

CHARLOTTEHØJ

Erfaringer fra opførelsen af et muret højhus

CHARLOTTEHØJ

Experience Gained in the Erection of a Multi-Storey Brickwork Building

Danish Text with an English Summary

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

SBI-RAPPORT 58 · KØBENHAVN 1967

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

Miljøstatistikcenter 2

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

17. APR. 1967

CHARLOTTEHØJ

Erfaringer fra opførelsen af et muret højhus

CHARLOTTEHØJ

Experience Gained in the Erection of a Multi-Storey Brickwork Building

Danish Text with an English Summary

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

SBI-RAPPORT 58 · KØBENHAVN 1967

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

00895P
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

Indhold

Forord	3
Rapport udarbejdet af arkitekt m.a.a. H. Salling-Mortensen og ingeniør, M. af I. Børge Andersen, rådgivende ingeniører K. F. W. Askøe's Eftf.	5
Det murede højhus i Århus, en samtale med rådgivende ingeniør Børge An- dersen i anledning af opførelsen af det første danske teglhøjhus (tids- skriftet TEGL nr. 3, 1962)	8
Charlottehøjhus (TEGLREGISTRET, oktober 1963)	11
Opgørelse over materialeforbrug, af Statens Byggeforskningsinstitut	15
Opgørelse over arbejdskraftforbrug, af Statens Byggeforskningsinstitut	15
Skematisk oversigt over håndværker- udgifter samt anlægs- og driftsudgifter	16
Murværks bæreevne, forsøg udført på Laboratoriet for Bygningsteknik i forbindelse med højhusbyggeriet i Århus 1962-63, af lektor, civilingeniør Ole Glarbo	17
Summary	22

Eftertryk tilladt, men kun med kildeangivelsen:
SBI-rapport 58: Charlottehøj. Erfaringer fra op-
førelsen af et muret højhus.

Forord

Den 7. september 1959 fik boligforeningen "Ring-
gården" i Århus tilsagn om statsstøtte til delvis
dækning af projekteringsudgifterne for et beboel-
seshøjhus af murværk. Da dette var noget nyt i
dansk byggeri, var man fra forskellig side inter-
seret i at udnytte muligheden for at få foretaget en
del undersøgelser, der kunne belyse problemerne
ved murering af højhuse. Boligministeriet stillede
derfor som betingelse, at der blev lejlighed til at
foretage følgende undersøgelser:

1. lodrette længdemålinger for at finde størrel-
sen af de plastiske deformationer af murværket,
 2. målinger af den nøjagtighed, hvormed opmu-
ringen finder sted,
 3. lodrette længdemålinger for at finde murvær-
kets temperaturbevægelser inde og ude,
 4. vandrette længdemålinger for at finde den nød-
vendige afstand mellem dilatationsfuger,
 5. studier over de anvendte mørtlers bearbejde-
lighed og kornkurver,
 6. en opgørelse over de medgåede materiale-
mængder,
 7. en opgørelse over de medgåede arbejdstimer,
 8. en samlet vurdering af de opnåede resultater.
- Til at følge disse undersøgelser blev der nedsat
et udvalg bestående af

civilingeniør, dr. techn. P. Becher,
Statens Byggeforskningsinstitut (formand)

laboratorieforsøger, civilingeniør H. Dührkop,
Kalk- og Teglværkslaboratoriet

civilingeniør, lektor O. Glarbo,
Dansk Ingeniørforenings normudvalg for murværk

civilingeniør Bent Møller,
Boligministeriet

arkitekt M.A.A. H. Salling-Mortensen og
ingeniør, M. af I. Børge Andersen,
rådgivende ingeniører K. F. W. Askøe's Eftf.,
som repræsentanter for bygherren.

De første fem af de nævnte undersøgelser udføres
af Kalk- og Teglværkslaboratoriet og er endnu ikke
afsluttede. De tre sidste er gennemført af de pro-
jekterende teknikere og Statens Byggeforsknings-
institut, og det er resultatet af disse undersøgelser,
der her forelægges.

Endvidere bringes en rapport om nogle forsøg
med murværks bæreevne af lektor Glarbo. Disse
forsøg blev udført på Laboratoriet for Bygnings-
teknik på Danmarks tekniske Højskole på Kalk- og
Teglværksforeningens initiativ og delvis bekostede
af Statens teknisk-videnskabelige Fond.

Byggearbejdet blev påbegyndt juni 1961 og var
færdigt maj 1963.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT, januar 1967

Poul Becher

Rapport

af H. Salling Mortensen og Børge Andersen

Charlottehøjhuset er opført som sidste etape i en samlet bebyggelse, der omfatter 382 lejligheder, en børnehave og et butikshus. Hele bebyggelsen er opført af beregnet murværk efter en bebyggelsesplan, der er udarbejdet i 1950.

Højhuset er opført med 15 beboelsesetager, parterreetage i plan med terræn og kælder. Kælderetagen er indrettet til cyklerum, skarnkasserum, ingeniørrum og enkelte pulterrum. Parterreetagen er indrettet til vaskerier og pulterrum. I etagerne er der 72 lejligheder. På 1. sal er indrettet kontorlokaler til Boligforeningens eget brug.

Lejlighederne fordeler sig med følgende størrelser:

14 stk. 1 vær. på	50,4 m ² brutto,
29 " 2 " "	76,0 " "
14 " 2 " "	104,0 " "
15 " 3 " "	104,3 " "
Kontorlokaler	231,3 " "
Samlet etageareal:	6.161,4 m ²
Bebygget areal:	445,5 m ²

Adgangen til lejlighederne sker fra altangange, hvis udformning med skærmvægge giver et sluttet eksteriør. Altangangene danner for hver etage et gårdareal ud for lejlighederne, der kan befærdes uden svimmelhedsfølelser og anvendes til parkering af barnevogne og leg for mindreårige børn.

Opholdsaltanerne i husets vestside er begrænset til de nederste 6 etager, hvilket dels skyldes ønsket om en differentiering af facadens udformning og dels de delte meninger om altanernes værdi i de øverste etager. Vinduerne er udformet som snedkerpartier med brystninger udvendig beklædt med eternit. Vinduerne består af en stor fast rude med Thermoglas og en indadgående sidehængt ramme med kip-hæve-beslag.

Da brystningerne er ret lave, er der i højde med vinduets underkarm udvendig et skærmelement af beton ført frem foran murflugten, hvorved er tilstræbt, at man mere sikkert kan nærme sig vinduet. Skærmelementet løser samtidig problemet med vinduespudsningen.

Højhuset var oprindeligt tænkt opført i jernbeton som 2. etape af bebyggelsens gennemførelse. Imidlertid blev etapernes rækkefølge ændret, og højhuset blev placeret som sidste etape.

Da man gerne ønskede at fastholde bebyggelsens helhed i teglsten, nåede man i vintertiden frem til at følge den udvikling af muret byggeri op, der var under udvikling i U.S.A. og Schweiz og besluttede sig herefter til også at opføre højhuset i tegl, dels

under hensyn til ovennævnte ønske om bebyggelsens arkitektoniske helhed, men også under hensyn til de gode erfaringer man i øvrigt har for teglstensbyggeriets kvalitet samt for at få konstateret, om det murede byggeri også for højhuses vedkommende var konkurrencedygtigt i økonomi og tid med betonbyggeri.

I Schweiz viste udviklingen, at højhuse i tegl blev 10 - 15 % billigere end højhuse i jernbeton, og der opnåedes også en kortere byggetid.

Forsøget med Charlottehøjhuset har foreløbig vist, at de store krav til mursten, mørtel og murerarbejdets udførelse kan opfyldes.

Husets fundering er projekteret i samarbejde med Geoteknisk Institut, som har forestået de geotekniske jordbundsundersøgelser.

Da et muret højhus må forudses at være meget følsomt overfor sætninger i grunden, blev bygningen funderet på en 60 cm tyk jernbetonplade og samtlige vægge i kælderetagen er udført som jernbetonvægge med 25 cm tykkelse for indvendige vægge og 35 cm tykkelse for udvendige vægge.

De med denne funderingskonstruktion forudsatte sætninger på max. 4 cm med en max. differenssætning på 2 cm er ikke overskredet; ved de indtil nu foretagne kontrolmålinger er målt en maximal sætning på 3 cm og en maximal differenssætning på 1,6 cm, og disse sætninger har ikke foranlediget skader af nogen art.

Bygningens kloakledninger er indstøbt i fundamentspladen og dette har ikke givet anledning til gener. Ved en kontrolundersøgelse udenfor bygningens sydgavl, hvor bygningens kloakledning kommer ud af fundamentspladen, blev der ikke konstateret skader på kloakledningen foranlediget af husets sætninger.

I de 16 murede etager er indvendige skillevægge 23 cm, bortset fra enkelte vægge i parterreetagen, og ydermure er udført som 35 cm fuld mur i alle etager, isoleret indvendig med 6 cm molersten.

Til det bærende murværk er anvendt fuldbrændte, røde mursten med huller (19 stk. pr. normalsten). De anvendte sten har en middelstyrke på henholdsvis 400 kg/cm², 225 kg/cm² og 150 kg/cm².

Sten med middelstyrke 400 kg/cm² blev anvendt i de første 5 etager. Sten med middelstyrke 225 kg/cm² i de følgende 4 etager, og for de øvrige etager anvendtes sten af middelstyrke 150 kg/cm².

Mindre sten (halve, trekvarter og petringer) måtte ikke tildannes ved hugning af en normalsten, derfor har teglværket leveret disse som specialsten; der er ialt til højhuset medgået ca. 50.000 stk. af disse specialsten, og det har ikke under opmuringen medført gener at få disse specialsten fordelt og anvendt korrekt.

Mørtelen til det bærende murværk er enaktiveret blandingsmørtel bestående af 20 kg tørlæsset kalk, 80 kg cement og 500 kg sand. Denne mørtel er anvendt i alle etager.

Da der ikke herhjemme forefindes normer med beregningsgrundlag for murværk, er de statiske beregninger gennemført på grundlag af de i 1958 udgivne norske regler for projektering af teglstensmurværk.

De maximale tilladelige trykspændinger er fastsat udfra de norske regler med det heri tilladte tillæg på 25% for udførelse af materialeundersøgelser og særlig streng kontrol med arbejdets udførelse.

Med den angivne mørtel er de tilladte trykspændinger

for stenstyrke	400 kg/cm ²	-	30 kg/cm ²
"	"	225 "	- 24 "
"	"	150 "	- 16 "

De norske regler forudsætter, at der for en tilladelig trykspænding på 30 kg/cm² anvendes en sten med middelstyrke 450 kg/cm² med et tilladt minimum på 250 kg/cm². Ved dette højhus er der opnået godkendelse af en middelstyrke på 400 kg/cm², når et minimum på 320 kg/cm² kunne overholdes.

Ved de under husets opførelse foretagne materialeprøver var middelstyrken 416 kg/cm² med minimum 346 kg/cm².

For sten leveret med stenstyrke 225 kg/cm² fandtes ved materialeundersøgelser en middelstyrke på 371 kg/cm² med minimum 335 kg/cm². Der blev stillet forøgede krav til stenenes målnøjagtighed. Ved de udførte kontrolmålinger lå afvigelserne fra middeltal indenfor ± 3%.

