand.

Det bemærkes, at energitabet ved cirkulation af det varme brugsvand i rørene praktisk taget *ikke* målt, da vandmåleren kun talte, når der tappedes varmt vand, se figur 85. I det efterfølgende afsnit er tabet kalkuleret.

De anvendte varmemålere var før indbygningen til kalibrering hos Teknologisk Institut, og de i tabel 8 anførte værdier er korrigeret i overensstemmelse med kalibreringsresultatet. I tabellen er de månedlige forbrug desuden opsummeret over hele perioden.

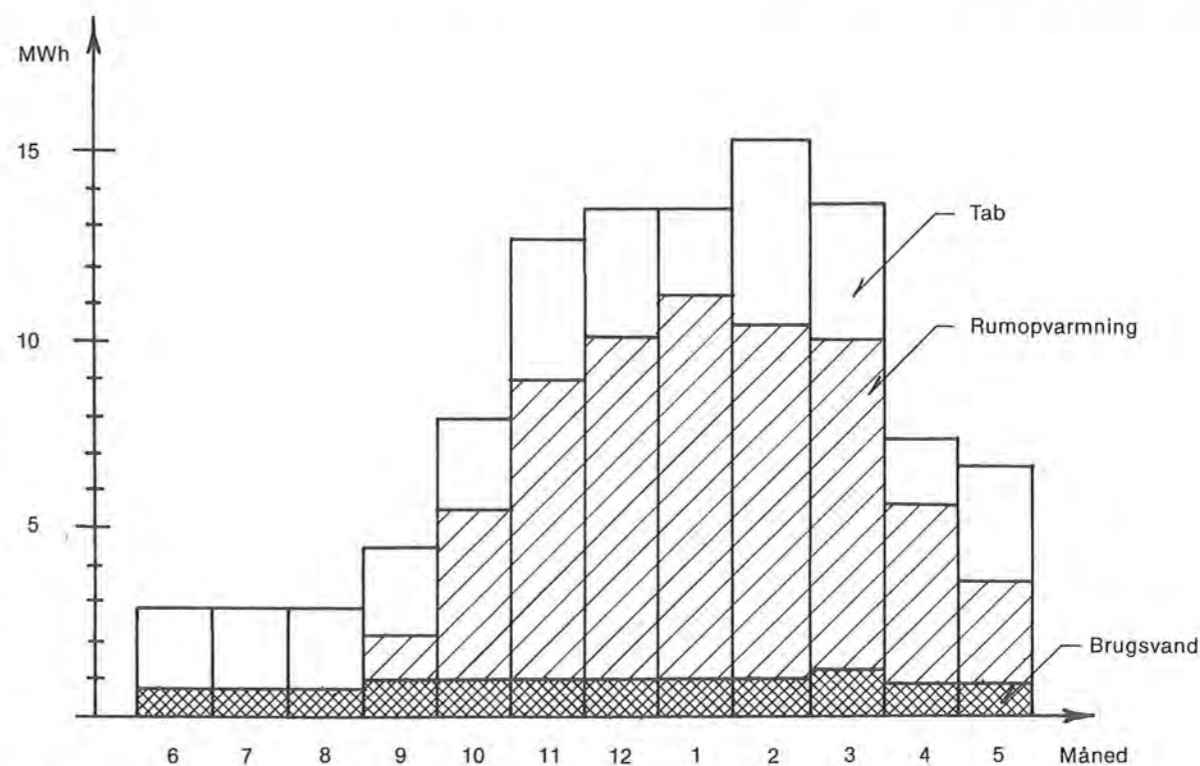
Vurdering af energitabet

For at give et bedre grundlag for en vurdering af den nyttiggjorte energi er der på figur 86 måned for måned angivet fordelingen af den indfyrede energi Q_{olie} og de målte energiforbrug.

For månederne juni, juli og august er der ikke brugt energi til rumopvarmning, hvorfor man kan vurdere stilstandstabet størrelsesorden. Tabet i disse 3 måneder er i gennemsnit 2,3 MWh/måned.

