

Rapport

R 38:1970

Inst. för Byggnadsstatik

**Måttnoggrannhetsstudier
på pelar-balkstomme**

Lennart Klingberg

Byggforskningen

Måttnoggrannhetsstudier på pelar-balkstomme

Lennart Klingberg

Inom ramen för ett större program som bl.a. syftar till att ge underlag för normer – standard, ByggAMA etc. – har Statens institut för byggnadsforskning, göteborgskontoret, studerat måttnoggrannheten på en pelar-balkstomme med slakarmerade pelare, förspända balkar och bjälklagsplattor.

Studieobjekt var stommen till infektionskliniken, Östra sjukhuset, Göteborg. Bygget ställdes till förfogande av Göteborgs sjukvårdsstyrelse med vilken institutet samrått vid studiens uppläggning. Man avsåg att tillgodogöra sig resultaten vid det byggsystem som skall tillämpas vid den fortsatta utbyggnaden av Östra sjukhuset. Den studerade stommen – 40 000 m³ – utgör fem procent av den tillkommande byggnadsvolymen vid detta sjukhus.

Målsättningen

Syftet med undersökningen på infektionskliniken var:

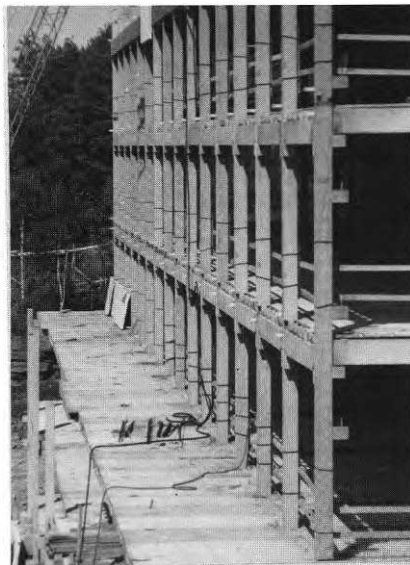
att bestämma fasadpelarlivens planhetsavvikelser, hela fasadytor liksom de delytor vilka kunde tänkas bilda underlag för – eller påverka underlaget för – utanpå pelarna liggande fasadelement i en tänkt, framtida utformning av byggsystemet samt undersöka planhetsavvikelseorsaker, bl.a. hur grundläggningens avvikelser inverkat,

att bestämma måttavvikelseerna i de rektangulära öppningarna mellan fasadpelare, golv och balkar. I öppningarna avsågs att vid kommande utbyggnadsetapp montera förtillverkade träelement,

att, i den mån det blev möjligt med hänsyn till relationen mellan konstaterade avvikelser och uppnådda måttnoggrannheter, utnyttja mätvärdena för bestämning av deformationer hos belastade och obelastade pelare (pelardelar) m.m.,

att bestämma planhetsavvikelser hos inre våningshöga pelarliv, vilka i en eventuell framtida utformning av byggsystemet skulle utgöra underlaget för långa väggelement. Planhetsavvikelseerna och avvikelserna från linjerakhet har dessutom estetisk betydelse, eftersom pelarraderna är synliga i vissa inre korridorer,

att bestämma trapphustornens inbör-



Östra sjukhusets fasad åt väster. Pelarliv med beslag för mätmärken.

des lägen; intressant med hänsyn till att lägena är resultat av en känd utställnings- och lodningsteknik samt

att pröva fotogrammetrisk mätmetodik för bestämning av planhetsavvikelser, rakhetsavvikelser m.m. och pröva även enklare metoder, såsom mätning med teodolit på s.k. transversalsläde för nyssnämnda bestämningar.

Stommens måttavvikelser

Planhetsavvikelse hos fasadpelarliv
Hel fasad, 63×13,5 m, mättes i 96 punkter. Medelvärde av mätningar på två fasader:

Spridning, grundmedelfel

$$s_0 = 12,1 \text{ mm.}$$

Motsvarande reducerat för mätmetodikens medelfel

$$s_{0\text{red}} = 11,7 \text{ mm.}$$

Detta innebär att avvikelserna med nedan i procent angivna sannolikheter antas ligga inom angivna gränser:

68 % sannolikhet inom $\pm s_0$ mm

95 % sannolikhet inom $\pm 2 s_0$ mm

99,7 % sannolikhet inom $\pm 3 s_0$ mm.

Man kan således vid ett framtida byggeri – om det sker under samma förutsättningar – räkna med att det "sannolikt händer högst 3 ggr på 1 000" att avvikelserna från balansplan blir större än

$$\pm 3 \times 11,7 = \pm 40 \text{ mm } (\pm 35,1).$$

Delyta, 8,4 m × ca 3,5 m, sex mät-

Byggnadsforskningen Sammanfattningar

R38:1970

Statens institut för byggnadsforskning, göteborgskontoret, har studerat måttnoggrannheten på en pelar-balkstomme med slakarmerade pelare, förspända balkar och bjälklagsplattor.

Byggnadsstommen till Östra sjukhusets infektionsklinik, Göteborg, var studieobjekt.

Man avsåg att tillgodogöra sig resultaten vid det byggsystem som skall tillämpas vid den fortsatta utbyggnaden av Östra sjukhuset.

UDK 531.717.8

621.753.1:69

69.054

Sammanfattning av:

Klingberg, L., 1970, Måttnoggrannhetsstudier på pelar-balkstomme (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm.

Rapport R38:1970, ill. 76 s., 30 kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm. Telefon 08-24 28 60.

Abonnemangsgrupp: (p) produktion.

punkter på tre närliggande pelare:

Spridning, standardavvikelse
 $s_p = 3,7$ mm.

Motsvarande reducerat för mätmetodikens medelfel

$s_{pred} = 3,2$ mm.

Resultatet innebär 99,7-procentgränserna

$\pm 3 s_{pred} = ca \pm 10$ mm

vilket således är de gränser som sannolikt överskrids endast 3 ggr per 1 000".

Delyta, $4,2$ m \times ca $3,5$ m, fyra mät-punkter på två närliggande pelare:

Spridning, standardavvikelse
 $s_p = 1,9$ mm.

Motsvarande reducerat för mätmetodikens medelfel

$s_{pred} = 1,7$ mm.

Resultatet innebär 99,7-procentgränserna $\pm 3 s_{pred} = ca \pm 5,0$ mm

Rektangulärt öppningsmått

Rektangulärt öppningsmått i horisontalled bestämdes för varje mätt öppning med stickmått mellan begränsande pelarytor och med mätning av dessa ytors lutningar. I fem våningsplan mättes 110 öppningar.

Medelavmätt $\bar{a} = \bar{M} - B = -5$ mm
 $a =$ avmätt

$M =$ mått (i detta fall beräknat öppningsmått för var och en av öppningarna)

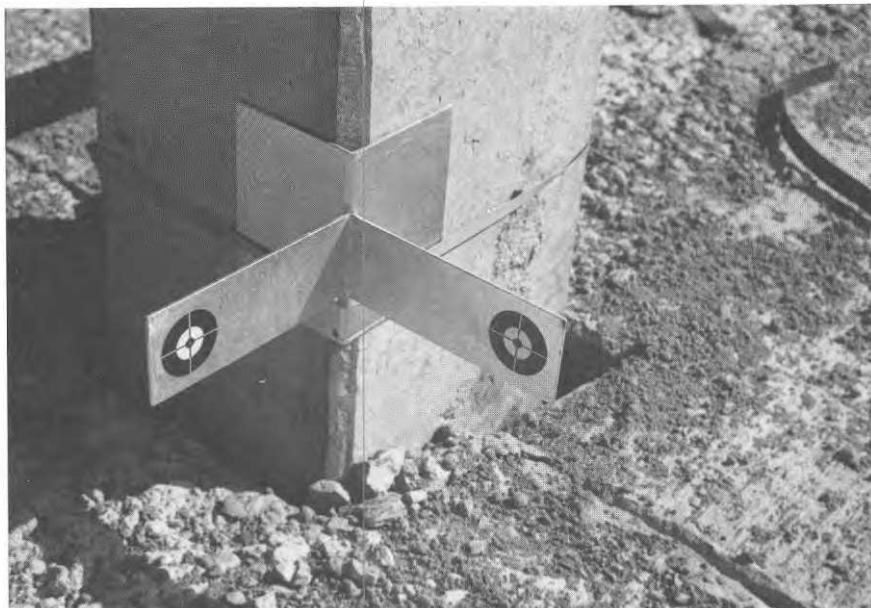
$\bar{M} =$ medeltal av mått

$B =$ basmått (för öppningarna i horisontalled).

Spridning, standardavvikelse
 $s = 13,0$ mm (Mätfelen är försumbara.)

Rektangulärt öppningsmått i vertikalled bestämdes för varje mätt öpp-

Pelarfot med beslag och mätmärken.



ning genom avvägning av överliggande balk och det undertill begränsade betonggolvet. I tre våningar avvägdes 74 öppningar.

Medelavmätt $\bar{a} = \bar{M} - B = -17$ mm

Spridning, standardavvikelse
 $s = 7,7$ mm (Mätfelen är försumbara.)

Jämförelse mellan rakhetsavvikelsen hos belastade och obelastade pelardelar

Avvikelsen beräknades som pilhöjd på $7,3$ m mätlängd.

Spridningen har uttryckts som kvadratiska medelvärden av avvikelser:

Belastade pelardelar $3,5$ mm
Obelastade pelardelar $1,9$ mm

Avvikelse från planhet hos rumshöga, inre pelarliv

På varje våningsplan fanns fyra pelargrupper och av dessa mättes de som var åtkomliga. Varje grupp omfattade fem pelare med centrumavstånd $4,2$ m, och på varje pelare togs fem mät-punkter, jämnt fördelade mellan tak och golv. Mätningen gjordes på endast en sida av var pelargrupp. Var och en av de mätta ytorna (pelarliv) hade således $5 \times 5 = 25$ mät-punkter. Mätningen omfattade sex plan med 20 pelargrupper (sammanlagt 500 mät-värden).

Spridning hos 20 pelargrupper: grundmedelfel $s_0 = 6,1$ mm innebär 99,7-procentgränserna $\pm 3 s_0 = \pm 3 \times 6,1 = ca \pm 20$ mm.

Mätmetoder, deras noggrannhet och försök med nya mätmetoder

De använda metoderna lämpar sig även för andra studier än de som redovisas i rapporten. De kan dessutom få betydelse som kontrollmetoder.

Fotogrammetrisk enkelbildsmetodik för bestämning av planhetsavvikelse hos fasadpelarliv

Metodikens noggrannhet beräknades utifrån geometriska villkor mellan dubbelfotograferingar (flera enkelbildstagningar) enligt en särskild utredning.

Metodikens noggrannhet (spridning) uttryckt som grundmedelfel blev:

a) med mätmärken som mätpunkter, yta 63 m \times $13,5$ m, medelavstånd till kamera ca 60 m

$s_{omf} = 1,65$ mm

($s_{omf} = s_0$ metod, fotogrammetri)

b) med motsvarande punkter på pelarna, men utan användning av mätmärken

$s_{omf} = 2,83$ mm.

Metoden kännetecknas bl.a. av en stabil noggrannhet som en följd av att man gör en momentanmätning, vilket reducerar inverkan av sol och värme på mätapparaturen. För gynnsamt ekonomiskt utbyte krävs att de jämförelsevis höga, fasta kostnaderna för förberedande arbeten kan slås ut på många mätpunkter.

Metod med två teodoliter för bestämning av planhetsavvikelse hos fasadpelarliv

Metodikens noggrannhet (spridning) uttryckt som grundmedelfel blev:

$s_{omt} = 2,60$ mm

(yta $63 \times 13,5$ m, medelavstånd ca 50 m)

Mätning av en fasad gjordes från två, mot varandra riktade, stationer, belägna i fasadernas tänkta förlängningar. Den beräknade noggrannheten är ett medelvärde av resultaten från stationerna. Den påverkas av solens inverkan på stativben m.m.