Desuden stilledes der krav om en begrænsning af stenenes vandsugningsevne, det såkaldte minuttal, et krav der tager sigte på at sikre, at stenene ikke suger vand fra mørtelen og derved nedsætter den cementrige mørtels styrke og forringer forbindelsen mellem sten og mørtel.

De norske regler stiller ikke krav til stenenes minutsugning, men schweiziske regler for murværk til højhuse stiller sådanne krav. Afhængig af den tilladte trykspænding angiver de schweiziske regler, at minutsugningen for teglsten til højhusbyggeri ikke må være større end 15 - 20 g/dm²/minut.

Ved de foretagne materialeundersøgelser under Charlottéhøjhusets opførelse målttes minutsugningen for de stærke sten (400 kg/cm² trykstyrke) til midt del 16,5 g/dm²/minut med max. 18,4 g/dm²/minut. Ved sten med trykstyrke 225 kg/cm² målttes minutsugningen til middel 22 g/dm²/minut.

Inden opmuringen af højhuset påbegyndtes, blev murersvendene ved udførelse af prøvemuringer på Grundfør Teglværk instrueret om, hvorledes opmuringen ønskedes udført for at opnå helt fyldte fuger, og murermørtlens endelige konsistens blev her bestemt i samråd med murerne og Teglværkslaboratoriet.

Den anvendte blandingsmørtel var forudsat fremstillet ved til arbejdspladsen at levere 3,3% kalkmørtel og på maskine på arbejdspladsen blande denne kalkfattige mørtel med cementvælling til den rette konsistens og blanding.

Det blev hurtigt observeret, at murersvendene var meget opmærksomme på ændringer i mørtelens bearbejdelse og dens evne til at "stå" i baljen. Når murersvendene reagerede, blev mørtelen omgående undersøgt og ændret. Det blev herved ret tidligt konstateret, at et mørtelværk ikke kan levere kalkfattig mørtel fra en maskine, hvor der også fremstilles den normale 7,5 - 8% mørtel med en så nøjagtig kalkprocent, der her var krævet, og som skulle overholdes, derfor blev det nødvendigt at anstille en speciel aktivator, som udelukkende fremstillede den kalkfattige mørtel til højhuset.

Det blev også hurtigt konstateret, at variation i mørtelsandets indhold af fillermateriale havde stor indflydelse på, at mørtelens bearbejdelse var tilfredsstillende.

Der var, inden byggeriet blev påbegyndt, forudsat anvendt sand fra en bestemt grusgrav på Djursland, hvor sandet indeholdt en tilfredsstillende mængde fillermateriale, men ved de gentagne undersøgelser i starten blev det konstateret, at mængden af fillermateriale i sandet fra grusgraven kunne variere en hel del. Da ydermere den pågældende grusgrav standsede sin virksomhed og sand med tilstrækkeligt fillermateriale ikke kunne findes fra andre grusgrave, var det nødvendigt, at det normale strandsand blev tilsat granitmel som fillermateriale for at få fremstillet mørtel med tilfredsstillende og konstant ensartet bearbejdelse.

Opmuringsarbejdet på bygningen forløb tilfredsstillende.

Til husets opførelse blev brugt en "Linden" kran, type D19. Kranen blev klatret for hver 2. etage.

Til persontransport blev anvendt et "Magni" personhejs opstillet ved en af åbningerne til altangangene.

Murstenene blev tilkørt på lastbiler og stablet på paller (murstensbakker) 296 stk. på hver. Disse paller blev hejst direkte til arbejdsstedet på stillads eller etagedæk.

Kravene til nøjagtigheden i lod, vater og flugt for murværket gav ikke anledning til problemer.

Murerne var meget påpasselige med fugefyldningen under opmuringsarbejdet, men alligevel må det erkendes, at det er vanskeligt at opnå helt fyldte fuger i langfuger, f.eks. midterfugen i løberskiftet i 1 st. mure; det blev derfor for at opnå størst mulig sikkerhed for fyldte fuger tilladt, at 1 st. vægge over de 3 nederste etager blev opmuret uden løberskifte, således at disse mure består alene af kopskifter.

Skillevægge mellem køkken, toilet og entre er murede af molersten på kant.

I de indvendige vægge er døråbninger udført helt til loft for at undgå mulige revnedannelser i overgangen mellem ubelastet (mur over døre) og belastet murværk.

Facademure er opmuret over hånden, og fugen blev efter opmuring af hver 3 - 4. skifte komprimeret med et specielt udformet fugejern. Under opførelsen var der udvendig udført beskyttelsesskærme af træ, som ophængtes i indmurede bøjler af rustfrit stål. Skærmene fulgte opmuringen og flyttedes for hver anden etage.

Der er i de murede vægge ikke foretaget andre

udsparinger end nogle få lodrette riller til el-rør; disse riller blev udført ved fræsning med maskine.

Hvor varmerør passerer murværk, er der indmuret bøsninger under opmuringen.

I vinterperioden opmurede der med opvarmet mørtel og baljerne fyldtes kun ca. halvt op, idet den mørtelmængde kunne anvendes, inden mørtelens temperatur faldt for meget, og murværket blev hurtigst muligt beskyttet af måtter mod for stærk afkøling.

Alle loft- og vægflader er grov- og finpudsede. Lofferne er limfarvede, og væggene er tapetserede.

Affaldsskakte - 2 stk. - er udført på traditionel vis af betonrør, afsluttet i skaktboxe i kælderen, og med luger fra altangang. Tagkonstruktionen består over øverste betondæk af et ventileret "Leca"-betonklinkelag med 4 - 5 cm afretningslag, 2 lag pap og med fald mod midten.

Altanbrystninger i husets vestfacade, bjælker over vinduer, trin og skærmelementer til nødtrappen er udført på betonfabrik og monteret samtidig med opmuringen.

Etagedæk og bærende tagplade består af 12 og 14 cm jernbetondæk støbt på stedet. Gulvene er trægulve på opklodsede strøer. For enden af de murede tværvægge mod altangangen er der udført jernbetonsøjler som bærende konstruktion for altangangens betonbjælker. Ved indgangene til lejlighederne står disse søjlers forbindelse med murværket synlig, men der er ikke indtil nu konstateret nogen form for tendens til revnedannelse mellem disse søjler og murværket.

Facade mod altangang er udført som snedkerpartier med tophængte rammer fra køkkener og toiletter. Udvendig er beklædt med "Eternit" og indvendig med gipsplader. Hulrum er isoleret med 10 cm "Rockwool" Bats. I toiletter er indvendig opmuret $\frac{1}{2}$ stens mur mod facadeelementerne, og denne og øvrige vægge i toiletter er beklædt med fliser, 10 rækker i højden.

Køkkener er udført som elementkøkkener, i mallet udførelse, og med køkkenbord af rustfrit stål.

Indvendige døre er glatte og maledede. Karmene går til loft, og der er fast glas over dørene.

Der er i huset installeret 2 elevatorer med døre, beklædninger og kupeer af stål. Hejsehøjden er 0,9 - 1,25 m pr. sek. med koll. kald for nedadgående trafik. Den ene betjener de lige - og den anden de ulige etager.

Den elektriske installation er i det væsentlige udført mellem etagedæk og gulv. Der er kun udført begrænset udfræsninger for lodrette rør. Stikkontakter er anbragt umiddelbart over fodlisterne for at undgå udhugninger, og der er under opmuringen foretaget udsparinger for disse. Afbrydere er anbragt i sidefylding ved døre, idet alle dørhuller er udført 109 cm i murmål.

Huset opvarmes af et 2-strengt centralvarmeanlæg fra en i bebyggelsen fælles varmecentral. Rørbøsninger, for vandret fordeling i parterreetaen, blev indmuret samtidig med opmuringen.

Faldrør, som i de nederste er 15 cm, blev opstillet før dækstøbningen.

Ved projekteringen og planudformningen må man være opmærksom på, at et muret højhus kræver store sammenhængende murflader såvel i husets tvær- som længderetning.

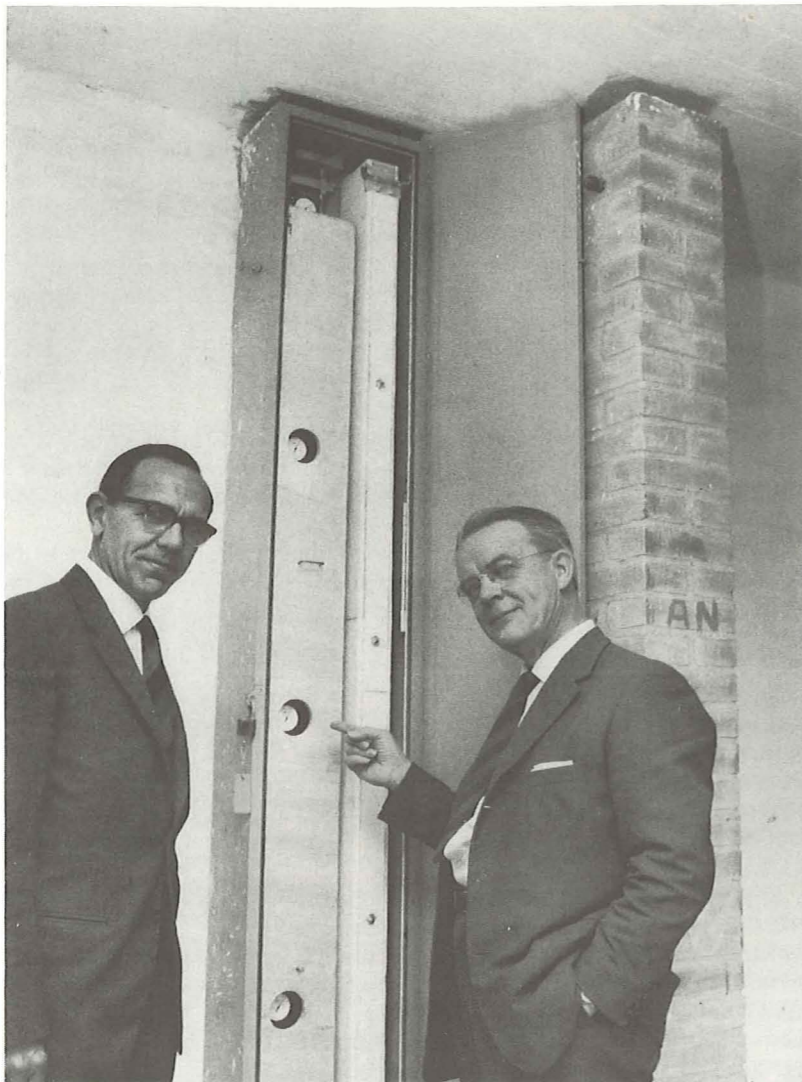
Det er en betingelse under projekteringen at få fastlagt sine installations- og inventararbejder, da det er nødvendigt at få bestemt alle gennemføringer, udsparinger, fastgørelser m.m. i murværket, inden den endelige beregning af de statiske konstruktioner udføres. Den nøjagtighed murværket i huset kan udføres med, vil i det murede byggeri kunne udnyttes med en anden indvendig vægbehandling end den traditionelle grov- og finpudsning, idet det viste sig, at den sædvanlige udtørringstid ikke er påkrævet i den pågældende murværkskvalitet.

