

3	32	321	321.0	bygge- fejll	321.0	blad 1
konstruktioner	vægge skorstene	ydevægge	ydevægge alment		facadebeklædning af marmor	

Udarbejdet af Byggeteknik Afdeling, Teknologisk Institut

december 1971

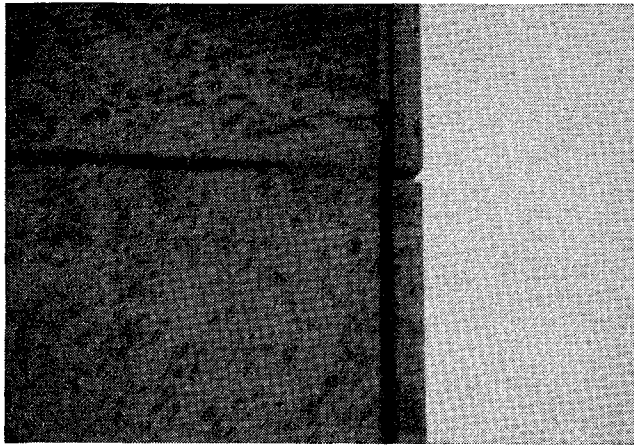


Fig. 1
Den lodrette mørtelfuge er faldet ud og den vandrette fuge delvis bortsuldet på grund af bevægelser i marmorpladerne.

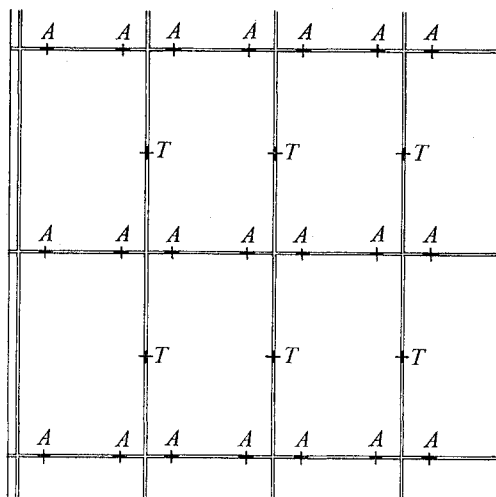


Fig. 2
Opstalt af facade.

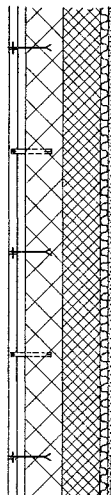


Fig. 3
Snit i facade.

Indledning

Marmorbeklædte facader har i mange år været anvendt dekorativt i forbindelse med den arkitektoniske udformning af bygninger.

De seneste årtiers ændring i råhusets materialer fra murværk til beton har, sammenholdt med at højden for bygninger med marmorbeklædning er gået op fra før 2-3 etager til nu ofte 11-12 etager, ført til at tidligere anerkendt praksis ikke længere slår til.

I det følgende er beskrevet skaderne på en ca. 20,0 m høj sydfacade, hvor temperatursvingninger i marmorbeklædningen, svind og krybning i jernbetonkonstruktionen og mangelfuld arbejdsudførelse, har ført til omfattende og kostbare reparationer.

Den nedenfor gengivne sag er beskrevet af ingeniør H. M. Nørgaard.

BYGNING: Etageejendom

BYGNINGSDEL: Facadebeklædning

EMNE: Deformering af marmorbeklædning

OPFØRELSESÅR: 1960

SKADER BEMÆRKET: 1967

Konstruktivt princip

Råhuset er en betonkonstruktion. Ydevæggen er opbygget således, regnet indefra:

- 20 mm puds
- 30 mm kork opklæbet i asfalt
- 150 mm jernbeton
- 150 mm letbetonblokke
- 30 mm luft, mørtelledere
- 25 mm facadebeklædning

Facadebeklædningen er en post metamorf marmor opsat i pladestørrelser på 500 x 800 mm og i 25 mm tykkelse.

Udførelsen er i overensstemmelse med bestemmelserne i Københavns Magistrats regulativ „Facadebeklædninger“ af 30. juni 1956.

Pladerne er i underkanten båret af 2 stk. 4 x 20 mm bronzeankre med en 3 mm kobberdorn (tilholderankre). Se fig. 4.