	Varmt brugsvand MWh		Rumopvarmning MWh		Indfyret olie MWh	
	pr. md.	opsumm.	pr. md.	opsumm.	pr. md.	opsumm.
1979						
Juni						
Juli						
August						
September	0,90	2,72	1,09	1,09	4,4	13,2
Oktober	0,98	3,70	4,50	5,59	8,0	21,2
November	1,04	4,74	7,59	13,18	12,7	33,9
December	1,05	5,79	9,03	22,21	13,5	47,4
1980						
Januar	0,94	6,73	10,14	32,35	13,4	60,8
Februar	0,97	7,70	9,30	41,65	15,3	76,1
Marts	1,17	8,87	8,85	50,50	13,8	89,9
April	0,86	9,73	4,84	55,34	7,4	97,3
Maj	0,85	10,58	2,53	57,87	6,8	104,1

Tabel 8. De målte energiforbrug til brugsvand og rumopvarmning, korrigeret for unøjagtigheder i måleudstyret, samt det registrerede olieforbrug 1979/80. Der er regnet med let fyringsolie $\gamma = 840 \text{ kg/m}^3$ og $\varphi = 10200 \text{ kcal/kg}$ svarende til $9,65 \text{ kWh/liter}$.



Figur 86. Fordelingen over året af den indfyrede energi og det målte energiforbrug.

Tabet består af skorstenstab, ledningstab fra brugsvandets cirkulationsledning inkl. varmtvandsbeholder samt strålingstab fra kedlen.

Anslås skorstenstabet til mellem 11 og 19 pct af den indfyrede energi, strålingstabet til 1-2 pct. af kedlens maksimale ydelse og ledningstabet til 20 watt pr. m, fås for en af de tre sommer måneder:

Q_{skorsten}	= 0,5 MWh
Q_{ledning}	= 0,6 MWh
$Q_{\text{stråling}}$	= 1,2 MWh
I alt tab	= 2,3 MWh

Det målte tab, der forekommer meget højt, er således ikke usandsynligt.

Som det fremgår af figur 86 er der stor spredning på de målte tab; fra 1,7 MWh i april til 5 MWh i februar. Sammenlignes januar- og februarforbrugene forekommer det også ulogisk, at der er målt et større olieforbrug i februar skønt rumopvarmningsforbruget er faldende. Der kan dog være tale om en skæv fordeling af de aflæste værdier i forbindelse med oliepåfyldning, for flyttes der 1,5 MWh fra februar til januar, vil der være overensstemmelse mellem olieforbruget og rumopvarmningsbehovet i de to måneder. En nærmere forklaring på tabenes variation over månederne kræver yderligere målinger, der også vil forbedre mulighederne for en vurdering af målingernes usikkerhed.

Bestemmelse af årsvirkningsgraden

En del af tabet vil indirekte blive nyttiggjort til rumopvarmning. Det drejer sig først og fremmest om ledningstabet fra brugsvandets cirkulationsledning. Strålingstabet fra kedlen opvarmer kedelrummet og en stor del af kælderen og ned sætter dermed transmissionstabet gennem kælderdekke.

Anslås hele ledningstabet på 0,6 MWh pr. måned nyttiggjort i 6 måneder, og 1/3 af strålingstabet på 1,2 MWh pr. måned udnyttet, ligeledes i 6 måneder, fås følgende årsvirkningsgrad:

$$\eta = \frac{Q_{\text{nyttigg.}}}{Q_{\text{olie}}}$$

hvor

Q_{olie} = den målte indfyrede oliemængde (104,1 MWh)

$Q_{\text{nyttigg.}}$ = den nyttiggjorte energi (73,5 MWh)
 = det målte rumvarmeforbrug (57,9 MWh)
 + det målte brugsvandsforbrug (10,6 MWh)
 + det nyttiggjorte ledningstab (6 · 0,6 MWh)
 + det nyttiggjorte strålingstab (2 · 1,2 MWh)

Dette giver årsvirkningsgraden $\eta = 0,72$

Energiforbruget før isoleringsarbejderne

På basis af de foregående års varmeregnskaber kan ejendommens oprindelige olieforbrug findes. Det skal i den forbindelse fremhæves, at det nedenfor anførte olieforbrug er opgjort ud fra olieleverandørens fakturaer i de pågældende perioder fra 1.6. til 1.6. – og der er ikke foretaget kontrol af restbeholdningen af olie i tanken. Olieforbruget før isoleringsarbejderne må derfor bestemmes som et middeltal af flere års forbrug.