Vi tænker i stedet anvendt en sækskuring eller anden form for tyndpuds.

Opmuringen, der blev foretaget over hånden fra indvendigt stillads, medførte mindre ulemper ved de efterfølgende arbejder.

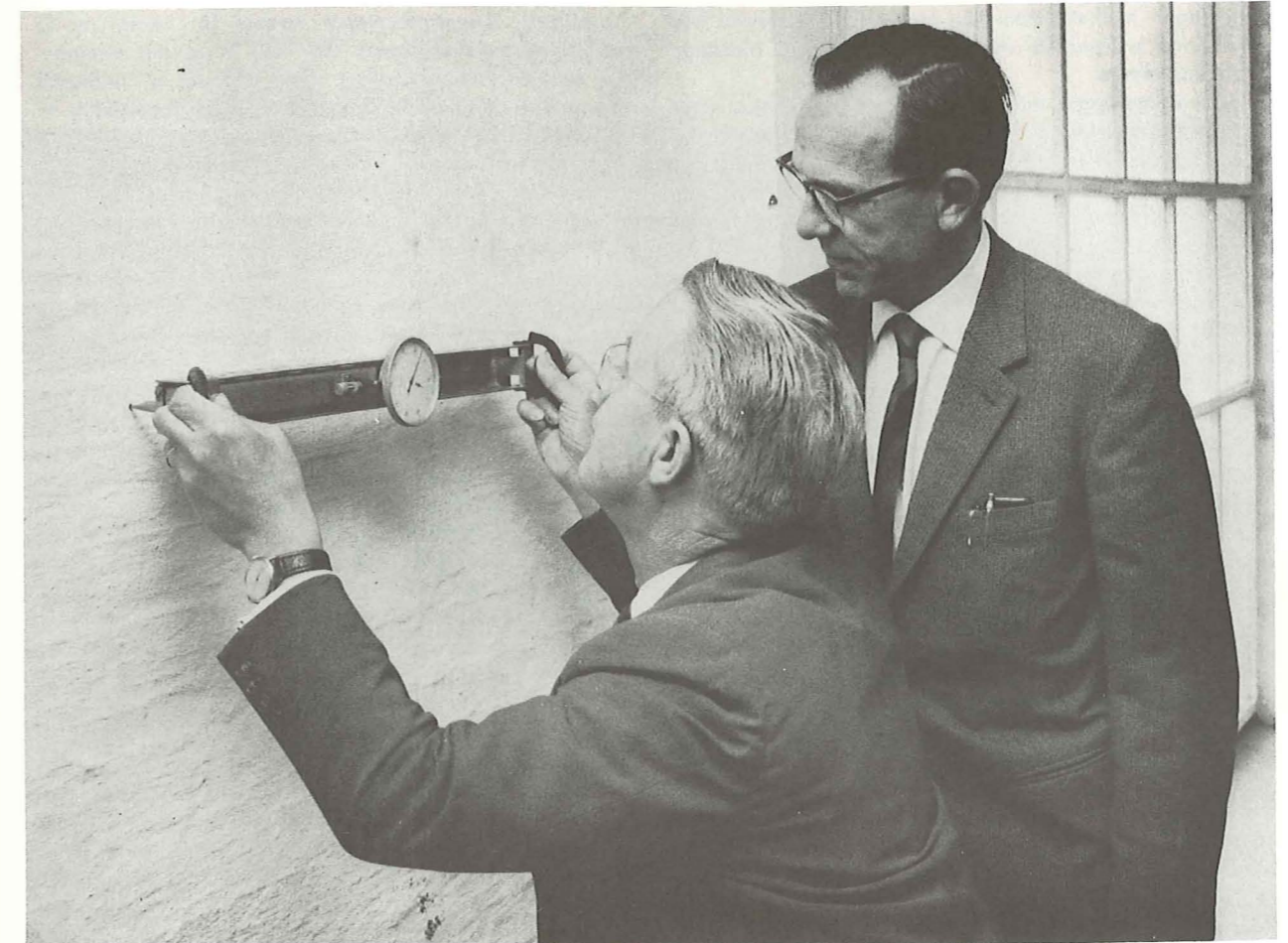
Mørtelspild kunne ikke helt undgås, hvilket medførte at rensninger, uden at have et udvendigt stillads, var mere besværlige og ikke helt gav den finish, som var ønsket. Det var især galt, hvor den nedfaldende mørtel ramte beskyttelsesskærmene. Et udvendigt stillads ville også have forenklet indsætningen af vinduespartier, fugning omkring og maling af disse. Endvidere ville en belysning af byggepladsen i vinterperioden være lettere at etablere fra et udvendigt stillads.

Entreprenørerne har givet udtryk for, at udgiften til et udvendigt stillads ikke vil medføre nogen væsentlig merudgift, når fordelene herved udnyttes til de ovenfor omtalte efterarbejder.



Fra tidsskriftet TEGL nr. 3, 1962.

På billedet ses ingeniør Børge Andersen og laboratorieforsker H. Dührkop ved skabet. Apparatet med de tre måleure er den »bjælke«, hvormed der måles udbøjning. Til højre i skabet er monteret en kontrolbjælke med varmeisoleringsmateriale, der skal modvirke generende temperatursvingninger. Bag målebjælken er apparatet til måling af lodrette længdeændringer skjult, og til højre for skabet ses en kontrolpille, ved hjælp af hvilken man følger temperaturens og andre forholdes indflydelse på ubelastet murværks deformationer. Til kontrol med temperaturen er der ved alle målesteder indmuret termoelementer.



De vandrette længdeændringer måles med en tysk »Setzdehnungsmesser«.

Som et led i forarbejderne foretog vi sammen med direktør Erik Nymark fra »De forenede Teglværker ved Århus« og laboratorieforsker Henry Dührkop fra Kalk- og Teglværkslaboratoriet en studierejse til de schweiziske teglhøuse og fik herigennem yderligere inspiration til at arbejde videre med sagen.

– I første omgang var højhuset dog kun på 12 etager, senere blev det på 14, og nu er det altså på 16 etager.

– Der må vel stilles strengere krav til materialer og arbejdsudførelse end de normale?

– Ja, vel stilles der strengere krav, men kravene til murstenene er ikke strengere, end at der i alle egne vil findes teglværker, som kan opfylde dem, og kravene til arbejdsudførelsen svarer kun til de krav, man i almindelighed bør stille til gedigent, regntæt og solidt murværk. Kravene til stenene omfatter dels krav til stenenes nøjagtighed, målafvigelsen fra middeltallet ved en stenværelse må ikke overstige $\pm 3\%$, og middeltallet må højst afvige 3 mm fra normalmålet for længde og bredde og højst 2 mm fra normalmålet for tykkelse. Disse krav skal opfyldes af mindst 90% af stenene. Det betyder naturligvis en skærpelse sammenholdt med de normale tolerancekrav, som er $+4\%$ til -8% , men tendensen har jo i de senere år generelt gået i retning af mere og mere nøjagtige teglprodukter.

Endvidere stilles der krav til stenenes sugsevne; her arbejder man med et begreb, som vi i Danmark har

kaldt minutsugning. Minutsugningen bestemmes ved at veje den tørre sten, holde den ene liggeflade 1 cm under vand i ét minut, veje igen og dividere vægtstigningen i gram med liggefladens areal i dm^2 . Som øvre grænse for minutsugning blev bestemt som middeltal for 10 sten blev sat 22 gram pr. dm^2 .

Endvidere har vi stillet det krav, at stenenes styrke bestemt som middeltal af trykstyrken for 10 sten skal være 400 kg pr. cm^2 , og ingen af enkeltværdierne har afvejet mere end 20% fra middeltallet. Dette sidste svarer til, at en enkelt mursten kan bære et lokomotiv eller et enfamiliehus, der vejer op til 100 tons. De krav, man hidtil har opereret med i husbygningsnormerne, er for fuldbændte mursten 150, for hårdtbrændte 225 og for klinkbrændte 300 kg pr. cm^2 . Endvidere er der stillet strenge krav til mørtelen. Murværket er opmuret i en meget cementrig, aktiveret kalk-cementmørtel, betegnet ved KC 20/80/500. En så cementholdig mørtel kan det være vanskeligt at gøre tilfredsstillende bearbejdelig for mureren, men ved at arbejde med sand med reguleret kornkurve, således at mørtelsandet indeholder såvel meget fine som grovere sandskorn, kan man fremstille en mørtel, som er bekvem at arbejde med, og som ikke sætter vand op, så den ustandselig skal oprøres i baljen.

Alle disse krav tager sigte på at opnå stærkt murværk og at sikre, at murværkets udførelse kan ske med

Det murede højhus i Århus

En samtale med rådgivende ingeniør Børge Andersen i anledning af opførelsen af det første danske teglhøjhus

– Ingeniør Andersen, var det ikke en dristig opgave at gå i gang med et sådant højhus?

– I vort firma har vi allerede i en årrække arbejdet med beregning af murværk. Det første byggeri, hvor vi for alvor regnede på murværket, var Rytterparken, en blokbebyggelse på 3–5 etager, hvor alt murværk er udført som bærende murværk. Naboer til højhuset, en 7-etages boligblok, er ligeledes udført med alt murværk bærende. Gennem forhandlinger med bygningsinspektøren for Århus kommune, som vi løbende har haft et snævert samarbejde med i disse spørgsmål, fik vi de fornødne dispensationer fra de almindelige »skomagerregler«, som er nedfældet i normer for husbygning, således at vi f. eks. i stueetagen i blokken på de 7 etager

kan nøjes med en murtykkelse på 35 cm i stedet for reglementets 59 cm. Også ved de lavere blokke opnåedes der imidlertid fordele gennem ingeniørmæssig dimensionering af murværket.

Bebyggelsesplanen for det område af Århus, hvorpå højen er beliggende – Charlottetøj – stammer fra 1949–50, og allerede heri var der forudset placeret et højhus på dette sted. Problemer omkring højhusbyggeri på det tidspunkt bevirkede imidlertid, at man indtil videre udskød opførelsen af dette højhus, og det var egentlig artiklen om de schweiziske højhuse af tegl i tidsskriftet »Lerindustrien«, som inspirerede arkitekt Salling-Mortensen og Boligforeningen »Ringgaarden« til at gå i gang med et projekt og opføre dette murede højhus.

fyldte fuger, hvilket sidste ikke blot er af afgørende betydning for murværkets regntæthed, men også bidrager til murens styrke.

Under opmuringen må henlagte sten ikke flyttes efter de er lagt; den såkaldte »slaglodning«, hvor mureren retter f.eks. et hjørne lidt ind i forhold til loddebrættet ved hjælp af murerhammeren, kan ikke tillades. Endvidere gælder det krav, at stenen ikke må hugges, som man jo ellers er vant til det når man skal fremstille 1/2- eller 1/4-sten, derfor har Grundfør Teglværk måttet fremstille ikke mindre end 8 forskellige formater.