I siderne fastholdes pladerne af 1 stk. 3 x 15 mm tilholderanker af kobber og med 4 mm kobberdorn. Se fig. 5. I oversiden er pladerne fastholdt af dornene fra bæreankrene til den ovenfor stående plade.

Alle ankre er indstøbt i udsparinger i letbetonblokkene.

Som støtte for facadepladerne under opsætningen er der anbragt mørtelledere bag de lodrette samlinger.

Der er indlagt dilatationsfuger med en lodret afstand på 3,0 m og en vandret afstand på 1,6 m. Dilatationsfugerne er udfyldt med en ø 5 mm butylstrip med ca. 10 mm mørtel foran. De øvrige fuger er mørtelfuger.

3	32	321	321.0		bygge- fejl	321.0	blad 1
konstruktioner	vægge skorstene	ydevægge	ydevægge almant			facadebeklædning af marmor	

Udarbejdet af Byggeteknisk Afdeling, Teknologisk Institut

december 1971

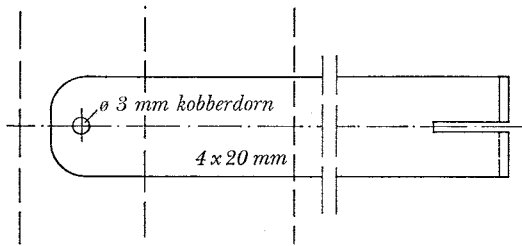


Fig. 4
Bæreanker i horisontal fuger.

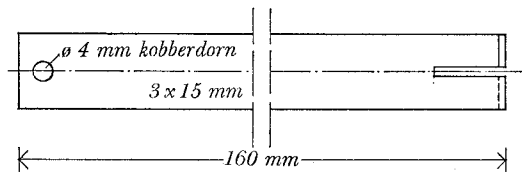


Fig. 5
Tilholderanker anvendt i dilatationsfuger.

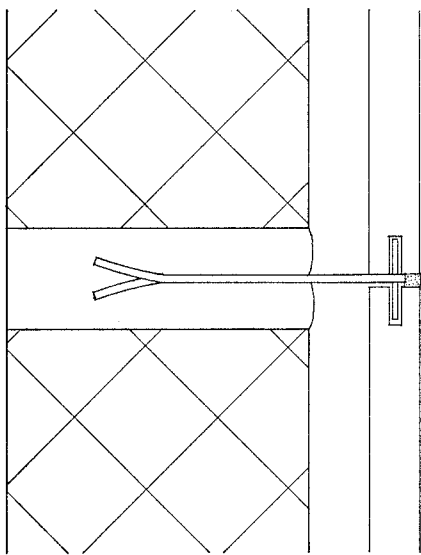


Fig. 6
Anbringelse af bæreanker. Lodret snit, mål 1:5.

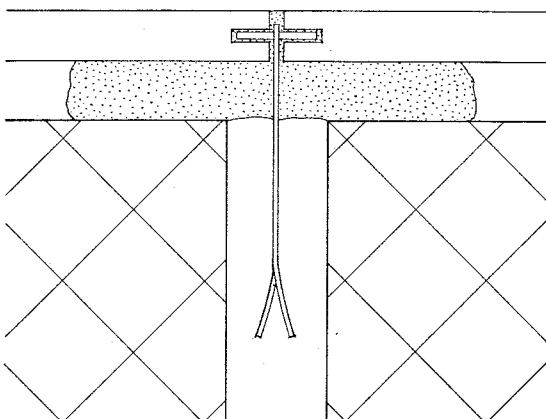


Fig. 7
Anbringelse af tilholderanker. Vandret snit, mål 1:5.

Beskrivelse af skaden

Pladerne er skubbet ud i forhold til facadens lodrette plan. Ca. $\frac{1}{3}$ af dornhullerne i pladerne var sprængt og dornene deformerede, fugerne var knust og mørtelledele delvis bortsuldet. Se fig. 1.