Metod med teodolit på transversal-slåde¹ för bestämning av planhetsavvikelse hos fasadpelarliv

Metodikens noggrannhet blev:

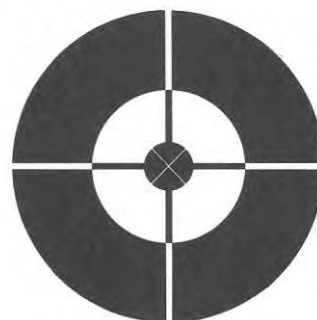
$s_{omtt} = 2,4$ mm

för hela fasaden, $63 \times 13,5$ m, 96 punkter, medelavstånd 55 m.

Mätningen gjordes från en station. Siktlinjen (hjälpplanet), som är rörligt, var inte helt parallellt med fasaden — en förutsättning för att samtliga märken skulle synas.

Metoden kännetecknas bl.a. av känslighet för solsken.

¹Transversal-släden är en omkonstruerad svarvsupport på vilken teodoliten sättes fast. Detta gör att teodoliten kan parallellflyttas i sidled.



Studies on the dimensional accuracy of a column and beam framework

Lennart Klingberg

A study on the dimensional accuracy of a column and beam framework having columns with normal reinforcement and prestressed beams and floor slabs has been conducted at the National Swedish Institute for Building Research within the limits of a broader program whose aims include the provision of a basis for norms – i.e. standards, ByggAMA (General Specification of Materials and Workmanship for House Building) etc.

The object of study was the load-bearing structure of the clinic for infectious diseases at Östra Sjukhuset (Eastern Hospital) in Gothenburg. The building was made available for study by the Gothenburg City Medical Services Board with whom the Institute also held consultations on the organization of the study. The ultimate aim is to derive benefit from the results in connection with the building system which is to be used in continued extension of Östra Sjukhuset. The structure studied (40,000 m³) represents five per cent of the volume to be added to this hospital.

Objective

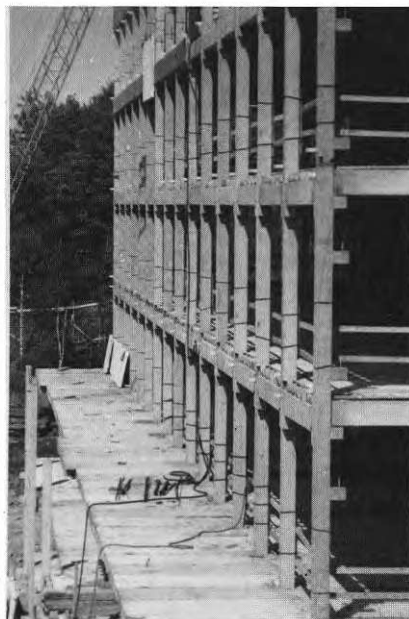
The aims of the study of the infectious diseases clinic were the following:

to determine the deviations in the outside surface of the external columns, entire elevations and the parts which might conceivably form a basis for or affect the basis for external wall units situated outside the columns in a possible future building system and to investigate the causes of the deviations from flatness, e.g. the effects of deviations in the foundations,

to determine dimensional deviations in the rectangular openings between external columns, floors and beams. The openings are intended to accommodate prefabricated units in a future phase of expansion,

to, as far as is possible with regard to the relationship between established deviations and dimensional accuracy already achieved, make use of the measurement values for determining deformations in both loaded and non-loaded columns (parts of columns) etc.,

to determine deviations from flatness in the surfaces of internal storey-high columns which in some future form of the building system may form the basis for long wall units. Deviations from flatness and deviations from the straight



Western elevation. Surface of column with fixings for markers.

line are also of aesthetic significance since the rows of columns are visible from corridors inside the building,

to determine the internal positions of the staircase towers – interesting in view of the fact that the positions are results of well-known setting out and plumbing techniques,

to test photogrammetric methods of measurement for determining deviations from flatness, deviations from the straight line etc. and to test simple methods, such as measuring using a theodolite on a cross slide for the measurements mentioned above.

Dimensional deviations in the framework

Whole elevation, 63 × 13.5 m, was recorded at 96 points. Means value of measurements on two elevations:

Dispersion, basic standard error

$$s_0 = 12.1 \text{ mm.}$$

Similarly reduced for standard error in the method of measurement

$$s_{0\text{red}} = 11.7 \text{ mm.}$$

This means that the deviations together with the degrees of probability expressed as percentages may be assumed to lie within the given limits:

68 % probability within $\pm s_0$ mm

95 % probability within $\pm 2 s_0$ mm

99.7 % probability within $\pm 3 s_0$ mm.

National Swedish Building Research Summaries

R38:1970

The National Swedish Institute for Building Research, Gothenburg office, has performed a study on the dimensional accuracy of a column and beam framework having columns with normal reinforcement and prestressed beams and floor slabs.

The object of the study was the load-bearing structure of the clinic for infectious diseases at Östra Sjukhuset in Gothenburg.

The ultimate aim is to derive benefit from the results in connection with the building system which is to be used in continued extension of Östra Sjukhuset.

UDC 531.717.8
621.753.1:69
69.054

Summary of:

Klingberg, L., 1970, *Måttnoggrannhetsstudier på pelar-balkstomme / Studies on the dimensional accuracy of a column and beam framework / (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm.*

Rapport 38:1970, ill. 76 p., 30 kr.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, S-111 84 Stockholm, Sweden.

It thus follows that in future construction projects the deviation from the plane of balance can with reasonable probability be expected at most "three times in 1000" to be greater than $\pm 3 \times 11.7 = \text{ca.} \pm 40 \text{ mm} (\pm 35.1)$.

Part of surface, 8.4 m \times ca. 3.5 m, six measuring points on three columns situated not far from each other:

Dispersion, standard deviation $s_p = 3.7 \text{ mm}$.

Similar reduction for standard error in method of measurement

$s_{pred} = 3.2 \text{ mm}$.

The result gives the 99.7 % limits

$\pm 3 \cdot s_{pred} = \text{ca.} \pm 10 \text{ mm}$.

Thus meaning the limits which "with all probability are only exceeded three times in 1000".

Part of surface, 4.2 m \times ca. 3.5 m, four measuring points on two closely situated columns:

Dispersion, standard deviation $s_p = 1.9 \text{ mm}$.

Similar reduction for effect of standard error in method of measurement

$s_{pred} = 1.7 \text{ mm}$.

The result gives the 99.7 % limits

$\pm 3 \cdot s_{pred} = \text{ca.} \pm 5.0 \text{ mm}$

Dimension of rectangular opening. —

The dimension of the rectangular opening, *horizontal*, was determined for each opening measured by means of random measurements between limiting column surfaces and by measuring the slope of these surfaces. A total of 110 openings on five storeys were measured.

Mean deviation $\bar{a} = \bar{M} - B = -5 \text{ mm}$

a = deviation
 M = dimension (in this case calculated dimension of opening for each of the openings)

\bar{M} = mean of dimension
 B = base dimension (for openings in the horizontal plane)

Dispersion, standard deviation $s = 13.0 \text{ mm}$ (Errors of measurement are negligible.)

The dimension of rectangular openings, *vertical*, was determined for each opening measured by levelling the soffits of lintels and the concrete floor below. A total of 74 openings in three storeys were levelled.

Mean deviation $\bar{a} = \bar{M} - B = -17 \text{ mm}$

Dispersion, standard deviation $s = 7.7 \text{ mm}$ (Errors of measurement are negligible.)

Comparison of deviation from the straight line in loaded and non-loaded parts of columns

The deviation was calculated as a rise of 7.3 m.

The dispersion is expressed as the squares, mean values of deviations

Loaded column sections	3.5 mm
Non-loaded parts of columns	1.9 mm

Deviation from flatness in surfaces of storey-high, internal columns

Each floor contained four groups of columns of which those accessible were measured. Each group consisted of five columns at 4.2 m centres. Five measuring points were chosen on each column evenly distributed between floor and ceiling. Measurements were taken on only one side of each group of columns. Each of the surfaces measured thus had $5 \times 5 = 25$ measuring points. Measuring operations included six floors with a total of 20 groups of columns (altogether 500 measurement values).

Dispersion in 20 groups of columns:
 basic standard error $s_0 = 6.1 \text{ mm}$
 gives the 99.7 % limits
 $\pm 3 \cdot s_0 = \pm 3 \times 6.1 = \text{ca.} \pm 20 \text{ mm}$

Methods of measurement, their accuracy and experiments with new methods

The methods used are also suitable for studies other than those described in the report and may also be of importance as methods of checking measurements.

Photogrammetric single picture methods for determining deviation from flatness in the surfaces of external columns

The accuracy of the method was calculated on the basis of geometrical conditions between pairs of photographs (several single photographs) according to a special study.

The accuracy (dispersion) of the method expressed as basic standard error was:

$s_{0mf} = 1.65 \text{ mm}$

($s_{0mf} = s_0$ method, photogrammetry)

b) with corresponding points on the columns, without the use of targets

$s_{0mf} = 2.83 \text{ mm}$.

One of the characteristic features of the method is the stability of its accuracy as a result of taking a momentary measurement which reduces the effect of sun and heat on the measuring instruments. Comparatively high, fixed costs for the preparatory work must be divided among a large number of measuring points if the results are to be economically favourable.

Method using two theodolites for determining deviation from flatness in the surfaces of external columns

The accuracy (dispersion) of the method of measurement expressed as basic standard error was:

$s_{0mt} = 2.60 \text{ mm}$

(area $63 \times 13.5 \text{ m}$, mean distance ca. 50 m)

Measurement of an elevation was carried out from two oppositely situated stations in the planned extensions of the elevations. The estimated accuracy is a mean value of the result from the stations and is influenced by the effect of the sun on the legs of stands etc.

Method using theodolite on transversal slide for determining deviation from flatness in the surfaces of external columns

The accuracy of the method was:

$s_{0mtt} = 2.4 \text{ mm}$

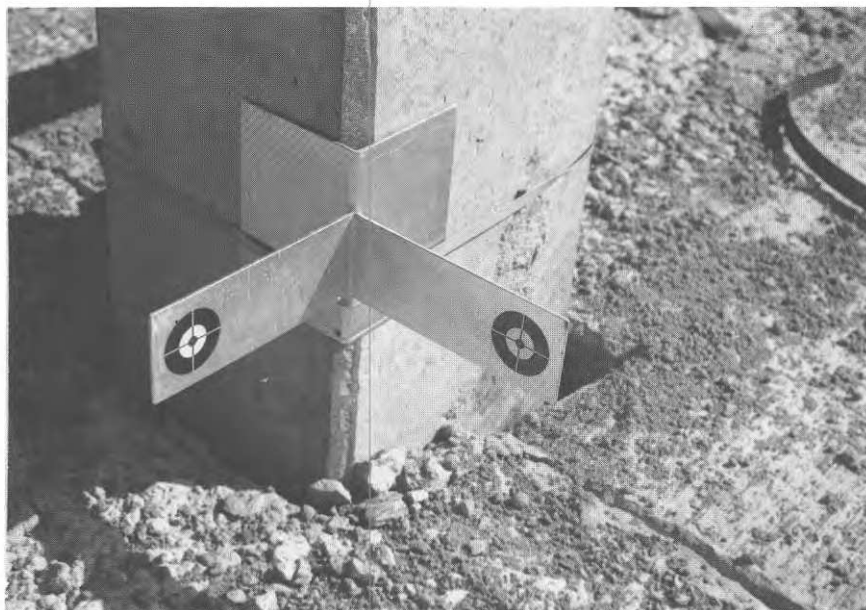
for the whole elevation, $63 \times 13.5 \text{ m}$, 96 points, mean distance 55 m.