De otte murersvende, der har hennuret stenene, udførte før arbejdet påbegyndtes prøvemure og fik herved til-egnet sig den mureteknik, som vi ønskede anvendt ved højhusets opførelse, og har udført et fint stykke arbejde. Opmuringen er sket over hånd fra dæk og indvendigt stillads, og arbejdspræstationerne har ligget på ca. 900 sten pr. dag pr. murer; med andre ord ser det ikke ud til, at de skærpede krav til arbejdets udførelse og muringen over hånd har influeret nævneværdigt på produktiviteten. Lst har i øvrigt været muligt at indhente noget af den forsinkelse, vi havde på fundamentsarbejdet.

Teglværkerne har klarer de skærpede krav med glans, minutsugningen har således ligget på 15-18 gram pr. dm², styrken med et middeltal på 416 kg pr. cm². Derimod var det vanskeligt at finde frem til egnet mørtelsand, det blev således nødvendigt for Aarhus Mørtelkompagni A/S at tilsætte granitfiller for at klare den fineste fraktion.

- Hvilken murtykkelse har De kunnet klare Dem med på basis af disse særlige krav?

- Facaderne er i 1 1/2 sten, det vil sige 35 cm, svarende i øvrigt til en almindelig murtykkelse i 3-etagers byggeri - og sammenholdt med en murtykkelse på ca. 2 meter ved grunden, dersom murværket var blevet fastsat i henhold til bygningsreglementet.

- Hvilket dimensioneringsgrundlag har De benyttet?

- »Dansk Ingeniørforenings normer for beregning af husbygningskonstruktioner« fra 1930 er jo det almindelige og officielle grundlag; disse normer er imidlertid ikke særlig detaljerede for så vidt angår beregning af murværk og er derfor til revision, idet et udvalg er i gang med at udarbejde egentlige normer for murværk-konstruktioner. Sådanne normer findes allerede i en række andre lande, og vi har - i forståelse med myndighederne - benyttet de norske normer, NS 421, regler for beregning og udførelse av konstruktioner i teglsteinsmurværk, som principielt grundlag. Disse normer indeholder særdeles detaljerede regler for dimensionering og arbejdsudførelse.

Jeg vil gerne understrege betydningen af, at fundamentet udformes så stift som muligt for at undgå farlige differenssætninger. Vi har i højhuset udført den nederste etage som helstøbt jernbeton, en fremgangsmåde, vi blev opmærksom på under studierejsen i Schweiz.

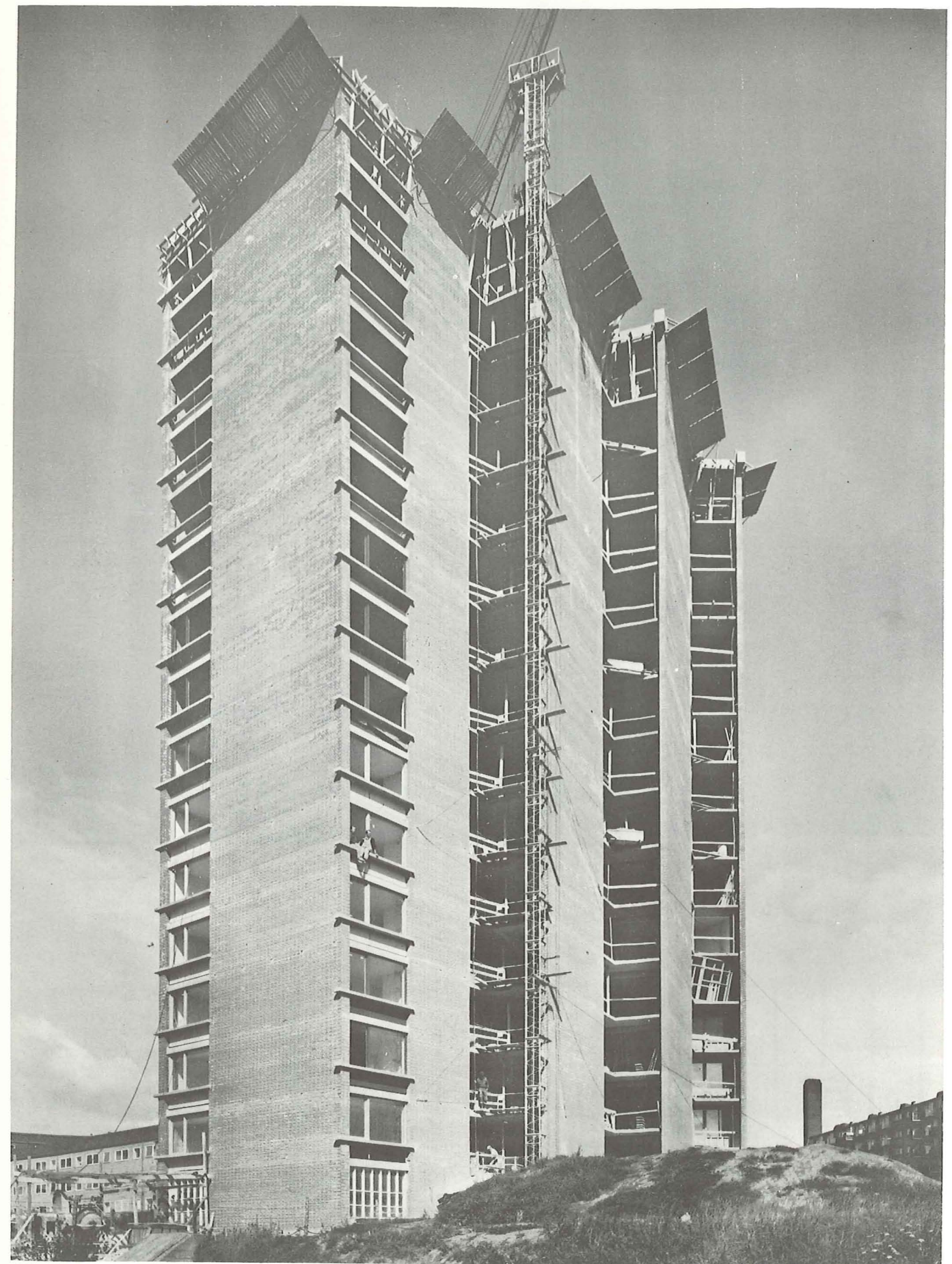
- Hvis vi ser bort fra den arkitektoniske side af sagen og spørger Dem om, hvorledes et rationelt højhus bør udformes, har De så gjort Dem nogle tanker i den retning på basis af dette første højhus i tegl?

- Alle er vist enige om, at det højhus, som arkitekt Salling-Mortensen her har tegnet, ikke virker som noget kaninbur, men måske snarere som et stykke smuk skulptur, med flader, som skærer hinanden i interessante »skæve« vinkler. Huset her er udformet med krydsarmerede dæk støbt på stedet. Det er ikke udelukket, at man kunne kombinere et muret højhus med anvendelse af dækelementer. Imidlertid kræver dette en speciel planløsning, hvor de bærende vægge ikke alle har samme retning, idet de i modsat fald ville gå ud over husets længdestabilitet. Jeg har gjort mig nogle tanker i denne retning og tror, at det statisk kan klares på en fornuftig måde.

- Og prisen for dette højhus?

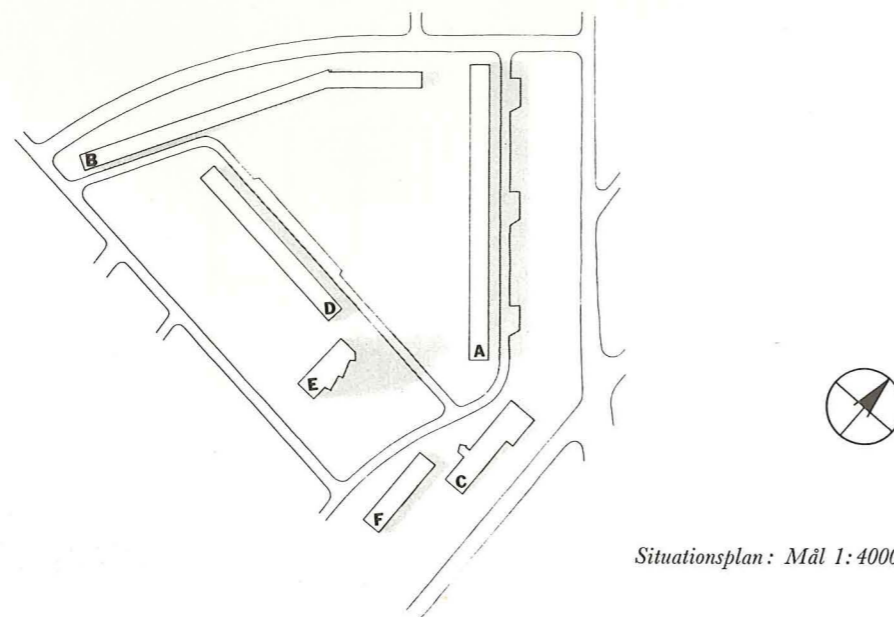
- Håndværkerudgifterne er ca. 2,8 mill. kr, og boligselskabet kalkulerer med en husleje på ca. 60 kr pr. m².

De følgende 4 sider er gengivet fra Teglgeregistret, udgivet af Teglundstriens Tekniske Tjeneste.



Charlottehøjhus indeholder 15 beboelsestager, parterreetage samt kælder. Kælderetagen er indrettet til cyklerum, skarnkasserum, ingeniørrum og enkelte pulterum, medens parterreetagen er forbeholdt vaskerier og pulterum. På 1. etage er indrettet kontorlokaler, og 2.-15. etage rummer ialt 72 lejligheder. Det samlede etageareal er 6.161,4 m². Højhuset, der er opført som sidste etape i en samlet bebyggelse med ialt 382 lejligheder, en børnehave og et butikshus, blev helt færdigt i sommeren 1963.

Højhuset set fra nordvest. Opholdsaltanerne i husets vestside er begrænset til de nederste 6 etager.

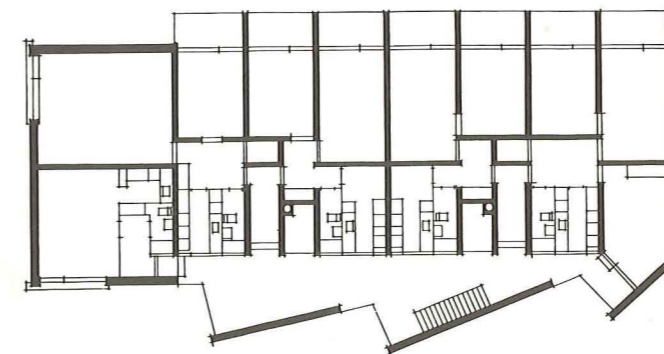


I bebyggelsesplanen for Charlottehøj, der er udarbejdet i 1950, indgår 6 blokke med følgende etageantal: Blok E har 16 etager, blok A og B er på henholdsvis 7 og 4 etager, blok D og F indeholder 3 etager og blok C er opført i 2 etager. Have- og gårdanlægget er projekteret af havearkitekt J. Arevad-Jacobsen.