Årsag til skaderne

Skaden er en kombination af forskellige påvirkninger. De væsentligste af disse er:

1. svind og krybning i råhuset
2. temperatursvingninger
3. fugttransmissioner gennem råhuset
4. uheldig ophængningssystem af plader

Årsagen til knusning af fugerne må søges i normal krybning og svind i råhuset efter opførelsen, samtidig med at facaden er udsat for temmelig store temperatursvingninger. Der er således målt temperaturer på facaden i sommerperioden på op til $+60^{\circ}\text{C}$ ved enkeltmåling på en tilfældig dag. Der har ikke været foretaget temperaturmålinger i vinterperioden. Det må dog antages at facaden i vinterperioden kan komme ned på $+10^{\circ}\text{C}$ \rightarrow $+15^{\circ}\text{C}$. De anførte påvirkninger vil give så store bevægelser, at de spændinger der fremkommer i fugerne langt vil overstige mørtlens trykstyrke.

Årsagen til frostsprængninger i mørtelledele må søges i kondensdannelser. I kolde perioder er der sket kondensering i mørtelledele. Ved tilstrækkelig mange frysepunkt-passager vil mørtelledele gradvis blive nedbrudt. De omtalte temperaturbetingede størrelsesvariationer har virket befordrende på denne nedbrydning.

For at undgå kondens bag facadepladerne var der indsat $\frac{1}{2}$ " plasticrør i de vandrette fuger pr. 250 mm.

Disse plasticrør har været ineffektive, idet de var bøjet således, at de blev lukkede. Antal og diameter på plasticrør har desuden været for lille til at sikre en effektiv udluftning.

De indlagte dilatationsfuger har ikke formået at hindre knusning af de almindelige mørtelfuger da dilatationsfugerne i de yderste 10 mm var fyldt med mørtel, hvilket har medført stive forbindelser imellem pladerne.

3	32	321	321.0		bygge- fejll	321.0	blad 2
konstruktioner	vægge skorstene	ydevægge	ydevægge alment			facadebeklædning af marmor	

Udarbejdet af Byggeteknisk Afdeling, Teknologisk Institut

december 1971

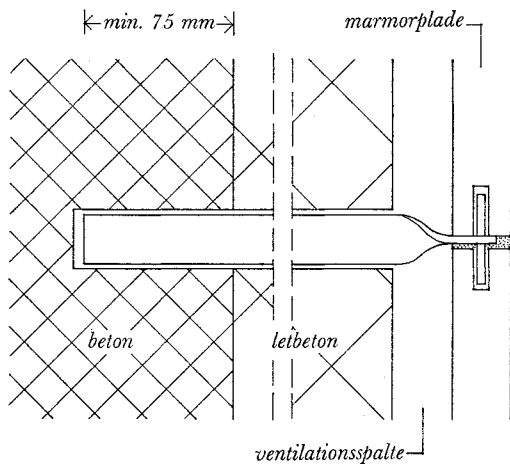


Fig. 8
Eksempel på bæreanker af rustfrit stål. Denne type giver bedre fastholdelse af facadepladerne end den anvendte type.

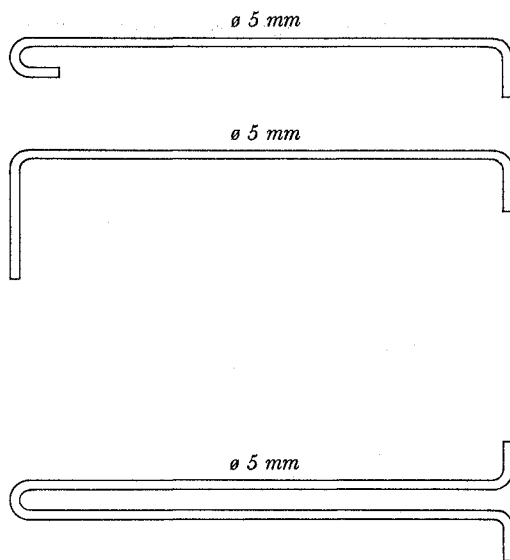


Fig. 9
Eksempel på et tilholderanker af rustfrit stål. Denne type giver bedre bevægelighed end de anvendte typer.

Fortsat fra blad 1.

Afhjælpning af skaden

Af hensyn til faren for fugtophobning bag facadebeklædning med frostsprængning til følge blev marmorbeklædningen nedtaget.