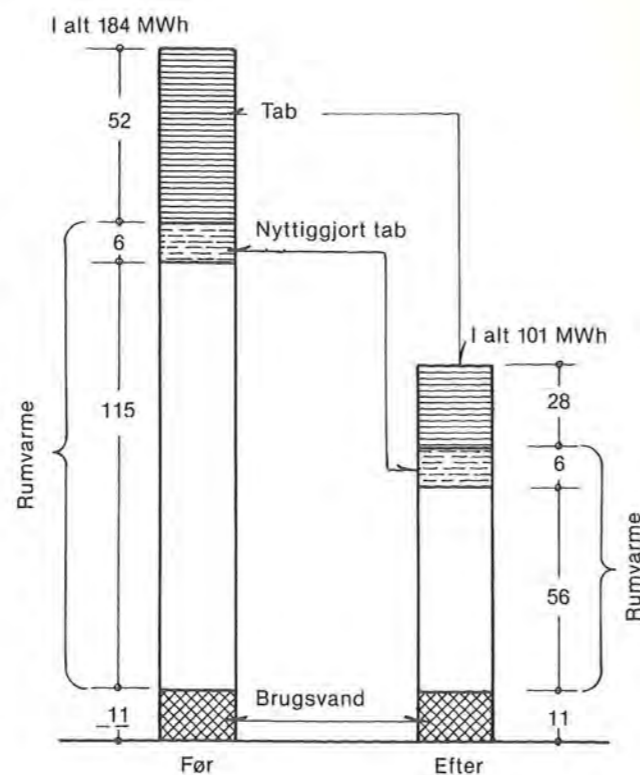
Tabel 9 viser tilsyneladende et jævnt fald siden 1974/75. 1978/79 må lades ude af betragtning, da isoleringsarbejderne blev gennemført netop i denne periode.

Betragtes perioden 1973/74–1974/75 fås i gennemsnit $Q = 20.940$ liter.

Betragtes i stedet for perioden 1974/75–1977/78 fås $Q = 19.112$ liter.

Besparelse i rumopvarmning

I figur 87 er ejendommens energiforbrug før og efter foranstaltningerne optegnet. Forbruget før isoleringen er anslået til 19.000 liter, svarende til middeltallet for perioden 1974/75 – 1977/78. Omregnet svarer dette til 184 MWh.



Figur 87. Det årlige energiforbrug før og efter isoleringsarbejdets udførelse.

	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79	1979/80
Leverancer, liter olie	18.530	20.213	19.383	18.118	16.980	16.575	12.613 (10.780)
GD-korrigeret forbrug, liter	20.278	21.602	19.451	18.497	16.986	14.989	11.942 (10.206)

Tabel 9. Ejendommens olieforbrug i liter i årene 1973–1980 baseret på olieregnskabet. Den nederste række tal er regnskabstal korrigeret for graddøgntal. I parentes er anført målte, faktisk forbrugte mængder for året 1979/80.

Både før og efter isoleringen anvendes en årsvirkningsgrad på 0,72. Ved at anvende samme virkningsgrad er der taget højde for, at skorstenstabet antagelig har været lidt større i perioden 1974/75 – 1977/78 end i 1979/80, idet de øvrige tab regnes konstante gennem alle år. Desuden forudsættes uændret nyttiggørelse af ledningstab fra brugsvandsledninger og strålingstab fra kedel.

Forbruget til opvarmning efter isoleringen er korrigeret med normalårets graddøgntal. Herved bliver totalforbruget 101 MWh og det aflæste varmeforbrug 56 MWh.

Endelig regnes forbruget til brugsvand at være det samme før og efter isoleringsarbejderne.