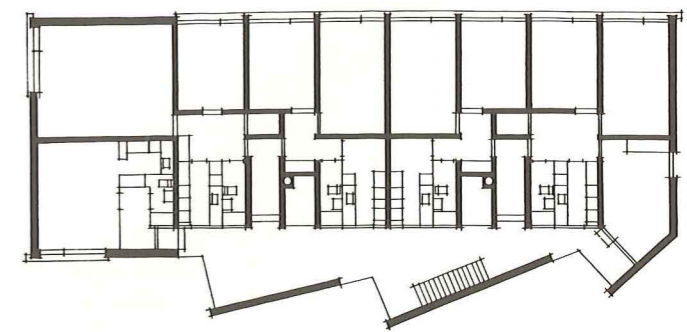
Situationsplan: Mål 1:4000

Vinduerne består af en stor fast isolationsrude og en indadgående sidehængt ramme med kip-hæve beslag. De er udformet som snedkerpartier med brystninger udvendig beklædt med mørkegrå Eternit. Da brystningerne er ret lave, er der i højde med vinduets underkarm ført et skærmelement af beton frem foran murflugten, så svimmelhedsfornemmelser kan undgås. Elementet har en sådan bredde, at vinduespudderen kan træde ud herpå, og ved hjælp af en sikkerhedssele, der fastgøres i en indstøbt bojle i betonbjælken over vinduet, sikkert kan udføre vinduespuddningen.

Adgangen til lejlighederne sker fra altangange, hvis udformning med skærmvægge giver et sluttet eksterior. Altangangene danner ud for hver etage et gårdareal, der kan befærdes uden svimmelhedsfornemmelser. Arealet er tænkt anvendt til parkering af barnevogne og leg for mindreårige børn.



Etageplan for 2.-6. etage



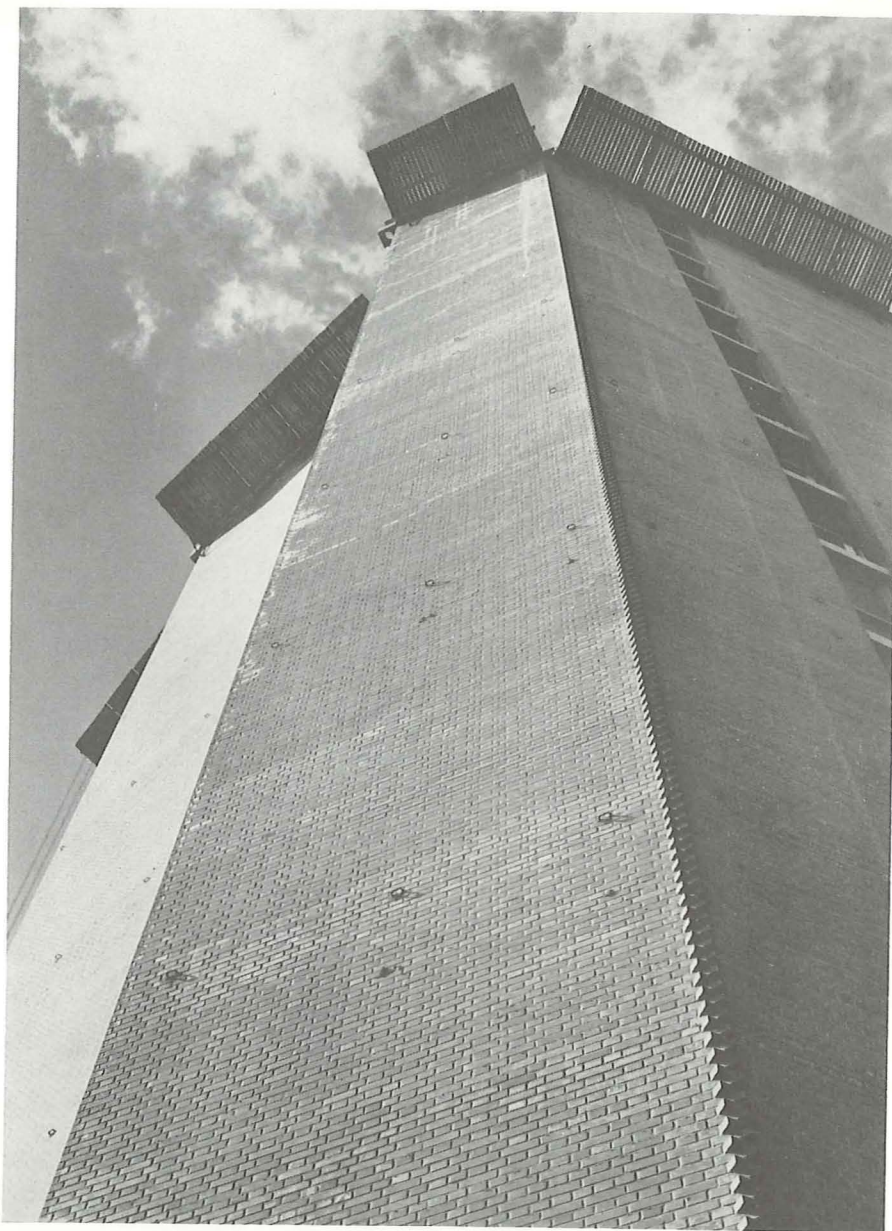
Etageplan for 7.-15. etage

Mål 1:400



Højhuset set fra øst. Bemærk skærmelementerne under vinduerne.

Højhuset set fra nordost. Bemærk sammenkæringen mellem gavl og skærmvæg foran altangang. De hvide pletter og striber på facaden skyldes udblomstringer, som vil forsvinde af sig selv i løbet af relativt kort tid.



Bygherre: Boligforeningen „Ringgaarden“
Ingeniør for konstruktioner: K.F.W. Askøes Eftf.
Ingeniør for installationer: I.O. Christensen.

Hele bebyggelsen er opført af beregnet murværk baseret på de norske normer, NS 421: „Regler for beregning og udførelse af konstruktioner i teglsteinsmurværk“. Fundamentet består af en 60 cm tyk jernbetonplade under hele bygningen. For at opnå nødvendig stivhed er alle vægge i kælderetagen udført af jernbeton. Alle etager er udført med krydsarmerede dæk støbt på stedet. Tagkonstruktionen er 3 lag built-up på beton. I de 16 murede etager er indvendige skillevægge 23 cm, bortset fra enkelte vægge i parterreetagen. Ydermure er udført som 35 cm fuld mur i alle etager, isoleret indvendig med 6 cm moler. I indvendige vægge er døråbninger ført helt til loft for at undgå mulige revnedannelser i overgangen mellem ubelastet (mur over døre) og belastet murværk.

Facademure er opmuret over hånden i blokforbandt. Fugen blev efter opmuring af 3 til 4 skifter komprimeret med et specielt udformet fugejern. Under opførelsen anvendtes udvendige beskyttelseskærme af træ, fastgjort i indmurede bøjler af rustfrit stål. Skærmene fulgte opmuringen og flyttedes for hver anden etage. Der er anvendt røde, specialfremstillede maskinsten fra Grundfor Teglværk, idet der her blev stillet strengere krav end normalt til stenenes nøjagtighed, sugæevne og trykstyrke. Trykstyrken er således 400 kg/cm². Da det endvidere var et krav, at stenene ikke måtte hugges, var det nødvendigt at fremstille ikke mindre end 8 forskellige formater. Murværket er opmuret i en færdig fremstillet meget cementrig, aktiveret kalk-cementmørtel, betegnet KC 20/80/500.

Opgørelse over materialeforbrug af Statens Byggeforskningsinstitut

På grundlag af fakturaer og følgesedler, som blev stillet til rådighed af entreprenørerne, har SBI opgjøret materialeforbruget for de vigtigste varegrupper, det vil sige fortrinsvis for råhusets materialer.

Materialeforbruget ialt og pr. lejlighed til råhuset vil fremgå af tabellen. Ved beregning af forbruget pr. gennemsnitslejlighed er kontorlokaleetagen omregnet til lejligheder, svarende til den umiddelbart over kontorlokaleetagen beliggende beboelsesetage, medens parterreetagen, der er indrettet til pulterrum, ikke er medtaget i lejlighedsantallet.

Til byggeriet forelå ved licitationen en detaljeret beskrivende mængdefortegnelse. En sammenligning mellem de i mængdefortegnelsen angivne teoretiske nettomængder og det faktiske forbrug viser for langt de fleste materialers vedkommende stor overensstemmelse, når der tages hensyn til en rimelig spildprocent.

Det samlede murstensforbrug har været 1,11 mill. normalsten, heri indbefattet specialsten omsat til normalsten. Forbruget afviger mindre end 1% fra den teoretiske nettomængde. Denne usædvanligt lille spildprocent kan forklares ved, at der intet spild har været ved tilhugningen, idet alle sten som afveg fra normalformatet blev leveret tilskåret.

Mørtelforbruget udviser en relativ høj spildprocent, hvilket dels kan forklares ved at facaderne har været muret over hånden, og dels ved de ekstraordinære krav til murværkets kvalitet.

For betonmaterialernes vedkommende, det vil sige cement, grus og sten, kan en sammenligning med mængdefortegnelsens opgivelser være vanskelig, idet der i byggeriet også er indgået færdigblandet beton, og der er tillige udført en del ekstrafun-

MATERIALEFORBRUG TIL RÅHUS

		Forbrug ialt	Forbrug pr. lejlighed (82,2 m ²)	Forbrug pr. m ² bruttoetageareal
Cement	kg	574.150	7.655	93,2
Grus	m ³	1.107	14,8	0,18
Sten	m ³	1.493	19,9	0,24
Færdigblandet beton	m ³	58,4	0,8	-
Betonelementet (brystninger, bjælker, trapper m.v.)	m ³	64,0	0,9	-
Alm. armeringsstål	kg	28.374	378	4,6
Tentorstål	kg	70.848	945	11,5
Facademursten	stk.	710.465	9.473	115,3
Bagmursten	stk.	324.600	4.328	52,7
Molersten	stk.	82.400	1.099	13,4
Kalkmørtel	m ³	1.192	15,9	0,19
Vægfliser	stk.	44.310	591	-

dering. Yderligere er en del cement og grus anvendt til opmuring- og pudsearbejder. Når der tages hensyn til disse forhold, samt afvigelser forårsaget af sætninger af støbeforme og små unøjagtigheder ved støbehøjder i dækkene, giver betonmaterialeforbruget sammenlignet med mængdefortegnelsen ingen anledning til bemærkninger.

Opgørelse over arbejdskraftforbrug af Statens Byggeforskningsinstitut

SBI har opgjøret arbejdskraftforbruget således som det fremgår af tabellen. Opgørelsen er fortrinsvis foretaget på grundlag af en gennemgang af entreprenørernes ugesedler, for visse fags vedkommende er forbruget dog direkte opgivet af entreprenørerne.

Ved udregningen af forbruget pr. gennemsnitslejlighed er kontorlokalet omregnet til lejligheder på samme måde som ved udregningerne af materialeforbruget.

Sammenholdes det opgjorte murstensforbrug på 1,11 mill. mursten med det arbejdskraftforbrug, som er medgået ved opmuringen, kan produktionen pr. 8 timers arbejdsdag beregnes til ca. 900 mursten pr. murersvend.