Measuring was carried out from one station. The line of sight (plane of sight) which is mobile was not completely parallel to the elevation, a requirement in order to permit all markers to be visible.

A feature of the method is its sensitivity to the effects of sunlight.

The transversal slide is a reconstructed lathe support on which the theodolite is mounted. This means that the theodolite can be moved along the lateral axis.

Base of column with fixings and markers.



Rapport R 38:1970

**MÅTTNOGGRANNHETSSTUDIER
PÅ PELAR-BALKSTOMME**

**STUDIES ON THE DIMENSIONAL ACCURACY
OF A COLUMN AND BEAM FRAMEWORK**

av civilingenjör Lennart Klingberg

Denna rapport avser projekt 5-229 inom Statens institut för byggnadsforskning. Arbetet har utförts av civilingenjör Lennart Klingberg med anslag från Statens råd för byggnadsforskning. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

FÖRORD

Stombygandets teknik och ekonomi har sedan mitten på 1950-talet varit huvudinriktningen för verksamheten vid byggforskningsinstitutets kontor i Göteborg. Som ett led i detta arbete togs problemen kring byggandets måttnoggrannhet upp till behandling med främsta syfte att ta fram underlag för normer, byggstandard, bygg-AMA etc. En väsentlig del av forskningen har bestått i studier på arbetsplatser. Studierna har i Göteborg bedrivits sedan 1966.

Institutets syfte med måttstudierna sammanföll med ett motsvarande intresse från Göteborgs sjukvårdsstyrelse som ställde ett studieobjekt till förfogande och som dessutom bidrog ekonomiskt till den här redovisade undersökningen på Östra sjukhuset med 20 000 kr.

Studieobjektet var en pelar-balkstomme med slakarmerade pelare och med förspända balkar och bjälklagsplattor. Byggnadsvolymen är ca 40 000 m³. Resultaten är i första hand tillämpliga på liknande stommar.

Undersökningen genomfördes med mätningar under sommaren och hösten 1968 varefter mätdata bearbetades under vintern och våren 1969. Resultaten har under hand meddelats sjukvårdsstyrelsens konsult för konstruktionerna, Jacobson & Widmark AB. Slutlig redovisning för sjukvårdsstyrelsen, konsulten, kontrollanterna och generalentreprenören ägde rum 2.7.1969.

Viktigaste kontaktmän har varit byggnadschef Gunnar Victorin, Göteborgs sjukvårdsstyrelse och docent Mogens Lorentzen, Jacobson & Widmark AB. Den senare har också varit initiativtagare till den kontakt mellan institutet och sjukvårdsstyrelsen som ledde till vårt samarbete inom detta forskningsområde.

Fotogrammetrisk mätning av fasader och utvärdering av dessa mätningars resultat har utförts av tekn. dr Kennert Torlegård som också bistått med felteoretisk rådgivning vid tillämpningen av fotogrammetriresultaten. Detta arbete har utförts som konsultuppdrag genom Ingenjörbyrån VIAK AB.

Utredningsarbetet har gjorts inom produktionsgruppen vid byggforskningsinstitutet. Utredningsman har varit undertecknad som planerat och lett utredningen. Mätarbetet liksom de förberedande arbetena för den fotogrammetriska mätningen har huvudsakligen utförts av ingenjörerna Jörgen Abrahamsson och Leif Gröön. Dessa har också medverkat med räknearbete, tabellsammanställningar och figurritning.

Undersökningens resultat har under hand föredragits för och diskuterats inom institutets kontaktgrupp i Göteborg: professor Lennart Rönmark, civilingenjör Ivan Edvaller, ombudsman Erik Lundgren och arkitekt Lars Ågren. Samråd har även skett med professor Gunnar Kärrholm vid Chalmers tekniska högskola.

Göteborg i juni 1970
Lennart Klingberg
Civilingenjör

BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER

a	lutning hos balansplan till pelarliv i förhållande till lod
β	vinkel mellan baslinje och linje i horisontalplanet
$\delta\alpha$	vinkel mellan balansplan och enskild pelares balanslinje
$\delta\beta$	vinkel i horisontalplan mellan balansplan och enskild horisontal linje
a	avmätt = $M-B$ där:
M	mått
B	basmått
s	standardavvikelse
s_p	standardavvikelse för en parameter
$s_{red}; s_{pred}$ etc.	motsvarande standardavvikelse, reducerad för mätmetodikens medelfel
\hat{s}_p	kvadratisk medelvärde för parameter, p
\hat{s}_{p6}	kvadratisk medelvärde för parametrar (2 st) som gäller 6 punkter
$\hat{s}_{p6\ red}; s_{0red}$ etc.	motsvarande värden, reducerade för mätmetodikens medelfel
s_0	medelfel (grundmedelfel)
v	egentligen förbättring (Verbesserung), kallas i texten för avvikelse
v_t	avvikelse från ett balansplan, där mätning gjorts med teodolit
$v_f; v_{tt}$	motsvarande för fotogrammetri och teodolit på transversalsläde
s_{0m}	medelfel i metodik
s_{0mf}	medelfel i fotogrammetrisk metodik
s_{0mt}	medelfel i metodik där teodolit använts
s_{0mtt}	medelfel i metodik där teodolit på transversalsläde använts
s_{0mo}	medelfel i metodik där optiskt lod använts

Anm. Där inte annat anges är samtliga längdmått i mm.

INNEHÅLL

	BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER	5
1	INLEDNING	9
1.1	Målsättning	10
2	INFEKTIONSKLINIKEN	11
2.1	Studieobjektet	11
2.2	Utsättning och montering	16
2.2.1	Horisontala mått	16
2.2.2	Lodriktning av trapphus	18
2.2.3	Stommens montering	18
2.2.4	Gjutning av överbetong	20
2.2.5	Vertikala mått	20
3	FASADER — MÅTT VINKELRÄTT FASADPLAN	21
3.1	Studiemetodik	21
3.2	Mätdatas bearbetning	24
3.3	Resultat	25
3.3.1	Plan 2—5, 4 våningar, 16 pelare. Avvikelse från planhet, lutning, vridning	25
3.3.2	Planhetsavvikelsen sedd som avvikelser hos linjer i planet samt planhetsavvikelsens orsaker	26
3.3.3	Tre pelare, sex punkter. Avvikelse från planhet	32
3.3.4	Två pelare, fyra punkter. Avvikelse från planhet	32
4	FASADER — MÅTT I FASADPLAN	35
4.1	Rektangulärt öppningsmått	35
4.1.1	Rektangulärt öppningsmått i horisontalled	35
4.1.2	Rektangulärt öppningsmått i vertikalled	38
4.1.3	Rektangulärt öppningsmått i horisontal- och vertikalled	40
5	FASADPELARNAS DEFORMATIONER	41
5.1	Avvikelse från raket	41
5.1.1	Belastade pelare och pelardelar	41
5.1.2	Obelastade pelardelar	43
5.1.3	Jämförelse mellan belastade och obelastade pelardelar	43
6	INRE PELARRADER OCH PELARE	44
6.1	Avvikelse från planhet hos rumshöga pelarliv	44
6.2	Pelares deformationer och lutningar	45
6.2.1	Övre pelardelar (11 m)	46
6.2.2	Pelardelar, pilhöjder	49

6.3	Skarvförskjutningar	50
6.4	Vinkelfel i skarv	50
6.5	Pelares sektionmått	50
7	TRAPPHUSTORN — AVSTÅND, LUTNINGAR	52
8	FÖRSÖK MED MÄTMETODER	54
8.1	Fotogrammetrisk mätning av fasadernas pelarliv	54
8.1.1	Metodik	54
8.2	Mätning med två teodoliter av fasadernas pelarliv	60
8.2.1	Metodik	60
8.3	Mätning med optiskt lod av avvikelser från lodlinje	61
8.3.1	Metodik	61
8.4	Mätning med teodolit på transversalsläde av pelarliv i fasad	61
8.4.1	Metodik	61
8.5	Mätning med teodolit på transversalsläde av pilhöjd hos pelare	62
8.5.1	Metodik	62
	BILAGOR	
I	Fotogrammetrisk bestämning av fasadplanhet	63
II	Fasadernas avvikelser från planhet. Resultat från mätningar med två teodoliter	68
III	Avvikelser från planhet, öster fasad. Resultat från mätningar med teodolit på transversalsläde	69

1 INLEDNING

De måttavvikelser som kan konstateras hos byggnaders stommar kan sägas härröra från någon av följande fyra huvudtyper av avvikelser eller kombinationer av dessa:

A UTSÄTTNINGSMETODIKENS MÅTTAVVIKELSER

Avvikelser förorsakade av utsättningsmetodiken — mätdons fel¹ eller avvikelser, avvikelser som beror på hur mättonen används samt avvikelser vid avmärkning och befästning av utsatta punkter. Den summerade effekten blir lägesavvikelser — i längd, riktning och plan — hos utsatta punkter och sedermera även hos förtillverkade element eller plattstillverkade byggnadsdelar. Utsättningsmetodikens kvalitet inverkar på de horisontala och vertikala monteringsplanens lägen och därmed på formen hos hela byggnader. Utsättningen berör samtidigt många element och byggnadsdelar — alla element i monteringsplanen — liksom elementens inbördes avstånd i planen. (Monteringen — se C — berör däremot främst enskilda elements placering inom eller intill utsättningsens markeringar.)

B ELEMENTENS MÅTTAVVIKELSER I DIMENSION OCH FORM

Avvikelser förorsakade av tillverkningsprocessens material och metoder — formar, fräsmaskiner etc. — eller förorsakade av materialrörelser vid lagring av färdiga element — inverkan av egenvikt och av eventuell last från andra lagrade element, inverkan av värme och fukt — samt avvikelser (deformationer) förorsakade av belastningar på monterade element.

C MONTERINGENS MÅTTAVVIKELSER

Avvikelser från idealläge i längd, linje eller plan genom ofullständig centrering när enskilda element

¹ Ordet »fel» används här i betydelsen avvikelse som faller utanför toleransområdet (se SMS 101). Fel i mättekniska sammanhang (t. ex. vid kalibrering) är avvikelse från sant värde.

justeras in mellan utsatta markeringar respektive mellan tidigare injusterade element eller genom bristande noggrannhet när element sätts efter markerade linjer, avvikelser genom brister i justering i lod och i våg eller genom bristande stabilitet hos hjälpanordningar för provisorisk fixering — t. ex. hos strävor för väggelement — eller avvikelser genom brister hos anordningar för elements centrering — t. ex. brister hos de linjaler i pelarholkar som skall styra pelarna på plats.

D PLATSTILLVERKADE BYGGNADSDELARS MÅTTAVVIKELSER

Avvikelserna förorsakade av byggprocessens materiel och metoder — formutrustning, metoder för formars justering i lod och i våg, t. ex. för lodriktning av väggformelement eller glidform till trapphustorn — eller förorsakade av materialrörelser och belastningsdeformationer. De plattstillverkade byggnadsdelarnas måttavvikelser i dimension och form motsvarar vid elementbyggda husdelar summan av här beskrivna måttavvikelser hos elementen och de måttavvikelser som uppstår vid elementens montering, dvs. avvikelser från eller riktningfel i monteringsplan. Vid plattstillverkade byggnadsdelar kan man oftast inte särskilja dimensions- och formavvikelsen från monteringsavvikelsen.