Ud fra disse forudsætninger fås et tab på henholdsvis 52 MWh før isolering og 28 MWh efter isolering (ca. 28 pct. af totalforbruget) samt et nyttiggjort tab på 6 MWh og et brugsvandsforbrug på 11 MWh i begge tilfælde. Det direkte forbrug til rumopvarmning ekskl. nyttiggjort tab udgør 115 MWh før og 56 MWh efter isoleringsarbejderne. Den opnåede årlige nettobesparelse i rumopvarmningsforbrug er således $121 - 62 = 59$ MWh.

Udtrykt i procent er besparelsen $\frac{59}{121} \cdot 100 = 49$ pct.

Besparelse i petroleumfyret lejlighed

Efter aftale med beboerne i en lejlighed på 2. sal, Niels Ebbesens Vej 7, blev der ført regnskab med petroleumforbruget i varmesæsonerne 1978/79 og 1979/80.

Den pågældende lejlighed blev opvarmet med en petroleumbrænder i den oprindelige kakkelovn i den største stue. Forbruget i 1978/79 var 150 dunke à 10 liter, og i 1979/80 var forbruget faldet til 61 dunke, hvilket giver en besparelse på 60 pct. Det skal bemærkes, at ejendommen nr. 7 var delvis isoleret i en del af sæsonen 1978/79, hvorfor forbruget i den uisolerede lejlighed antagelig før havde været større end 1500 liter. Familien oplyste desuden, at temperaturen efter isoleringen havde været 22-23 °C i hele lejligheden, hvilket var en betydelig komfortforbedring i forhold til tidligere.

I tabel 10 er det dimensionerende varmetab for Niels Ebbesens Vej 9 før og efter isolering beregnet.

På basis af det dimensionerende varmetab svarende til 20 °C inde og -12 °C ude kan *besparelsen på et normalår teoretisk beregnes således:*

$$Q_{besp} = \frac{(\Phi_{for} - \Phi_{efter}) \cdot 24 \cdot GD}{32} \text{ kWh}$$

hvor

- Φ_{for} = Dimensionerende varmetab før isolering, kW.
- Φ_{efter} = Dimensionerende varmetab efter isolering, kW.
- GD = Graddøgntallet 2830 = differencen mellem inde-temperaturen 17 °C og døgnets middeltemperatur ude summeret over alle døgn i varmesæsonen, °C døgn.

Indsættes de i tabel 10 anførte værdier fås besparelsen:

$$Q_{besp} = \frac{(57 - 25) \cdot 24 \cdot 2830}{32} = 67920 \text{ kWh} \sim 68 \text{ MWh}$$

Den målte besparelse i rumopvarmningsforbruget var 59 MWh, altså omkring 13 pct. mindre end den teoretisk beregnede.

GD-tallet er blandt andet baseret på den antagelse, at gratisvarmen kan opvarme bygningen fra 17 °C til 21 °C. Disse forudsætninger ændres, når husets isolering forbedres. Gratisvarmen vil for et velisoleret hus udgøre en større del af varmebehovet, og kan dermed opvarme rummene fra måske 12 °C til 21 °C i stedet for fra 17 °C. Anvendes mere teoretisk korrekte beregningsmetoder, se f.eks. [12], vil den beregnede besparelse blive en del større.

Bygningsdel	Før isolering		Efter isolering		Reduktion		Reduktion i pct. af oprindeligt tab (afrundet)
	Varmetab kW	pct.	Varmetab kW	pct.	Varmetab kW	pct.	
Tagdæk	4,0	7	1,5	6	2,5	6	60
Ydermure	11,5	20	3,0	12	8,5	27	75
Trappevægge	3,0	5	2,0	8	1,0	3	35
Vinduer	22,5	40	8,0	32	14,5	45	65
Kælderdæk	1,0	2	0,5	2	0,5	2	50
Ventilation	15,0	26	10,0	40	5,0	15	35
I alt	57,0	100	25,0	100	32,0	100	55

Tabel 10. Det dimensionerende varmetab Φ før og efter isoleringen samt den beregnede reduktion i varmetab for bygningen som helhed og for dens enkelte dele.