ARBEJDSKRAFTFORBRUG

	Arbejdstimer ialt	Arbejdstimer pr. lejlighed (82,2 m ²)	Arbejdstimer pr. m ² bruttoetageareal
Faglært arbejdskraft:			
Murerarbejde: opmuring	9.769	130	1,59
øvrige murerarbejde	9.576	128	1,55
Tømrerarbejde	3.480	46	0,56
Snedkerarbejde	22.090	294	3,59
Glarmesterarbejde	1.331	18	0,22
Blikkenslagerarbejde	490	7	0,08
Varmeinstallation	1.828	25	0,30
Sanitetsinstallation	1.978	26	0,32
Smedearbejde	3.665	49	0,59
El-installation	3.610	48	0,59
Malerarbejde	10.962	146	1,78
Faglært arbejdskraft ialt	68.779	917	11,17
Ufaglært arbejdskraft:			
Jord-, beton- og jernbetonarbejde	16.800	224	2,73
Kloakarbejde	976	13	0,16
Murerarbejde: opmuring	4.090	55	0,66
øvrige murerarbejde	6.593	88	1,07
Isoleringsarbejde	412	5	0,07
Terrazzoarbejde	986	13	0,16
Kranførere	3.200	43	0,51
Ufaglært arbejdskraft ialt	33.057	441	5,36
Arbejdskraftforbrug ialt	101.836	1.358	16,53

Oversigt over håndværkerudgifter

Lejligheder: 72
Etagekvadratmeter: 6161

Oversigt over arbejder	Kr.	Kr./m ²	%
1 Jordarbejde	3.611	0,59	0,12
2 Kloakarbejde	21.021	3,41	0,67
3 Varmekanaler			
4 Betonarbejde			
5 Diverse murer og jord	1.362	0,22	0,04
6 Betonelementer			
7 Murerarbejde	1.383.618	224,58	44,07
8 Flisegulve			
9 Terrazzoarbejde			
10 Tømrerarbejde	177.763	28,85	5,66
11 Lægteskillevægge			
12 Blitzbehandling			
13 Gulve	12.679	2,06	0,39
14 Tagpaparbejde	9.355	1,52	0,30
15 Snedkerarbejde I.			
16 Snedkerarbejde U.	525.945	15,37	16,75
17 Vinduesbundplader	13.187	2,14	0,42
18 Tætningslister			
19 Stålvasker			
20 Elementkøkkener			
21 Kældervinduer			
22 Glarmesterarbejde	120.498	19,56	3,84
23 Blikkenslagerarbejde	4.595	0,75	0,15
24 Radiatorer			
25 Vand- og sanitetsarb.	155.105	25,18	4,94
26 Vandstik	4.503	0,73	0,14
27 Opvarmning	151.789	24,64	4,84
28 Varmtv.- og varmemål.	10.920	1,77	0,35
29 Varmtvandsbeholdere			
30 Gaskomfurer			
31 Isolering	7.829	1,27	0,25
32 Ventilation			
33 Skarnkasser			
34 Smedearbejde	36.475	5,92	1,16
35 Cyklestativer	2.468	0,40	0,08
36 El-arbejde	147.963	24,02	4,71
37 Antenneanlæg	16.977	2,76	0,54
38 El-stik	3.867	0,63	0,12
39 El-komfurer	33.011	5,36	1,05
40 Køleskabe	44.780	7,27	1,43
41 Installationer i vaskeri			
42 Vaskeribygning			
43 Malerarbejde	155.782	25,29	4,96
44 Tapet			
45 Bænke			
46 Skilte			
47 Altankasser			
48 Måtter			
49 Sikringsrum			
50 Vaskerianlæg	29.934	4,86	0,95
51 Varmecentral			
52 Kedler m.m.			
53 Vinterbyggeri			
54 Uforudseelige udgifter	5.149	0,90	0,16
55 Returneret OMS	104.843	17,02	3,34
56 Diverse	1.964	0,32	0,06
57 Diverse	162.066	26,31	5,16
Arbejderne ialt	3.139.377	509,56	99,98

Oversigt over anlægs- og driftsudgifter

Etagekvadratmeter: 6161

Bestanddele	Kr.	Kr./m ²	%
A ANSKAFFELSESSUM			
I Grund incl. vej og kloak	242.175	39,31	4,58
II Håndværkerudg.	3.139.377	509,56	59,38
III Omkostninger excl. kurstab	741.376	120,32	14,02
IV Kurstab og indskud	4.122.928	669,19	77,98
	1.163.766	188,90	22,02
	5.286.694	858,09	100,00
B FINANSIERING			
I Kreditforening	2.200.000	357,08	41,61
II Hypotekforening	830.000	134,72	15,70
III Realkreditforen.	1.895.000	307,58	35,85
IV Beboerindskud	280.000	45,44	5,30
V Komm. tilskud	31.200	5,07	0,59
VI Statstilskud	41.600	6,78	0,79
VII Diverse	8.894	1,45	0,16
	5.286.694	858,09	100,00
Nettoprovenu	4.114.034		
C DRIFTSUDGIFTER			
1 Kreditforening	117.216	19,03	31,34
2 Hypotekforening	49.800	8,08	13,31
3 Realkreditforen.	135.222	21,95	36,15
	302.238	49,06	80,80
ØVRIGE DRIFTSUDGIFTER			
4 Grundskatter	2.500	0,41	0,67
5 Vandafgifter	3.900	0,63	1,04
6 Assurance, brandvæsen	2.615	0,42	0,70
7 Udvendig vedligeholdelse	20.983	3,41	5,61
8 Gårdmand, renholdelse	12.490	2,03	3,34
9 Afskrivning på tekniske anlæg	19.485	3,16	5,21
10 Belysning	2.400	0,39	0,64
11 Bidrag til dispositionsfond	1.800	0,29	0,48
12 Administration	4.500	0,73	1,20
13 Revision			
14 Diverse udgifter	1.175	0,19	0,31
	374.086	60,72	100,00
D LEJE			
Faktisk leje		52,22	
Driftstilskud		8,50	
		60,72	

Murværks bæreevne

af Ole Glarbo

Forsøg udført på Laboratoriet for Bygningsteknik i forbindelse med højhusbyggeriet i Århus 1962-63.

Murværks bæreevne som funktion af stenstyrke og format, mørtelfugernes tykkelse og mørtelens styrke samt murens højde og øvrige dimensioner samt belastningens beliggenhed er endnu langt fra kendt, skønt murværk hører til de almindeligst anvendte bærende konstruktioner i husbygning.

Det var derfor naturligt i forbindelse med det dengang forestående højhusbyggeri i Århus i murværk af teglsten i normalformat, i hvilket byggeri man kunne forvente stærkere påvirkede mure end man hidtil havde været stillet overfor, at udføre orienterende forsøg over murværk svarende til det man agtede at anvende.

Formålet med denne forsøgsrække har været at finde frem til sammenhængen mellem etagehøj mures brudspænding og de i indledningen nævnte faktorer, både ved at anvende opmuringsmørtel med signifikant forskellige styrker og ved at måle såvel stenedes som mørtelfugernes deformationer og murens sammentrykning, tværudvidelse og eventuelle udbøjning.

I forsøgsrækken indgik også samtidig udførte forsøg med korte murpiller, for at se om det var muligt fra sådanne lettere gennemførlige forsøg at slutte sig til de etagehøj mures bæreevne.

Forsøgsprogrammet

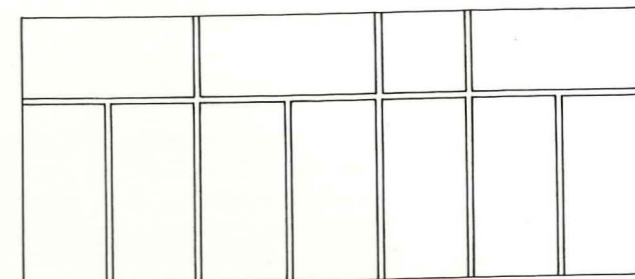
Forsøget omfattede 18 prøvelegemer, murvægge og murpiller, således som det fremgår af nedenstående skematiske oversigt over forsøgsprogrammet.

Skematisk oversigt over forsøgsprogrammet

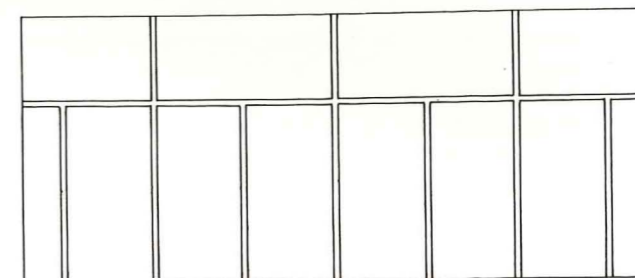
Prøvelegemernes antal og art	Tværsnit		Højde		Opmuringsmørtel	Belastning
	sten	ca. cm	skifter	ca. cm		
2 murvægge	1½x3½	35x84	39	266	KCM	ctr.
2 "	-	-	-	267	-	exc.
2 "	-	-	-	264	CM	ctr.
2 "	-	-	-	267	-	exc.
2 "	1x3½	23x83	-	265	KCM	ctr.
2 "	-	-	-	265	-	exc.
3 murpiller	1x1½	23x35	17	116	-	ctr.
3 "	-	-	-	117	CM	ctr.

Som det ses er der murvægge med 2 forskellige tværsnit, opmuret enten i en kalkcementmørtel (KCM) eller cementmørtel (CM) og enten belastet centralt eller excentrisk med en excentricitet svarende til kerneradius, hvilket teoretisk skulle betyde, at kantspændingerne ved de lange sider skulle blive henholdsvis nul og det dobbelte af middelspændingen. For hver type og påvirkning er der her to prøvelegemer. Desuden omfatter forsøget 6 murpiller, de 3 opmuret i KCM og de 3 i CM, alle centralt påvirkede.

Opmuringen af de 1½ x 3½ stens murvægge skete efter dette skema:



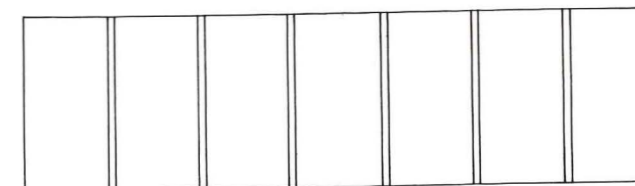
Ulige skifter



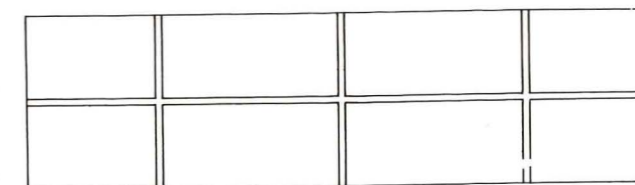
Lige skifter

Krydsforbandt med petring ved to hjørner

For de 1 x 3½ stens murvægge brugtes følgende skema:



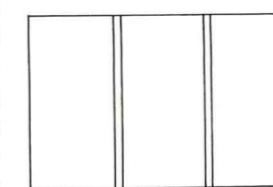
Ulige skifter



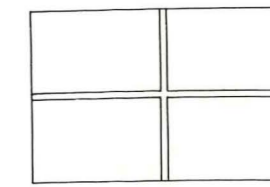
Lige skifter

Blokforbandt

Endelig skete opmuringen af murpillerne efter dette skema:



Ulige skifter



Lige skifter

Blokforbandt

I forbindelse med disse hovedforsøg udførtes prøvning af de anvendte materialer, idet dog prøvningen af teglstenene udførtes på Kalk- og Teglværkslaboratoriet i Århus.