Avvikelsernas indelning i fyra huvudtyper enligt föregående skiljer sig från den vanligast förekommande, nämligen den i byggstandarden där man rör sig med endast två huvudtyper. Man gör där ingen skillnad mellan plattstillverkade och förtillverkade element och man inordnar utsättnings avvikelser i gruppen monteringsavvikelser, jfr SIS 050101 »monteringsavvikelser», »monteringstolerans» och »tillverkningstolerans». I SIS 050110 som utgör teoretiskt underlag för andra standard, finner man ytterligare indelningsgrunder. Elementets avvikelser illustreras av »lådprincipen» och utgör summan av »längd avvikelser» (dimensionsavvikelser) och »form avvikelser». »Lägesavvikelser» blir där resultatet av brister i utsättning och montering.

1.1 Målsättning

Denna undersökning ingår som en del i ett större program inom vilket flera byggnadsobjekt mäts, studeras och analyseras.

Undersökningarna inom det större programmets ram syftar till:

att konstatera storleken av måttavvikelser som uppstått under vissa givna, definierade villkor och att detta i sin tur skall ge underlag för normer, såsom byggstandard, ByggAMA, konstruktionsbestämmelser etc.,

att konstatera eventuella lagbundna samband mellan måttavvikelserna och de villkor under vilka de uppstått samt

att prova eller utexperimentera den mätmetodik — mätton och mätrutiner — som fordras för undersökningarna och som samtidigt i en del fall kan utgöra eller ge upphov till de mät- och kontrollmetoder som behövs för att konstatera om ställda måttkrav hålls.

Vid mätningarna har särskilt eftersträvat att använda metoder med känd noggrannhet. Noggrannhetsbestämningar för mätton har därför getts en utförligare redovisning än som hittills varit brukligt vid måttstudier på byggen.

I Göteborg har studierna omfattat tre objekt och för vart och ett av dessa har begränsade målsättningar gällt.

Förutom den här redovisade studien som var den tredje i ordningen har följande undersökningar gjorts:

»Måttnoggrannhetsstudier utförda på Fastighets AB Göteborgsbostädernas monteringsbyggen i Tynnered.»

»Måttnoggrannhetsstudier utförda på Sjukvårdscentralen i Västra Frölunda.»

Undersökningen på Infektionskliniken syftade speciellt till:

att bestämma fasadpelarlivens planhetsavvikelser och hela fasadytor liksom de delytor vilka kunde tänkas bilda underlag för — eller påverka underlaget för — utanpå pelarna liggande fasadelement i en tänkt, framtida utformning av byggsystemet samt undersöka planhetsavvikelsernas orsaker, bl. a. hur grundläggningens avvikelser inverkat liksom inverkan av hushöjd — intressant med hänsyn till den använda monterings teknikens tillämpbarhet upp till viss maximihöjd,

att bestämma måttavvikelserna i de rektangulära öppningarna mellan fasadpelare, golv och balkar med anledning av att man till kommande utbyggnadsetapp övervägde att montera in förtillverkade — rektangulära — tråelement i öppningarna,

att, i den mån det blev möjligt med hänsyn till relationen mellan konstaterade avvikelser och uppnådda mätnoggrannheter, utnyttja mätvärdena också för andra bestämningar än de här angivna, t. ex. bestämning av deformationer hos belastade och obelastade pelare (pelardelar) samt lutningar och vinkelavvikelser hos fasadpelarliv,

att bestämma planhetsavvikelser hos inre våningshöga pelarliv, vilka i en eventuell framtida utformning av byggsystemet skulle utgöra underlaget för långa väggelement vartill kom att planhetsavvikelserna och avvikelserna från linjerakhet har estetisk betydelse eftersom pelarraderna är synliga i vissa inre korridorer samt undersöka hur avvikelserna påverkats av höjden,

att bestämma trapphustornens inbördes lägen; intressant med hänsyn till att lägena är resultat av en känd utsättnings- och lodningsteknik samt

att pröva fotogrammetrisk mätmetodik för bestämning av planhetsavvikelser, rakhetsavvikelser m. m. och pröva även enklare metoder, såsom mätning med teodolit och med teodolit på s. k. transversal-slåde för nyssnämnda bestämningar.

2 INFEKTIONSKLINIKEN

2.1 Studieobjektet

Byggherre: Göteborgs sjukvårdsstyrelse
 Arkitekt: C G Carlstedt Arkitektkontor AB
 Konstruktör: Ingenjörfirman Jacobson & Widmark AB
 Generalentreprenör: Yngve Kullenbergs Byggnads AB
 Entreprenör för bärande stomme: AB Strängbetong.

Den byggnadskropp som studerats, infektionskliniken del A—B, utgör ca fyra procent av byggnadsvolymen vid Östra Sjukhuset.

Byggnadsvolymer:

Östra Sjukhuset, fullt utbyggt	ca 1 000 000 m ³
Kvinnokliniken, tidigare färdigställd	84 000 m ³
Infektionskliniken, hela	53 000 m ³
Del A—B av infektionskliniken	40 000 m ³

Fig. 1 visar en dispositionsplan över sjukhusområdet. Sjukvårdsstyrelsen avsåg att den fortsatta utbyggnaden skulle ske med ett monteringsbyggeri liknande det på del A—B, varvid erfarenheterna därifrån skulle tillgodogöras.

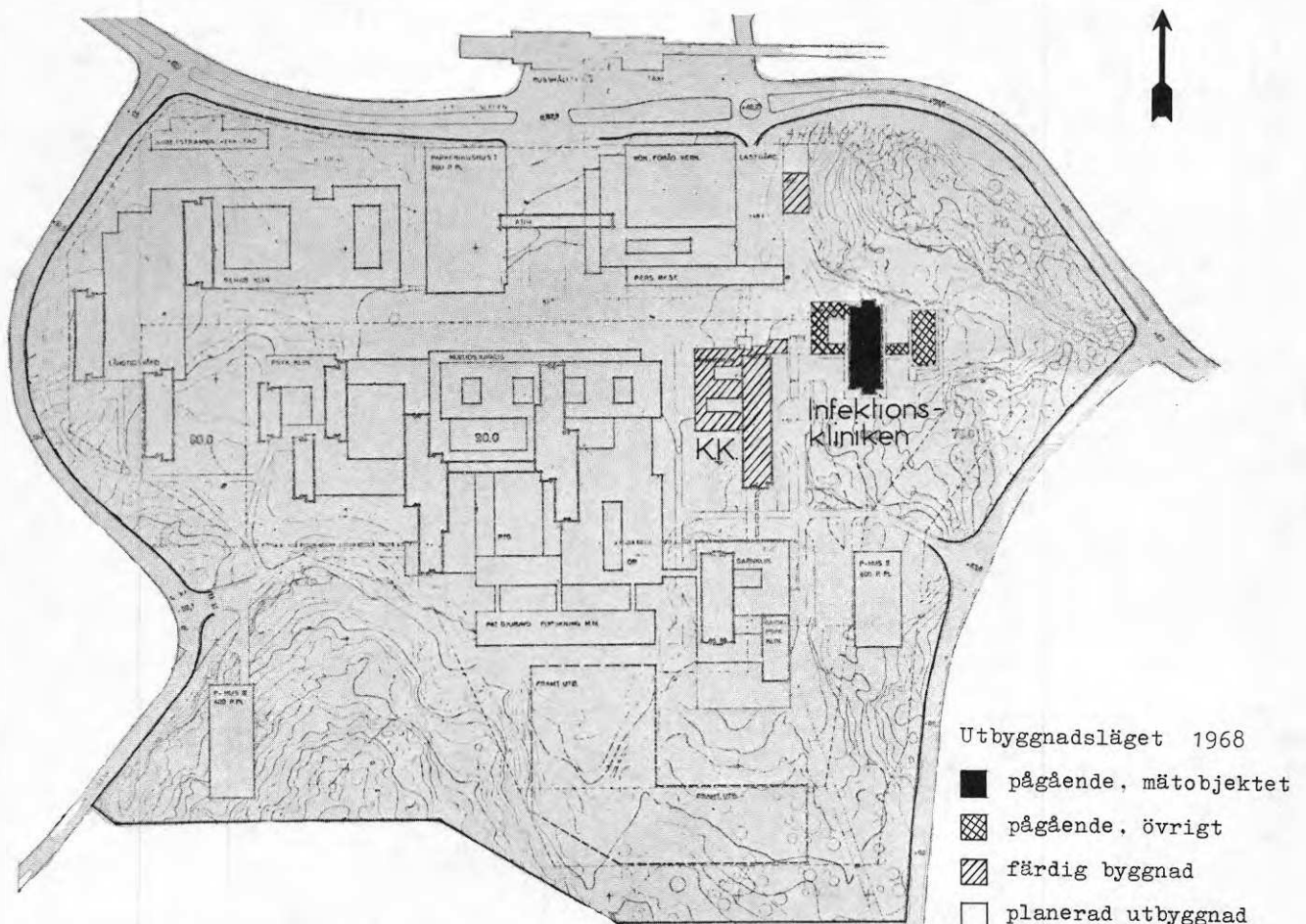


Fig. 1. Östra Sjukhuset, dispositionsplan med utbyggnadsläget sommaren 1968.
 Östra Sjukhuset. Action area plan showing location of extension, summer 1968.

Studieobjektet, fig. 2 och 3, bestod av en monterad betongstomme på platsgjuten grund med grundläggning på berg, direkt eller med plintar. Stommen stabiliseras av i förväg gjutna trapphustorn, placerade ett centralt och ett vid vardera gavelfasaden. Mellan befintliga, platsgjutna trapphustorn är den monterade stommen inpassad vilket bestämmer vissa

krav på noggrannheten vid utsättning av lägen för och dimensioner på platstillverkade byggnadsdelar, torn, pelarholkar m. m., fig. 4. Takkonstruktionen består av lättklinkerbetongplattor, upplagda på balkar i husets tvärriktning. Stomkompletteringen utgörs av stålregelstommar — profiler av kallvalsad stålplåt — beklädda med gipsskivor, fig. 5 a och 5 b.