- [1] Forbedring af klimaskærmens varmeisolering i eksisterende etageejendomme. Mogens Nørregaard, Georg Christensen og Ole Jensen. SBI-rapport 105. 1977.
- [2] Indvendig efterisolering af en etageejendom. Byggeteknik, priser, erfaringer. Mogens Nørregaard, Georg Christensen og Ole Jensen. SBI-rapport 113. 1978.
- [3] Beboererfaringer ved indvendig efterisolering af en etageejendom. Ole Jensen. SBI-rapport 120. 1980.
- [4] Indvendig efterisolering af en etageejendom. Beregning og måling af energibesparelser. Mogens Nørregaard, Nils Erik Andersen og Georg Christensen. SBI-rapport 122. 1980.
- [5] Bolig og varme. Jørgen Nørgård. Rapport nr. 5 DEMO-projektet. Danmarks tekniske Højskole. Fysisk laboratorium III. 1977.
- [6] Köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar. Ann-Charlotte Andersson. Rapport R46:1978. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm 1978.
- [7] Byggtkniska möjligheter att spara energi i befintlig bebyggelse. Industrigruppen för lätt byggeri. Västerås 1980.
- [8] Smalhus. Energibesparande och fasadisolering. Råd och riktlinjer. Stockholms Stadsbyggnadskontor 1979.
- [9] Puts på tilläggsisolering. Bengt Elmarsson. T5:1979 Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm 1979.
- [10] Puts på tilläggsisolering – en problemanalys. Bengt Elmarsson og Lark Enk Nevander. Rapport TVBH-3001. Institutionen för byggnadsteknik. Lund 1978.
- [11] BPS-renoveringsdetaljer. Vinduer. BPS-centret. Hørsholm 1978.
- [12] Beregning af varmebesparelse ved merisolering. Bo Andersen. Varme, 39. årgang, oktober 1974.

Summary

SBI report 132: Additional exterior insulation of a block of flats. Building methods, costs, and energy saving

The present report describes a project which has for its purpose to examine the possibilities of providing an existing block of flats with exterior additional insulation. The project is a continuation of previous investigations of interior additional insulation. The present project is chiefly concerned with problems and solutions in connection with building methods.

The first part of the report deals with exterior additional insulation generally. From a study of the insulating systems and methods on the market it appears that a ventilated structure with metal sheet cladding is the most widely used and most thoroughly elaborated method. However, a method widely used in Sweden and consisting of hard mineral wool boards and reinforced rendering has recently been introduced into the Danish market, and for this system solutions of details and working methods have likewise been thoroughly tested.

The main part of the report gives a detailed description of the process of insulating the outer walls of two houses in Copenhagen built in the 1890ties. These houses, which have five stories, contain ten 3- or 4-room flats each. To one of the buildings insulation was applied in the form of a ventilated structure with flat boards, while the other was insulated with hard mineral wool boards and reinforced rendering except on the gable which was also provided with a ventilated wall covering.

The cost of the different methods were judged on the basis of tenders. General experience showed that the solutions chosen and the manner in which they were carried out had a decisive influence on the economy and on the rational performance of the work – which means that the cost may vary considerably from one building to another.

The different ways in which windows might be improved have also been considered. In this case there was no pronounced difference between the economy of renovation of the windows and complete replacement.

In one of the houses there is central heating. Here the energy consumed for space heating was measured during the season 1979–1980. In addition to the necessary measuring apparatus which was fitted in the boiler room, a rough regulation of the radiator system was carried out, and a climatostat was fitted to ensure automatic control of the flow temperature.

Compared with the consumption during the previous years the measurements showed a saving of about 50 per cent which is about 10 per cent less than it should be in theory. This discrepancy may most probably be explained by a rise in temperature in the rooms and by unavoidable inaccuracies in calculations as well as in the measurements of the energy consumed.

Denne rapport beskriver et projekt, som er udført inden for rammerne af energiministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og -udvikling af januar 1978. I rapporten gennemgås forskellige muligheder for udvendig facadeisolering. Endvidere beskrives byggeteknik, priser og erfaringer i forbindelse med et udført forsøgsprojekt, hvor der på to etageejendomme er udført forskellige former for udvendig facadeisolering. Omkostningerne i forbindelse med isoleringsarbejdet er vurderet på grundlag af en licitation. Endelig er der redegjort for den beregnede og den målte energibesparelse.