Materialer

Der brugtes ved forsøgene følgende materialer:

Mursten: Teglsten med høj trykstyrke, over 400 kg/cm², såkaldte højhussten.

Portland-cement: Standard kvalitet.

Hydratkalk fra A/S Fakse Kalkbrud.

Tilslagsmaterialer til mørtelfremstilling var El-lekildesand og stenmel.

Angående de anvendte teglsten anføres:

Trykstyrke 443 kg/cm² mod normernes krav om 150 - 225 og 300 kg/cm² for henholdsvis hel-, hårdt- og klinkbrændte sten. Teglmassens rumvægt i tør tilstand var 1935 kg/m³, en høj værdi, som svarer godt til den høje styrke. Af interesse for opmuringen er den såkaldte minutsugning, der androg 12,9 g/dm², et tal, der for sædvanlige sten ligger på 30 - 50 g/dm².

Cementen og kalken prøvedes ikke, medens **tilslagsmaterialerne** til mørtelfremstillingen forsøges sammensat således, at kornkurven kom til at svare til den af "Nordisk Pudskomiteé" angivne. Man fik dog et mørtelsand med FM = 1,8, medens man helst skulle have nået ca. 2,3. Kornformen i tilslagsmaterialerne var dog en sådan, at mørtelens vandforbrug ikke blev væsentlig forøget.

Mørtlerne. Som anført brugtes kalkcementmørtel og cementmørtel. De var af sammensætningerne KCM 40/60/660 og CM 100/300. Mørtlerne blev proportioneret, men den endelige vandmængde bestemtes af mureren for passende arbejdskonsistens og herved blev vandmængden for de to mørteltyper forøget med ca. henholdsvis 8% og 30% i forhold til det proportionerede.

Murpillernes fremstilling og opbevaring

Opmuringsmønstrene er vist ovenfor. De 3½ x 1½ stens mure var muret i en slags krydsforbandt, hvert andet skifte med 7 bindere og 3 løbere + ½ sten, hvert andet skifte med 6 bindere + 2 petringer og 2 løbere + 2 stk. ¾ stens løbere, hvorved alle stødfuger er forsæt for hinanden.

De 3½ x 1 stens mure udførtes naturligvis med 7 sten i hvert andet skifte og med den langsgående fuger i de andre skifter midt i muren og ¾ sten ved enderne, hvorved alle stødfuger er forsæt for hinanden.

1½ x 1 stens pillerne murede endelig med 3 sten i et skifte vekslende med 4 stk. ¾ sten på den anden led, hvorved fugekrydsets korte stykke ligger på langs over det underliggende skiftes midterste sten, medens det lange stykke ligger i pillens midterste plan.

Opmuringen skete som i "skærpet praksis" ved det omtalte højhusbyggeri og alt udførtes af samme faglærte murer. Der blev muret med fyldte fuger, således at stenene blev understøttet over hele fladen. Både under nederste og over øverste skifte var et 1 cm tykt mørtellag. I det nederste henmurede første skifte og i det øverste trykkedes en 20 mm stålblade ned, hvorved sikredes en ensartet understøtning ved senere prøvning.

Mørtelen fremstilledes portionsvis i blandemaskine og overførtes til balje; herefter tilførtes ikke vand.

Opmuringen af de 18 prøvemure og piller skete med 3 pr. uge i 6 uger.

Prøvelegemerne lagredes 10 uger i støbesal eller prøvesal, blev douchet ved slutningen af hver af de første 7 uger. Luftens temperatur og fugtighed varierede meget lidt. De prøvedes i 10 ugers alder.

Måling og vejning af prøvelegemerne blev foretaget umiddelbart før prøvningen. Her ud fra bestemtes rumvægt og efter prøvningen fugtighedsindhold. De fire 1½ stens mure i KCM vejede i middel 1845 kg/m³ med 0,4% standardafvigelse, de tilsvarende mure i CM vejede 1920 kg/m³ med 1,9% standardafvigelse. De fire 1 stens mure i KCM vejede 1865 kg/m³ med 2,2% standardafvigelse, medens de tre 1 x 1½ stens piller i KCM vejede 1680 kg/m³ med 13,1% standardafvigelse og de tre piller i CM vejede 1715 kg/m³ med 1,7% standardafvigelse.

Mørtelprøvelegemernes fremstilling og opbevaring samt resultaterne af mørtelprøvningen

For hver mørtelportion overført fra blandemaskine til balje udtoges fra denne repræsentative prøver til prøvning af bøjningsstyrke, trykstyrke, rumvægt og fugtighedsindhold.

Under hele lagringsperioden for mure og piller lagredes prøvelegemerne af de tilsvarende mørtler i murstenskasser anbragt oven på de respektive mure og piller og douchedes sammen med disse. Mørtlerne viste meget stor spredning i forsøgsresultaterne - størst for KCM; særlig synes mørtelen i to af de 3½ x 1½ stens mure at være af ringe kvalitet, hvilket dog ikke synes at have haft indflydelse på murenes bæreevne. KCM varierede i bøjningsstyrke fra 7 - 22 kg/cm² og i trykstyrke fra 23 - 57 kg/cm², medens CM for de tilsvarende påvirkninger varierede fra 38 - 69 kg/cm² respektive fra 118 - 248 kg/cm².

Spredningen i mørtelresultaterne må anses for meget stor, hvilket formentlig skyldes, at det desværre for sent opdagedes, at vedkommende laborant ikke var omhyggelig med sit arbejde.

Prøvningen og de i forbindelse hermed foretagne deformationsmålinger

Prøvningen af murene foretoges i Amsler's presse medens pillerne prøvedes i Alpha's presse. Prøvelegemerne fik en forbelastning på 1 - 2 kg/cm², og her læstes måleinstrumenternes nulstilling. Belastningen påførtes trinvis og der tilstræbtes 10 - 12 lasttrin til brud. Ved hvert lasttrin holdtes lasten konstant til måleurene kom i ro (sammenstrykning under 5 µ pr. 2 min. - dog kunne man for enkelte mure i KCM ikke vente på at urene kom så meget i ro).

Lastforøgelsen tog 1/4 af tiden, aflæsning af måleure ca. 1/4 af tiden og 1/2 af tiden gik med at vente på at urene kom i ro. Hvert forsøg tog normalt 2½ - 3 timer.

Iøvrigt noteredes belastningen ved første knitren, første revnedannelse i stenene, samt første drysning eller knusning i murværket.

De i forbindelse med forsøget foretagne deformationsmålinger var for murenes vedkommende

- 1) udbøjningen målt i midtertværplanet,
- 2) sammentrykningen målt på den midterste m,
- 3) sammentrykninger af sten samt sten + fuger ved midterskiftet ved murens endeflader,
- 4) vandrette deformationer ved midterskiftet i endefladerne, dels i fuger, dels over sten + studsfuger. For murpillerne foretoges omtrent tilsvarende målinger.

Prøvningsresultaterne

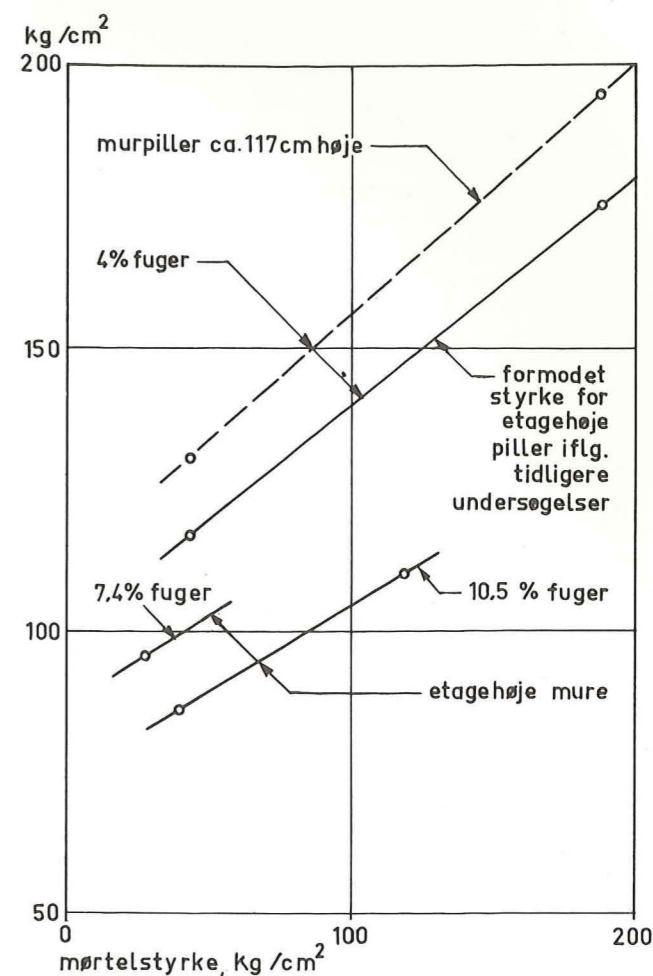
Prøvningsresultaterne fremgår af nedenstående skema, af hvilket en række oplysninger om veludført murværk med højhussten i normalformat og af styrke (terninger af sammenmurede halve sten) over 400 kg/cm² kan afledes. De væsentligste er:

- 1) at styrken stiger med voksende mørtelstyrke,
- 2) at styrken stiger med faldende arealandel af lodrette fuger. (Se diagrammet).
- 3) at styrken stiger med faldende højde af muren,
- 4) at kantspændingen ved excentrisk belastning, hvor den teoretisk skulle svare til det dobbelte af middelspændingen, således udregnet i de fleste tilfælde overstiger brudspændingen i de tilsvarende normalt belastede prøvelegemer,
- 5) tværsnittene forbliver ved excentrisk belastning praktisk taget plane (ifølge deformationsmålingerne),
- 6) at murenes elasticitetskoefficient varierer meget lidt med mørtelstyrken og at de fundne elasticitetstal er noget højere end fundet ved tidligere forsøg.