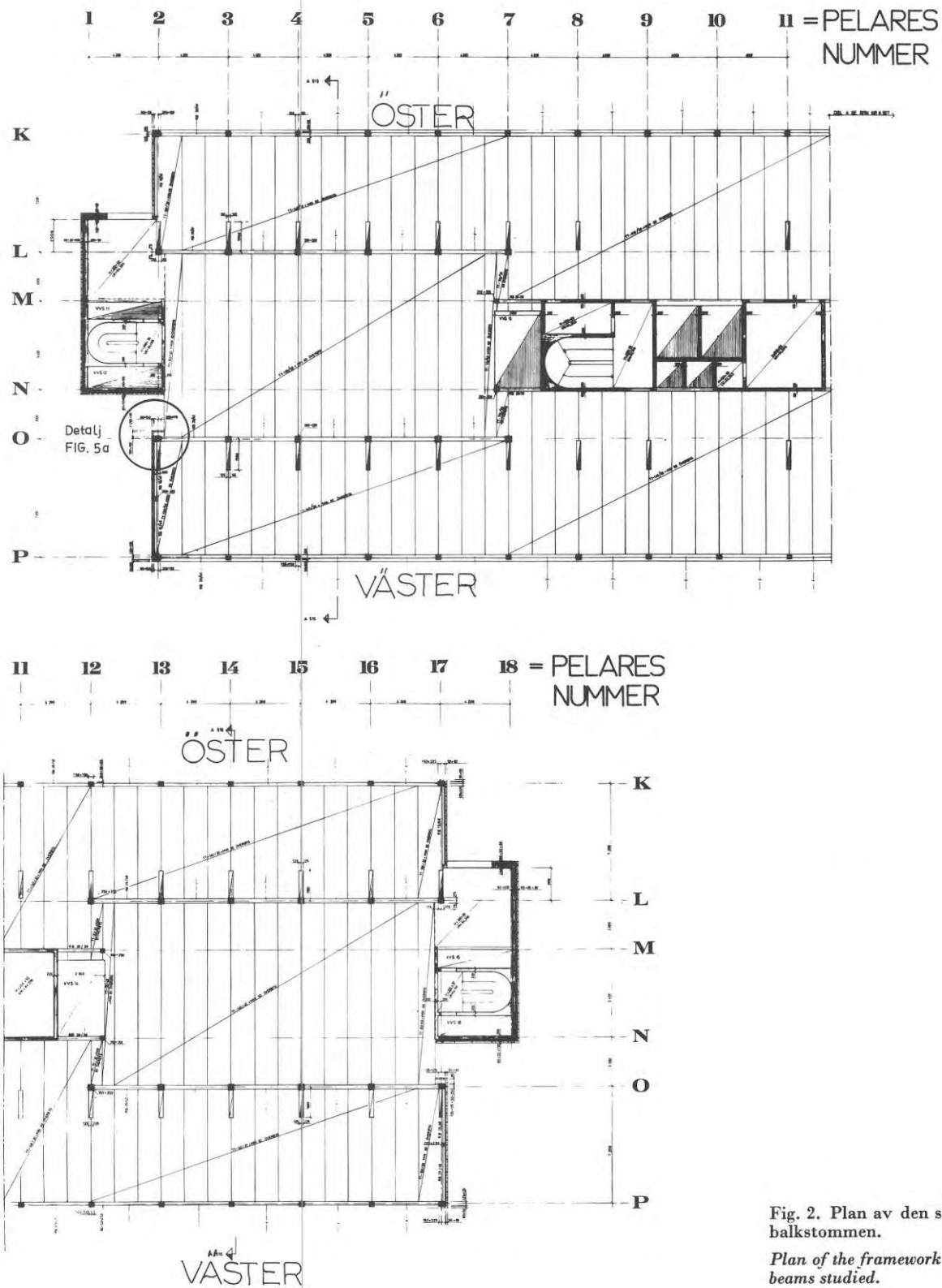


Fig. 2. Plan av den studerade pelar-balkstommen.

Plan of the framework of columns and beams studied.

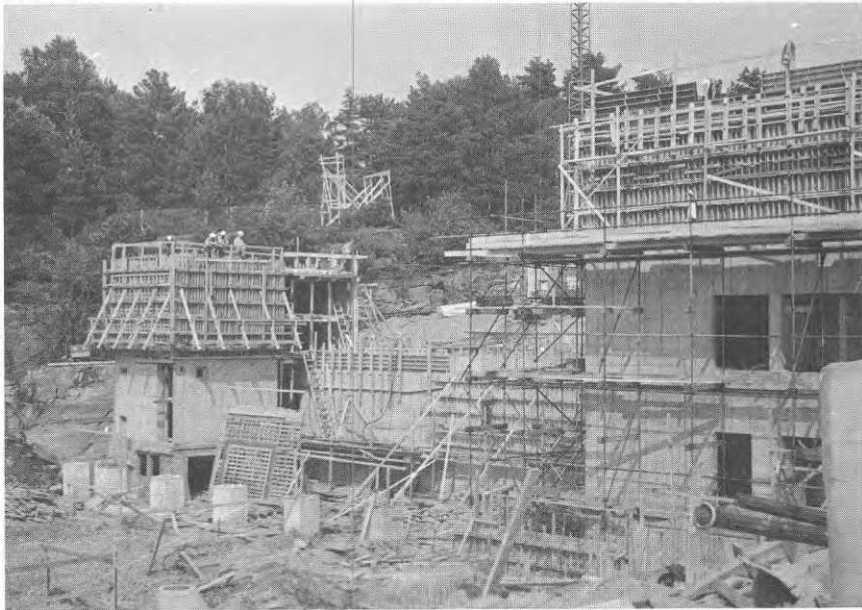


Fig. 4. Grund med pelarholkar.
Trapphustorn.
*Foundation with sockets for columns.
Staircase tower.*



Den monterade betongstommen byggdes med slak-
armerade pelare och med förspända balkar och
bjälklagsplattor. Pelarna som är sammansatta av
två delar står i pelarholkar eller på pelarfästen.
Bjälklagsplattorna, TT-kassetter, har en över-
betong för utjämning av ojämnheter och defor-
mationsvariationer (variationer i överhöjning) och för
överföring av horisontalkrafter. Fasaden utgörs av

halvvåningshöga band av betongelement med öppna
fogar och av fönsterband, fig. 6. Ytterväggarna i
övrigt, innanför betongelementen och mellan pelar-
na, är platstillverkade av träreglar, mineralull och
skivmaterial, fig. 5 a. (Man övervägde att gå över
till fabriktillverkade utfackningselement till nästa
utbyggnadsetapp.)

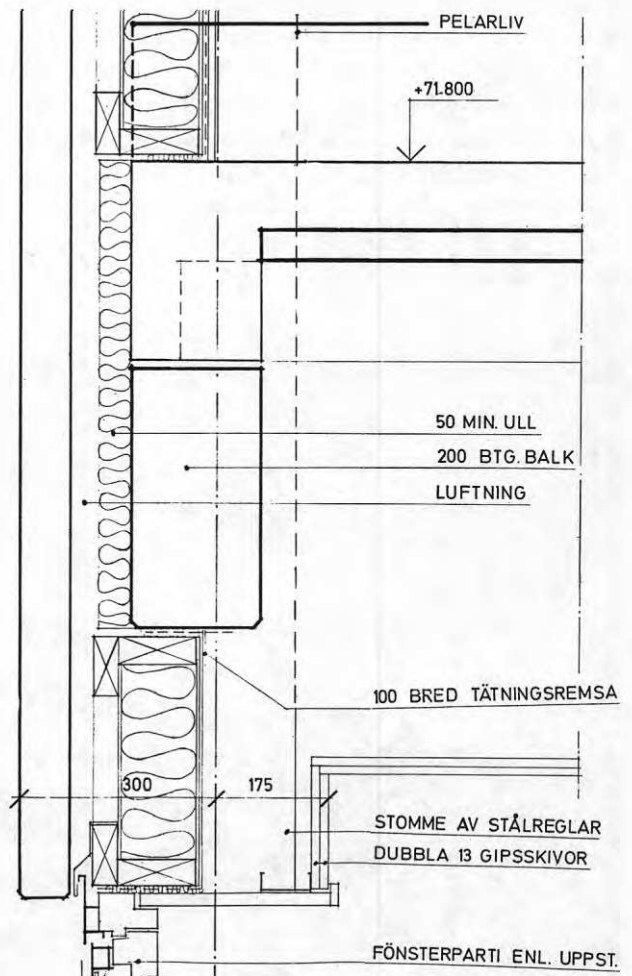
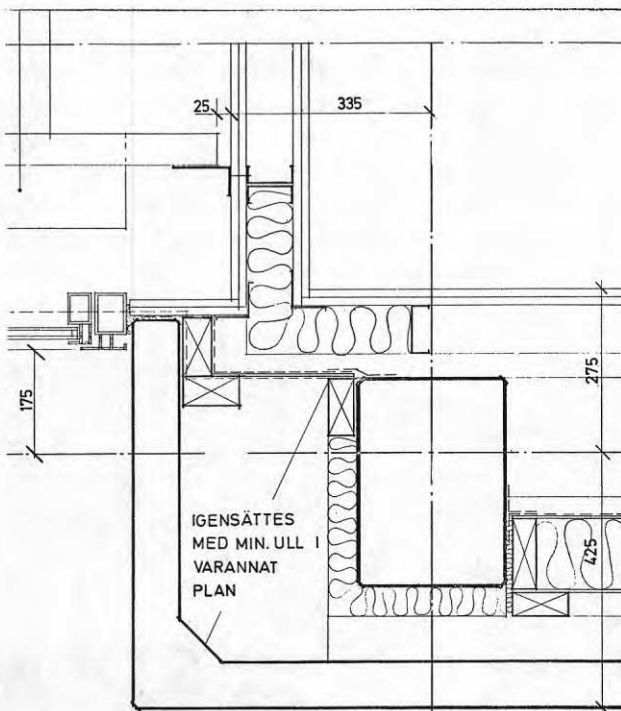


Fig. 5 a. Detalj, horisontalsnitt.
Anslutning mellan fasadelement, fönsterparti och innervägg.
(Snittet taget vid norra gaveln, se fig. 2 b.)

*Detail. Horizontal section.
Junctions between facade elements, window sections and internal
walls. (Section taken at the north gable, see Fig. 2 b.)*

Fig. 5 b. Detalj, vertikalsnitt.
Vertikalsnitt genom fönsterparti, balk och bjälklag.

*Detail. Vertical section.
Vertical section through window unit, beam and floor slab.*

2.2 Utsättning och montering

2.2.1 Horisontala mått

För grundens utsättning i öst-västlig riktning fanns linjer som var utsatta av geotekniska avdelningen vid Jacobson & Widmark AB, fig. 7. Längs huset, på östra sidan, fanns en baslinje 50 mm utanför blivande pelarliv och parallellt med det vertikala planet K som framgår av sektionen, fig. 3. På husets västra sida fanns en baslinje 150 mm utanför blivande pelarliv och parallell med plan P enligt sektionen, fig. 3. I byggnadskroppens tvärriktning hade samma firma satt ut en linje kallad kulvertlinjen, fig. 7, eftersom den angav läge och riktning för förbindelsekulverten mellan infektionskliniken och den väster därom liggande kvinnokliniken.

Från kulvertlinjen satte entreprenören ut baslinjerna IV och V. Arbetsritningarna var måttsatta från dessa linjer. Den noggrannhet varmed de sattes ut fick därför stor betydelse för stommens mått i nord-sydriktningen, inte minst för trapphustornens mått och inbördes lägen, avsnitt 7. Terrängen hade stora nivåskillnader vilket försvårade utsättningsarbetet som gjordes med teodolit (Wild T1A) från mätstationer på det plana område som låg öster om byggnadskroppen och ca 5 m högre än marknivån närmast huset.

Utsättningsmetod, fig. 7:

1. Teodoliten ställdes över det rör som utgjorde kulvertlinjens östra befästning. Röret satt ca 100 m från huset. Från denna station sattes en hjälppunkt ut i kulvertlinjen ca 60 m från huskroppen. Punkten markerades på en vid marken fästad bräda.

2. Teodoliten ställdes över hjälppunkten och en hjälplinje slogs ut tvärs över och vinkelrätt mot kulvertlinjen. I hjälplinjen mättes med måttband (SIS-märkt) lägena för blivande skärningspunkter med baslinjerna IV och V.

3. Teodoliten ställdes över de inmätta skärningspunkterna varefter baslinjerna IV och V slogs ut vinkelrätt emot hjälplinjen.

Mätning gjordes i ett tubläge (utan genomslag). Den beskrivna proceduren upprepades tre gånger. Varje sökt punkt från baslinje IV och V blev således enligt uppgift avsatt tre gånger. Mitt i de på detta sätt markerade punkterna togs en ny punkt ut som ett medelvärde av de tre utsättningarna.

För att kunna överföra baslinjerna till grundens nivå fick man i en del fall bygga mycket höga profiler (ca 5 m). Punkterna var markerade på profilers överkanter och lodades med hänglod ner till en nivå ca 1 m över marknivå, där de befästes med spik i profilerna. Linje IV befästes emellertid på västra sidan med ett märke i en speciellt för ändamålet gjuten betongplatta.



Fig. 6. Studieobjektet från sydväst under byggnad och färdigt. Studier utfördes på det höga huset.
Study subject from southwest. Studies were conducted on the tall block.

På husets västra sida kontrollmättes avstånden från kulvertlinjen till de punkter som befäste baslinjerna IV och V.