Efter nedtagningen blev facaden rensset for mørtelledere således at letbetonen fremstod som en ren flade. Efter rensningen svummedes med cementmørtel 1:4 efter rumfang.

Korndiameteren på sandmaterialet var maximum 2 mm, og kornkurven indeholdt 25 % korn større end 1 mm og maximum 5 % mindre end 0,125 mm. Svumningen blev fugtigholdt i ca. 5 døgn. Inden genopsætningen af facadepladerne rensedes ankrene for svummørtel og efter udtørring påsprøjtedes en væske af 98 % benzin og 2 % siliconeolie.

Dornhullerne i pladerne blev fyldt med polysulfid med en hårdhed på 40 shore.

Konklusion

Undlades mørtelledere bag marmorpladerne og fugning mellem pladerne opnås en *ventileret* konstruktion der ikke giver anledning til fugtophobning.

Fugtens kondensering i konstruktionens isolering var det ikke muligt at forandre, men det må antages at ventileringen bag facadebeklædningen i højere grad vil tørholde væggen.

Ifølge svenske anvisninger bør marmorpladetykkelsen være på 30 mm så risikoen for revner ved ankerhullet reduceres.

Beregninger

Temperatursvingninger

Antages det forsigtigt, at facadepladernes temperatur svinger maksimalt imellem $\pm 10^\circ$ og $+ 60^\circ$, samt at råhusets temperatur ligger konstant på ca. 20° , vil facadepladerne bevæge sig i forhold til råhuset. Disse bevægelser vil andrage ca. $70 \times 3240 \times 9 \times 10^{-6} =$ ca. 2 mm pr. etage idet temperaturudvidelseskoefficienten er 9×10^{-6} .

(Der er målt temperaturer på 48° på en tilfældig dag).

Svind og krybning (blivende deformationer af råhuset)

Det må antages at endelig udtørring af råhuset først er tilendebragt ca. 1 år efter, at bygningen er taget i brug. Dette svind kan for almindelig god beton sættes til ca. 0,3 ‰.

Med hensyn til krybningen i råhuset vil denne gennemsnitlig andrage 0,6 ‰, heraf vil dog ca. $\frac{2}{3}$ være tilendebragt inden facaden er opsat. Der vil således være ca. 0,2 ‰ der skal optages efter, at facadepladerne er opsat.

Den totale „sammenklemning“ forårsaget af svind og krybning vil altså andrage ca. 0,5 ‰. Med en etagehøjde på 324 cm vil sammenklemningen andrage ca. $\frac{3240 \times 0,5}{1000} = 1,6$ mm pr. etage i gennemsnit.

Samvirken mellem svind og krybning

Det gennemsnitlige svind og krybning andrager 1,6 mm pr. etage. Dette, sammenholdt med en temperaturbeværelse på ca. 2 mm pr. etage giver en resulterende bevægelse fra 0,6 mm til 2,6 mm pr. etage.

Skal denne bevægelse optages i pladerne svarer det til, at der opstår spænding i facadepladerne på ca. 1000 kp/cm². Denne spænding kan ikke optages af fugerne. Mørtelfugen har sandsynligvis en brudstyrke på 6–8 kp/cm².

3	32	321	321.0	bygge- fej	321.0	blad 2
konstruktioner	vægge skorstene	ydervægge	ydervægge alment		facadebeklædning af marmor	

Udarbejdet af Byggeteknisk Afdeling, Teknologisk Institut

december 1971

Styrkeforhold i ankrene

På grund af at tilholdeankrene er indstøbt på kant, medens bæreankrene er indstøbt på fladen, må det formodes at tilholdeankrene kommer til at bære en væsentlig del af facadepladerne. Dette bekræftes ved beregninger.

Tilholdeankrenes inertimoment:

$$I_T = \frac{1}{12} \times 0,3 \times 1,5^3 = 0,084 \text{ cm}^4$$

Bæreankrenes inertimoment:

$$I_T = \frac{1}{12} \times 2,0 \times 0,4^3 = 0,0107 \text{ cm}^4$$

Hver plade bæres af 1 tilholderanker og 2 bæreankre, dvs. T skal optage

$$\frac{1 \times 0,084}{1 \times 0,084 + 2 \times 0,0107} = 0,80$$

hvilket svarer til, at tilholderankret T skal optage ca. 80 % af pladens egenvægt.