Brudlast og -spænding for murvægge og -piller

type	antal	mørtel	påvirkning	Brudlast og -spænding			
				t	midd.	kg/cm ²	midd.
1½x3½stens murvægge	2	KCM	centr.	234,5 266,5	250,5	80 91	86
do.	2	KCM	exctr.	198,2 180,0	189,1	68 61	65
do.	2	CM	centr.	398,0 248,2	323,1	133 86	110
do.	2	CM	exctr.	308,5 276,0	292,2	103 93	98
1x3½stens murvægge	2	KCM	centr.	180,4 175,6	178,0	96 93	95
do.	3	KCM	exctr.	86,3 95,1	91,0	46 50	48
1x1½stens murpiller	3	KCM	centr.	111,0 90,3	103,9	138 112	129
do.	3	CM	centr.	151,5 150,7 167,5	156,6	187 188 206	194

Murværksstyrke i afhængighed af mørtelstyrke og arealprocent af lodrette fuger (stødfuger)



Elasticitetskoefficient $E_{\text{murværk}}$ målt for centralt påvirkede prøvelegemer ved en spænding svarende til 1/3 x brudlasten.

type	antal	mørtel	1/3 brudlast		$E_{\text{murværk}}$	
			kg/cm ²	midd.	kg/cm ²	midd.
1½x3½st. murvæg	2	KCM	27 30	29	58000 91000	75000
do.	2	CM	44 29	37	70000 86000	78000
1x3½st. murvæg	2	KCM	32 31	32	80000 70000	75000
1x1½st. murpill.	3	KCM	46 37 45	43	85000 64000 69000	73000
do.	3	CM	62 63 69	65	84000 76000 84000	81000

Elasticitetskoefficienten er for mure i KC fundet til $7,5 \times 10^4$ kg/cm² og for mure i CM til $7,8 \times 10^4$ kg/cm². Til sammenligning anføres, at man ifølge SBI-anvisning nr. 35 for 9 måneder gammelt murværk af gule flamsten i KCM fandt $5,3 \times 10^4$ kg/cm² og for tilsvarende murværk i CM fandt $6,9 \times 10^4$ kg/cm².

Også her har undersøgelserne vist, at murværket er af høj kvalitet.

De vedføjede fotografier viser nogle opstillinger og brudbilleder fra forsøgene.

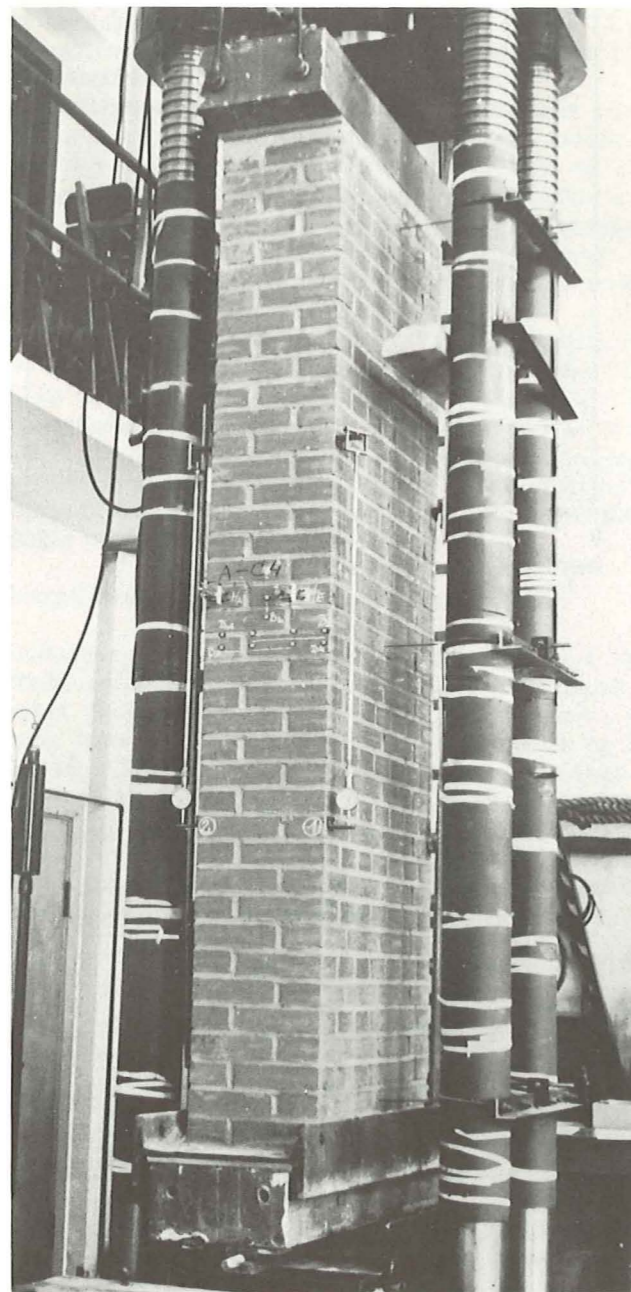


Fig. 1. Forsøgsopstilling for en ca. 266 cm høj 1 1/2 stens mur i KCM.

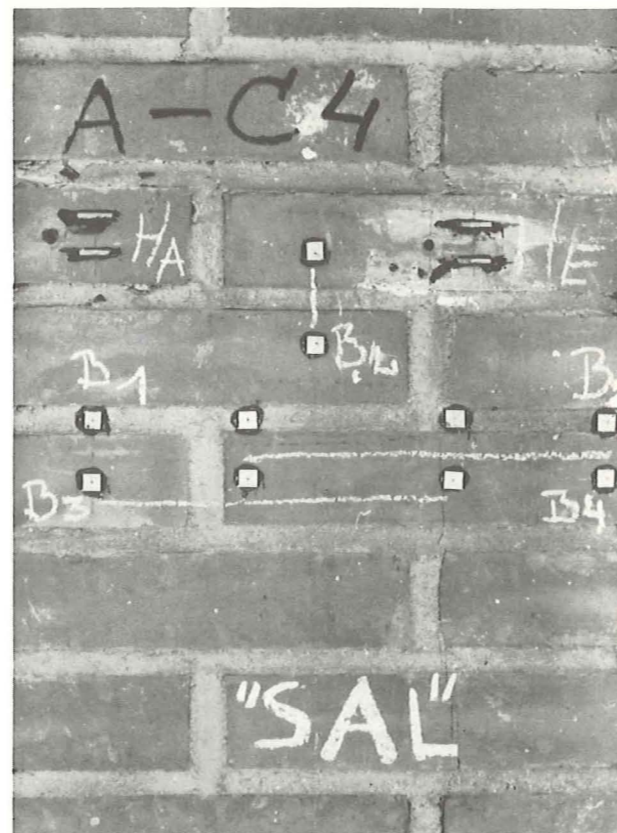


Fig. 2. Placeringen af nogle målepunkter på en 1 1/2 stens mur.

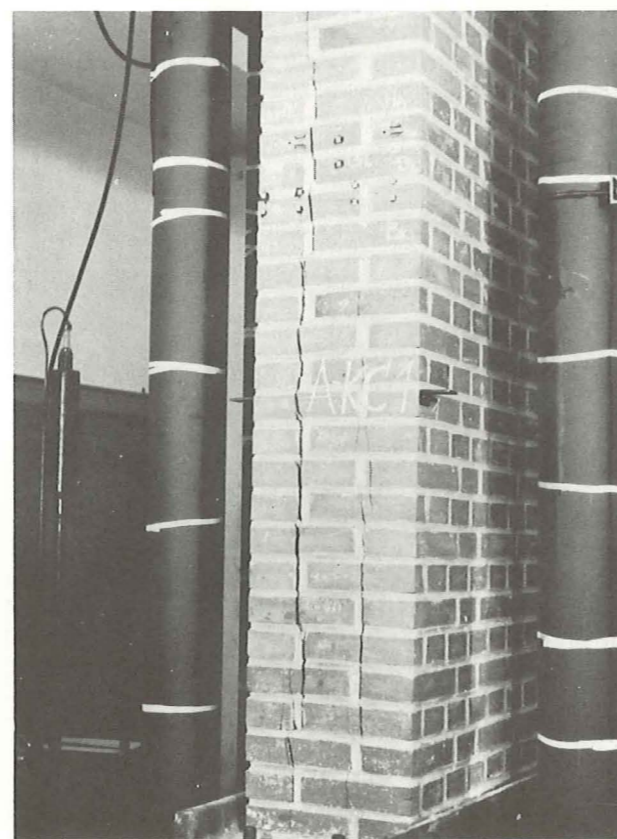


Fig. 3. Brud i en centralt belastet 1 1/2 stens mur i KCM.



Fig. 4. Brud i en excentrisk belastet 1 1/2 stens mur i CM.

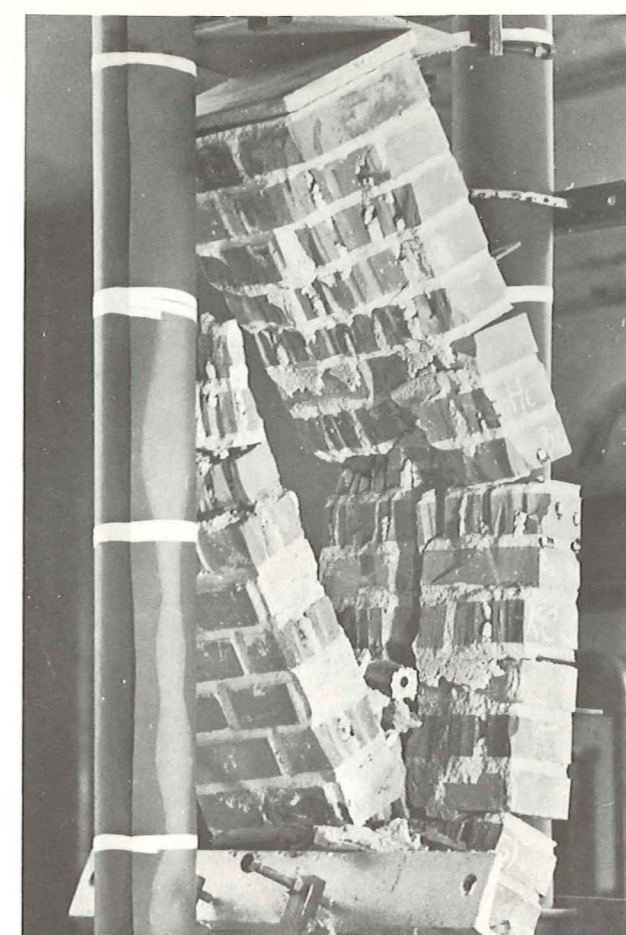


Fig. 5. Brud i en 1-stens murpille i KCM.

Summary

The report deals with the results of a number of studies carried out in the course of the erection of a 16-storey brickwork block of flats, "Charlottehøjhus" at Århus, belonging to the building society "Ringgården".

The studies mentioned in the report were carried out by the Danish National Institute of Building Research together with the engineers responsible for the building project, and they comprise the following:

1. A survey of the amounts of materials consumed
2. A survey of the number of man-hours consumed
3. A total evaluation of the results obtained.

In addition the report contains a description of experiments on the load-bearing capacity of brickwork performed by the Laboratory of Building Technique, Technical University of Denmark.

The erection of "Charlottehøjhus" has so far shown that it is possible to fulfil the great requirements which must be made to the quality of the bricks, the mortar, and the execution of the brickwork, but that special considerations are required in the preparation of the project for such a building. It must, for instance, be borne in mind in connection with the plans of the building that the brickwork panels of a multi-storey brickwork building should be large and continuous, transversely in the building as well as longitudinally.

Further, all work of installing technical services and other fixtures must be planned carefully in advance since, before it is possible to make the computations required for the design of the structure, all openings and recesses in the brickwork for conduits and pipes as well as arrangements for attachment of fixtures to the brickwork must be decided upon.