Styrinjalerna i pelarholkarna, dvs. pelarmitt, sattes ut för yttre pelarrader genom att sockelliv slogs ut med teodolit och markerades på holkarnas kanter. Därefter mättes lägena in i nord-sydriktning med hjälp av måttband. De inre pelarradernas sträckning sattes ut i »andra ordningens» baslinjer, L—L, M—M, N—N och O—O, vars ändpunkter mättes in och markerades på profiler. Sträckningen

slogs sedan ut med teodolit eller med hjälp av profiltråd. Lägena i nord-sydriktningen slogs ut med teodolit vinkelrätt från motsvarande markeringar på holkarna för yttre pelarrader varvid teodoliten placerades över dessa yttre holkar, eller använde man profiltråd, spänd tvärs huset. Längdmätningarna gjordes här liksom i övriga fall med SIS-märkt måttband, emellertid utan bandsträckare och utan korrektionsberäkningar. Där nivåskillnader förelåg, lodade man med hänglod från profiltråden ner till holkarnas kanter. Punkterna befästes med stålspik (bultpistol).

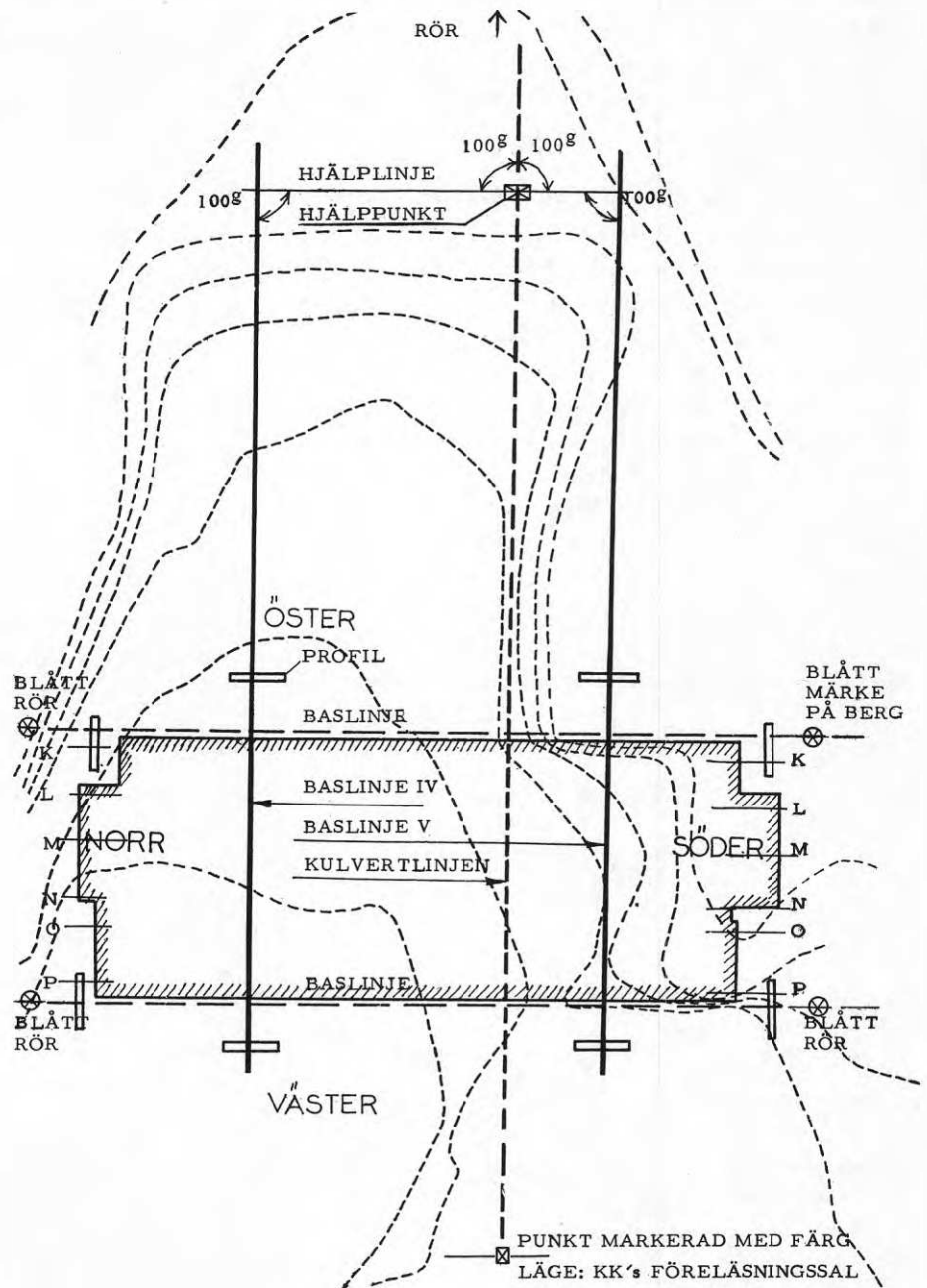


Fig. 7. Av Jacobson & Widmark AB utsatta baslinjer (streckade) samt därifrån härledda av entreprenören utsatta baslinjerna IV och V (heldragna).

Reference lines (broken) set out by Jacobson & Widmark AB and the reference lines Nos. IV and V (full-line) set out by the contractor and derived from these.

Styrlinjaler, fig. 8, sattes sedan in med hjälp av en schablon, tillverkad av två bräder och så att den passade till befästningarna (stålspikarna) på pelarholkarnas kanter. Av fig. 8 framgår också att de spikar som motsvarade sträckningen i husets längdled inte var satta i linje med blivande pelarmitt utan åt sidan. Genom denna placering uppnåddes att hålets centrum var lättare åtkomligt för arbete. Centrumpunkten lodades ner till holkens botten där den markerades. Lägena för styrlinjalernas toppar mättes in, respektive ritsades av, på holkens överkant. Därefter togs tolken bort och linjalerna passades till och placerades med hjälp av lodstock, mätning från centrumpunkten i botten och kontrollmått tvärs över mellan varandra motstående linjaler. En snickare hann med att sätta linjaler i ca fyra holkar per dag (kostnad ca 50 kr per holk).

Vid utsättning av centrala trapphuset i den för detta ändamål utsprängda gropen, ca 7 m djup, fig. 2 och 3, användes kulvertlinjen som baslinje för måtten i nord-sydriktning. För utsättning av mått i öst-västriktning användes baslinjen öster om fasaden. Linjen sattes av på profiler i jämnhöjd med trapphuset. Överföringen av måtten från dessa till trapphuset skedde över ytterligare två hjälp-profiler, 2 m höga och belägna omedelbart intill trapphuset. Till hjälpprofilerna mättes punkter in från de först nämnda profilerna, belägna i baslinjen. Punkterna markerades i överkant hjälpprofil och lodades ner på berget med hänglod. Därefter placerades en teodolit under den ena profilen — över lodad punkt — och motsvarande lodade punkt på

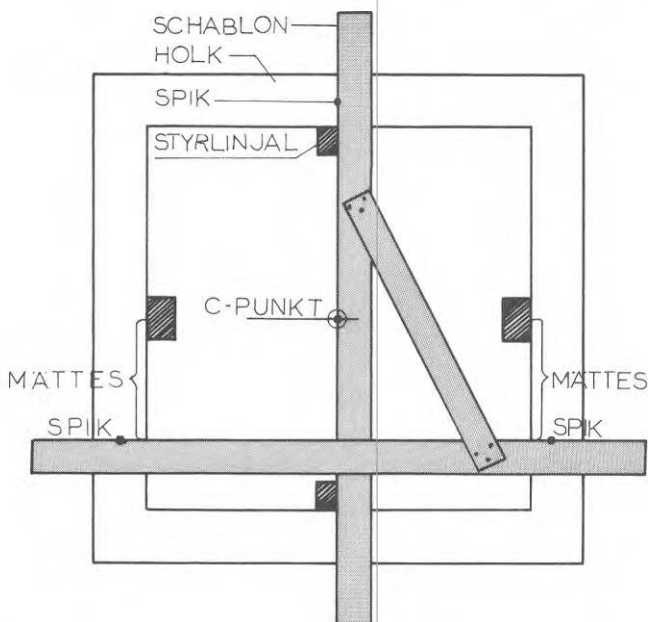


Fig. 8. Schablon för inpassning av styrlinjaler i pelarholkar. Profile pattern for fitting of guide rods into column sockets.

andra sidan gropen siktades in med kikaren och fördes ner till schaktets botten varefter proceduren upprepades med teodoliten under den andra profilen. Den beskrivna överföringen gjordes dels för grundplattan, dels för vägglägena. För de senare befästes punkterna med spikar på träbitar som gjutits fast i betongen. Måtten kontrollerades också genom att diagonalerna mättes.

De norra och södra trapphusens botten låg i nivå med omgivande plan 0 respektive plan 1. Här blev utsättningen enklare och tillgick i princip på ungefär samma sätt som utsättningen av pelarholkar.

Vid den fortsatta utsättningen av horisontala mått för stomkompletteringen etablerades ytterligare baslinjer. Stomkompletterings mått ingick emellertid inte i studien.

2.2.2 Lodriktning av trapphus

Metodiken för nedlodning av punkter i centrala trapphusets grop har tidigare beskrivits. Proceduren användes också för punkter som sattes av på nivån för golvet i den kulvert som skulle ansluta från den västerut belägna kvinnokliniken. Dessa bottenpunkter överfördes sedan med hänglod till hiss-gropens botten där de befästes med spikar på brädlappar som i sin tur var fästade (bultpistol) vid schaktets botten. Spikarna markerade insidan av hiss-schaktets väggar. Lodriktningen av trapphuset gjordes sedan med hänglod från bräder spikade inne i gjutformen. Formarna utgjordes av våningshöga plywoodelement.

Norra och södra trapphusen lodriktades på liknande sätt, men här var utgångspunkterna belägna i de omgivande planens nivå och förfarandet därför enklare.

2.2.3 Stommens montering

Monteringsledaren bedömde att plintarna i en del fall var för höga och därmed instabila för att tåla vindkrafter från fristående pelare. De var dessutom endast svagt förankrade vid berget. (Vindkrafter på färdigt hus var som framgått av tidigare beskrivning avsedda att överföras till och tas upp av trapphusstörnen.) Av detta skäl monterades först de balkar som låg direkt på plintar och därefter bjälklagen på dessa balkar. (Bjälklag plan 0 i husets norra del och bjälklag plan 1 i husets södra del.)

Vid pelarmonteringen sänkte man sedan ner och lodriktade de undre pelardelarna som kilades mot de monterade bjälklagsplattorna (plan 0 respektive

plan 1). Pelarnas lägen i horisontalplanet bestämdes av de i holkarna insatta styrinjalerna. Lodriktningen av varje enskild pelardel gjordes med de av AB Strängbetong använda kikarinstrumenten, där kikaren kan roteras kring såväl en vertikal som en horisontal axel, fig. 9. De första pelarna monterades uteslutande med detta hjälpmedel. När man riktat och fixerat några pelare spände man snören mellan deras toppar och riktade mellanstående pelares toppar efter snörena.

När lodriktigheten befanns godtagbar göt man betong i holken och fixerade därmed pelaren vid holken och plinten.

Bjälklagen plan 0 respektive plan 1 lades därefter ut i sin helhet. Pelarna monterades, lodriktades och fixerades utan särskild ordningsföljd alltefter åtkomlighet på byggsplatsen.

Vid den fortsatta monteringen av överliggande plan lade man först ut bjälklaget i mitten — mellan trapphustornen och mellan linjerna L—L och O—O, fig. 7 — och därefter övriga bjälklag på samma våning. På så sätt erhöles stabilisering för horisontala krafter, främst i nord-sydriktning.