Pladens egenvægt andrager ca. 28 kg. Heraf skal tilholderankret bære ca. 23 kg.

Dette giver en spænding i tilholdeankret på 800 kg cm^2 hvilket er over tilholderankrets flydespænding.

Fugttransmissionen gennem konstruktionen

I diagrammet er materialernes fugtmodstande afsat vandret og damptrykkene lodret. Fig. 10.

Gennemsnitstemperaturerne i opvarmingsperioden er noteret, der er regnet med

indv.: $t = 20^\circ \text{ RF} = 60\%$ udv.: $t = 0^\circ \text{ RF} = 80\%$

Damptrykkurven vil falde fra 143 kg/m^2 indv. til 50 kg/m^2 udvendig efter en ret linie II såfremt der ikke forekommer kondens.

Kondens forekommer så snart damptrykkurven II ligger højere end mætningskurven I. Det fremgår af diagrammet at kondenseringen vil finde sted i korkisoleringen, og damptrykkurven synker ned under mætningskurven til III. Der vil opsamles fugt i korkisoleringen foran asfaltlaget, og korken og asfalt vil nedbrydes og der må regnes med fornyelse af den indvendige isolering og overfladebehandling efter få år.

Konsulentbistand

Byggeteknisk afdeling, Teknologisk Institut,

2630 Tåstrup.

Tlf. (01) 99 66 11.

Henvisninger

Bestemmelser vedrørende udførelse af facadebeklædninger m.v. Regulativ udsendt af Københavns Magistrat 1956.

§ 3. Lodret pladebeklædning, Bestemmelser om bæreankre og tilholdeankre, anbringelse m.v.

§ 6. Ankres udførelse. Godkendte metaller og metallegeringer. Dimensioner m.v.

§ 7. Plastiske fuger.

Regulativer vil kunne være vejledende i kommuner uden for Staden København.

Litteraturhenvisninger

Stenhandboken. Udgivet af Institutionen för Materialbehandling med formlära vid Kungliga Tekniska Högskolan, och Sveriges Stenindustriförbund, 1968.

Fasade kledning. NBI blad (41) 201. 1967.

Isoleret betongvegg med ventileret kledning av naturstein. NBI blad (43) 301. 1967.

Bladene udgivet af Norges Byggeforskningsinstitutt.

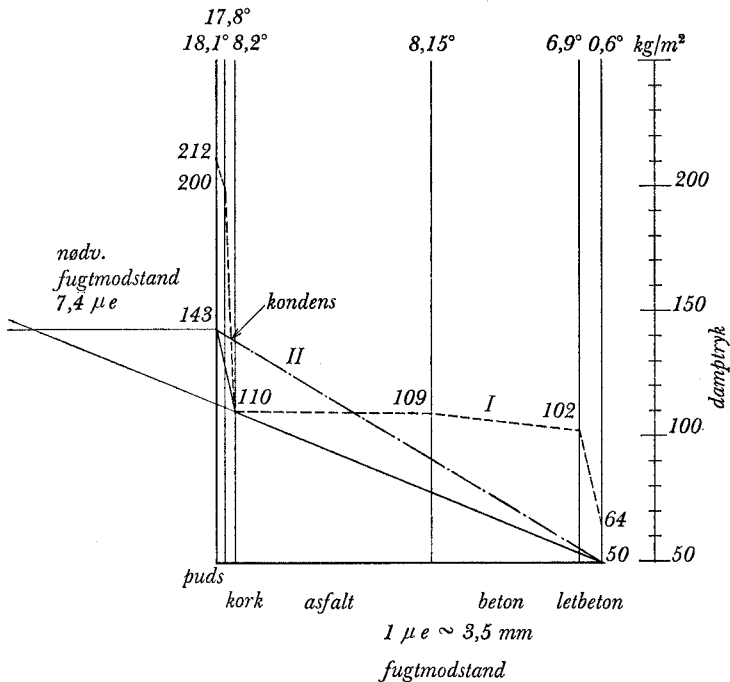


Fig. 10

Diagram af fugtvandringen i facaden.