Riktning av övre pelardelar tillgick i stort på samma sätt som vid undre pelardelar. I skarven fanns en justermöjlighet på ca 10 mm. (Spel mellan skruv och hål. Dessutom kunde bultarna dras något snett.) Justermöjligheten behövde aldrig utnyttjas. Vid lodriktningen spändes snören efter vilka topparna riktades samt användes lodinstrumentet, fig. 9, som ställdes på bjälklaget över balkarna eller i trapphusen där instrumentet kunde stå utan fjädring.

Under hela monterings tiden kontrollerade man också lodriktigheten hos redan satta pelare med hjälp av vattenpass (fabrikat Danderyd, känslighet 2').

Pelarlägen kontrollerades också i en del fall genom mätning av enskilda fack. Justering gjordes huvudsakligen med hjälp av tråkilars som slogs in mellan pelare och bjälklag.

Vid monteringen hade man ställt särskilda krav på — riktat monteringsledarens uppmärksamhet på — upplagen (konsolerna) för balkarna vars angivna nivåer noga skulle hållas. För övrigt skulle monteringsnoggrannheten vara »normal».



Fig. 9. Lodinstrument, fabrikat Berg.
Rörvattenpassets känslighet 35". Förstoring 16 ggr.

*Plummet by Berg.
Tubular spirit level having a sensitivity of 35". Enlarged 16 times.*

2.2.4 Gjutning av överbetong

Överbetongens gjutning var betongtekniskt intressant (vakuummetoden), men gjordes för övrigt på vanligt sätt. Avstrykningsreglar (»banor») av stål-balkar för vibrationsbrygga lades ut i husets tvärriktning på horisontalt avvägda »punkter» av betong. Detta medförde att den färdiga överbetongens tjocklek blev minst på mitten där TT-kassetternas överhöjning var störst. Efter nedlastningen blev golvet något konkavt. Överbetongen påverkade mätresultaten genom lastverkan på stommen. Den göts efter ett schema som skulle medföra så liten snedbelastning som möjligt. (Denna inverkan har f. ö. diskuterats som ett framtida, intressant forskningsprojekt.) För övrigt påverkade överbetongen

mätresultaten endast i linjen mellan fasadpelarna, där det s. k. rektangulära öppningsmättet mättes, se avsnitt 4.1.

2.2.5 Vertikala mått

De flesta avvägningar skedde från en fix på en fast bergklack strax norr om huskroppen. Dessutom fanns hjälpfixar, bl. a. en invid södra trapphuset i det där belägna rörschaktet. Från denna mättes med måttband upp till olika våningsplan där av-sättning av våningsfixar gjordes.

När stommen var monterad avvägde man ett märke på var pelare och från märket mätte man sedan med fasta mått för överbetongens yta m. m.

3 FASADER — MÅTT VINKELRÄTT FASADPLAN

På den studerade stommen låg fasadelementbanden 50 mm utanför de skivor av mineralull som klistrats på balkarnas och pelarnas yttersidor, fig. 5 a och 5 b.

Till den kommande utbyggnadsetappen övervägde man att införa utanpåliggande dubbla fasadelement av sandwichtyp liksom utanpåliggande träelement. Båda dessa typer avsågs ligga direkt mot pelarnas betongytor, varvid planheten hos dessa — eller snarare hos pelarliven — skulle bli av stor betydelse. Det var därför av intresse att studera vilka planhetsavvikelser som kunde uppträda hos pelarliven liksom planhetsavvikelsernas orsaker — pelargrundläggningens inflytande m. m. — för att kunna göra eventuellt erforderliga förbättringar.

3.1 Studiemetodik

Fasadernas avvikelser från planhet mättes dels på fotogrammetrisk väg, dels enligt metoder där teodoliter användes. (Försök med mätmetoder, se avsnitt 8.) Den fotogrammetriska mätningen gjordes av anlitad konsult.

I detta avsnitt redovisas i 3.3.3 och 3.3.4 resultat som bygger på den fotogrammetriska mätningen. I övrigt redovisas resultat som härrör från en metod där två teodoliter användes samtidigt, fig. 10. Den fotogrammetriska metoden hade den största noggrannheten varför resultaten från denna metod skulle ha kunnat redovisas genomgående. De fotogrammetriska beräkningarna blev emellertid färdiga först efter det att teodolitmätningens resultat bearbetats. I de fall skillnaden i noggrannhet metoderna emellan har betydelse för slutresultatet har en omarbetning gjorts så att fotogrammetriresultaten använts (gäller ovan angivna avsnitt.)

Den fotogrammetriska mätningen gjordes med enkelbilder tagna längs fasaderna och från stationer i deras förlängningar. Två bilder — tagna en från vardera gaveln — användes för utvärdering av

måttavvikelserna för varje fasad. Mätpunkterna utgjordes av små märken som satt på beslag vilka i sin tur var fästade på pelarna, fig. 11. Metodikens noggrannhet beräknades av konsulten utifrån geometriska villkor mellan punkterna för de dubbel-fotograferingar som gjordes.

Metodiken vid fasadmätning med två teodoliter var i korthet: Instrumenten stod i stationer nästan i linje med fasadliven och i deras förlängningar. Teodoliterna var låsta i sidled dvs. låsskruvarna för

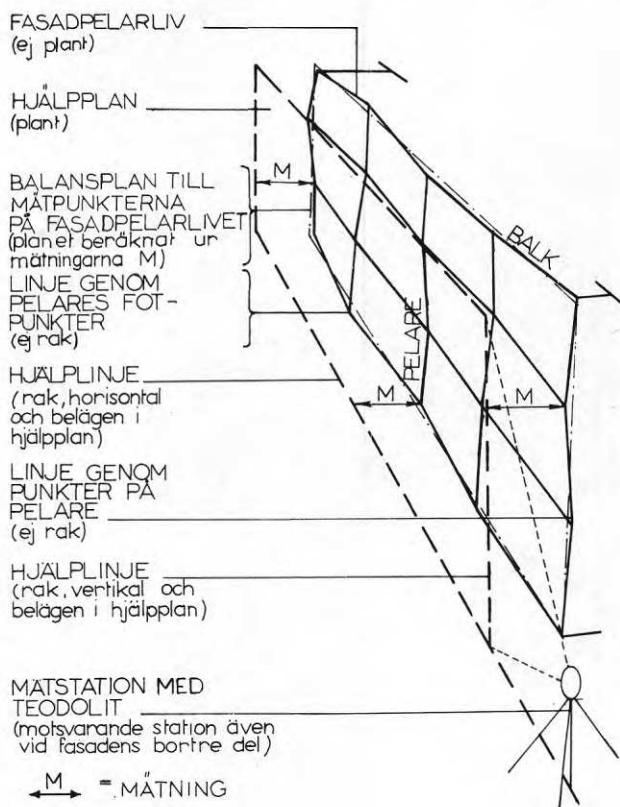


Fig. 10. Fasad och hjälpplan, principfigur. Fasad av pelare och balkar. Hjälpplan genererat av siktlinjen genom en teodolit vars kikare vrids i vertikalled. Mätning (M) från hjälpplan till pelare, exempel.

Elevation and plane of sight, outline diagram. Elevation of columns and beams. Plane of sight generated by the line of sight through a theodolite the eyepiece of which is rotated in the vertical plane. Measurement (M) from reference plane to column, example.

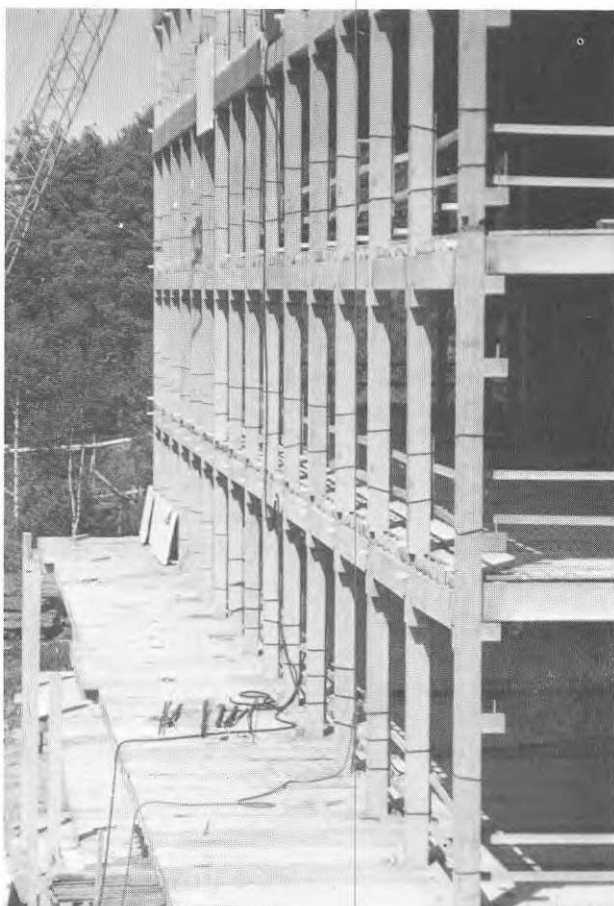


Fig. 11. Fasad åt väster. Pelarliv med beslag för mätmärken för fotogrammetrisk mätning.

Detaljer: Pelarfot med beslag och mätmärke.

Speciellt utformat mätmärke (K. Torlegård, KTH).

Märket är tryckt som etikett.

Western elevation.

Surface of column with fixings for markers for photogrammetric measurement.

Details: Base of column with fixings and marker.

Specially designed marker for photogrammetric measurements (by K. Torlegård, Royal Institute of Technology, Stockholm).

The marker is printed as a label.

vertikalaxlarna var tilldragna. Den ena teodoliten riktades längs fasadlivet mot motstående teodolits stationspunkt. När kikarna roterades i vertikalled genererades hjälpplan och till dessa mättes avstånd (M i fig. 10) från pelarna med hjälp av en centimeterindeldad skalsticka som hölls mot pelarnas yttersidor. Mätningen gjordes i ett tubläge. En våning mättes åt gången och innan mätning av nästa våning påbörjades kontrollerades teodoliternas riktningar samt utfördes eventuella justeringar. Horisontalvattenpassen kontrollerades kontinuerligt. Stationernas lägen var så valda att hjälpplanen kom att ligga parallellt med eller genom befintliga baslinjer utanför fasaderna. Linjerna som etablerats innan arbetet med grunden började var befästa med två blåmålade rör på västra sidan samt ett blåmålat rör och ett på berget i söder målat märke på husets östra sida, fig. 7. Avsikten med valet av hjälpplan var att få en uppfattning om husets avstånd och riktning i förhållande till baslinjerna.

Förutom den beskrivna fasadmätningen gjordes mätningar i ytterligare två omgångar och bägge gångerna från i föregående beskrivna hjälpplan.

Före fasadmätningen, medan arbeten i grunden ännu pågick, mättes linjerakheten hos pelarholkar och pelarfästen. Avsikten var att se hur pelarnas placering inverkade på det blivande fasadlivet. Holkarnas mittpunkter var bestämda av insatta styrinjaler och realiserades vid mätningen med pelarattrapper (lådor) som sattes mellan linjalerna på pelarnas blivande plats, fig. 12. Mätningen gjordes från en station för var linje och i två tublägen.

Fasadmätningen på vänster fasad fick begränsas till plan 2—5 eftersom det utkragade däck, plan 2, tog bort sikten till underliggande plan 0 och 1. Fasaderna utanför dessa plan mättes därför i en särskild omgång och då som avvikelser från linjerakhet. Mätning gjordes från två stationer belägna i samma linje som vid fasadmätningen.

Teodolitmetodikens noggrannhet vid mätningen av fasadernas avvikelser från planhet kan uttryckas som ett medelfel och har beräknats till 2,6 mm, se avsnitt 8.2.1. Beräkningen (kalibreringen) är gjord med utgångspunkt från motsvarande resultat vid fotogrammetrisk mätning och med hjälp av det kända medelfelet för denna metodik (1,65 mm).

Medelfelet med teodolit vid mätning av avvikelser från linjerakhet kan antas vara mindre än medelfelet vid fasadmätning (2,6 mm) eftersom inverkan

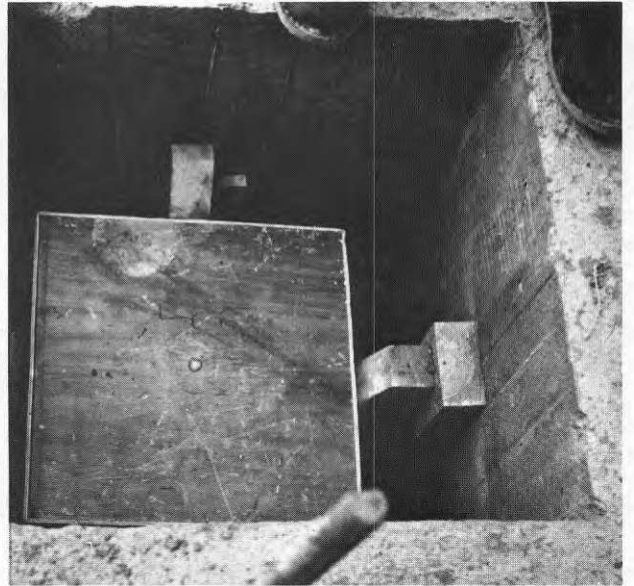
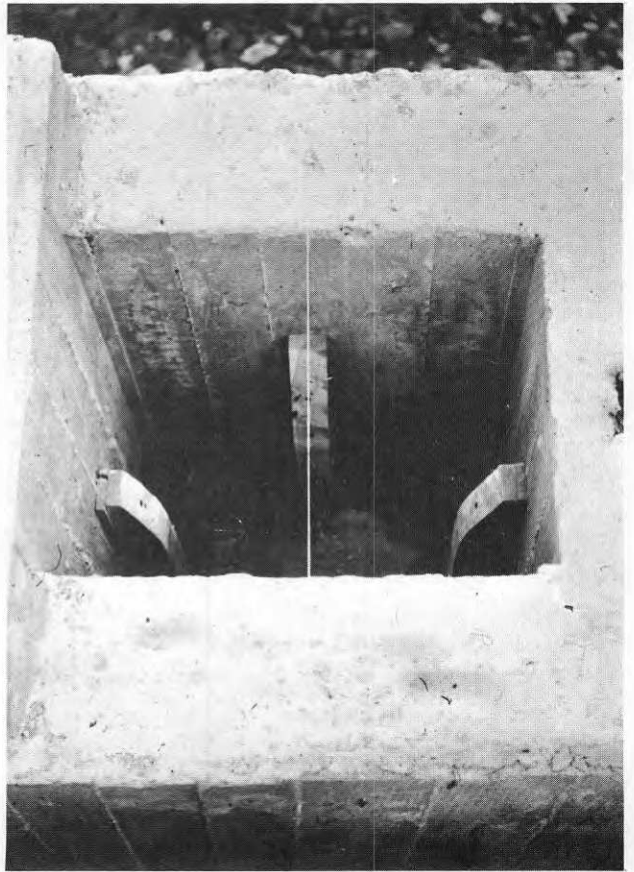


Fig. 12. Inmätning av pelarholkars lägen.
 Pelarcentrum realiserades med en punkt på en låda som placerades mellan styrlinjalerna. Punkten lodades upp till nivå med holkens kant med hjälp av optiska lodet på teodoliten. Punktens läge markerades med ett märke på ett snöre vars läge säkrats med märken på holkens kanter.

Measuring positions of column sockets.
 The centre of each column was marked with a point on a box placed between the guide rods. The point was plumbed up to the level of the edge of the socket using the optical plummet on the theodolite. The location of the point was set out with a marker on a string, the position of which was checked with the markers at the socket's edge.



av instrumentets horisontalaxelfel därvid blev mindre (bortföll); mätningen genomfördes inom en kortare tidrymd och siktsträckorna var dessutom något kortare.

3.2 Mätdatas bearbetning

Ur mätdata från var fasad beräknades ett balansplan. Planets lutning α i förhållande till lod och vridning β , detta i förhållande till hjälpplanet genom blå rören — genom baslinjen — beräknades. Mätpunkternas lägesspridning kring balansplanet beräknades samtidigt. Som mått på spridningen erhöles då ett medelfel (s_0) i mm. Därefter beräknades värdena för de enskilda mätpunkternas av-

vikelser från balansplanet. Ur dessa har sedan varje pelares lutningsdifferens $\delta\alpha$ och varje horisontal linjes vridningsdifferens $\delta\beta$ i förhållande till balansplanet beräknats. Vinkeldifferenserna $\delta\alpha$ och $\delta\beta$ räknas mellan balansplanet och de enskilda balanslinjerna genom de vertikala punktlinjerna på pelarna respektive de horisontala punktlinjerna på olika nivåer. Kring dessa balanslinjer har också mät-punkternas lägesspridning — avvikelser från linjerakhet — beräknats som medelfel (s_0) mm.

Slutligen har för var fasad lägesspridningen hos mätpunkterna beräknats för balansplan anpassade till sex punkter på tre närstående pelare respektive fyra punkter på två sådana pelare. Dessa fall avses ge en uppfattning om underlaget för fasadelement som spänner över tre, respektive två pelare.

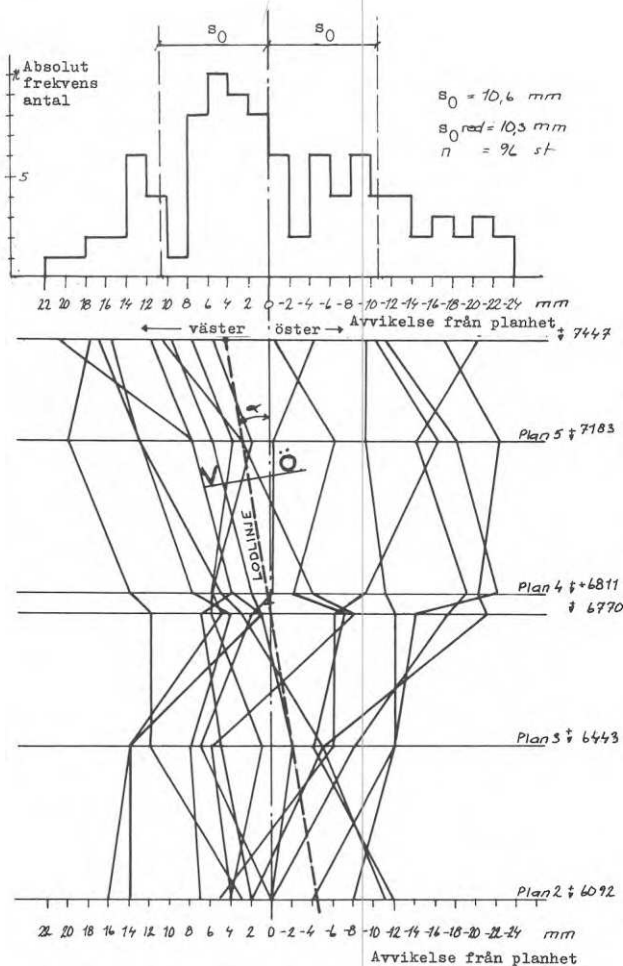


Fig. 13. Fasadernas avvikelser från planhet. Öster fasad, plan 2—5.

Resultat från norra mätstationen. Under histogrammet visas pelarna (mätpunkterna) i projektion längs fasaden.

Deviations from flatness in the elevations. Eastern elevation, floors 2—5.

The diagram illustrates the results obtained from the northern measurement station. The columns (measuring points) are shown in projection along the elevations under the histogram.

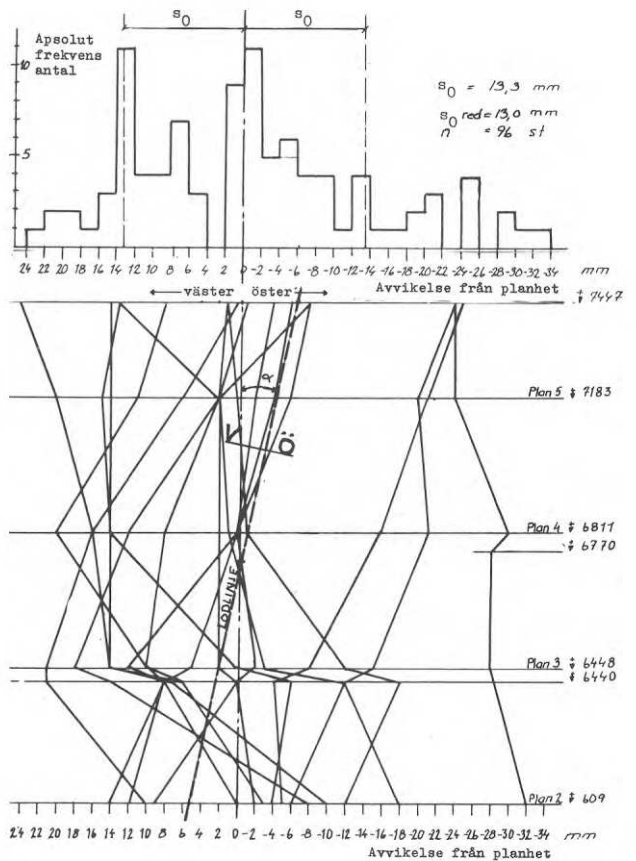


Fig. 14. Fasadernas avvikelser från planhet. Väster fasad, plan 2—5.

Resultat från norra mätstationen. Under histogrammet visas pelarna (mätpunkterna) i projektion längs fasaden.

Deviations from flatness in the elevations. Western elevation, floors 2—5.

The diagram illustrates the results obtained from the northern measurement station. The columns (measuring points) are shown in projection along the elevations under the histogram.

3.3 Resultat

3.3.1 Plan 2—5, 4 våningar, 16 pelare

Avvikelse från planhet, lutning, vridning

Resultaten visas i histogrammen, fig. 13 och 14, för öster respektive väster fasad. Under histogrammen visas »pelarna» — mätpunkternas avvikelser sammanbundna med linjer — i projektion längs fasaden. Projektionerna avser att ge en *översiktlig helhetsbild* av avvikelserna som ett komplement till histogrammens spridningsbild. I sina detaljer är de undre figurerna inte tillräckligt noggranna eftersom enskilda punkter har medelfelet 2,6 mm.

Sammanlagda resultatet från båda fasaderna visas med histogrammen, fig. 15.

De viktigaste resultaten blev sammanfattningsvis:

Öster fasad

$s_0 = 10,6$ mm
 $\alpha = -0,65$ m rad
 = 9 mm/13,5 m,
 åt öster

Väster fasad

$s_0 = 13,3$ mm
 $\alpha = 0,85$ m rad
 = 11 mm/13,5 m,
 åt väster

$\beta = 0,15$ m rad
 = 10 mm/63 m,
 medsols

$\beta = 0,23$ m rad
 = 15 mm/63 m,
 medsols

Båda fasaderna: $s_0 = 12,1$ mm.

Mätmetodikens fel:

(Metod med två teodoliter, avsnitt 8.2.2)

Planhetsmätningens medelfel $s_{0mt} = 2,6$ mm
 Medelfel i $\alpha < 0,1$ m rad
 Medelfel i $\delta\alpha < 0,3$ m rad
 (Horisontalvattenpassens känslighet = 20")
 Medelfel i $\beta < 0,01$ m rad
 Medelfel i $\delta\beta < 0,02$ m rad
 Medelfelen i α och i β kan försummas.

Motsvarande grundmedelfel för planhetsavvikelserna, reducerade för mätmetodikens medelfel, blev:

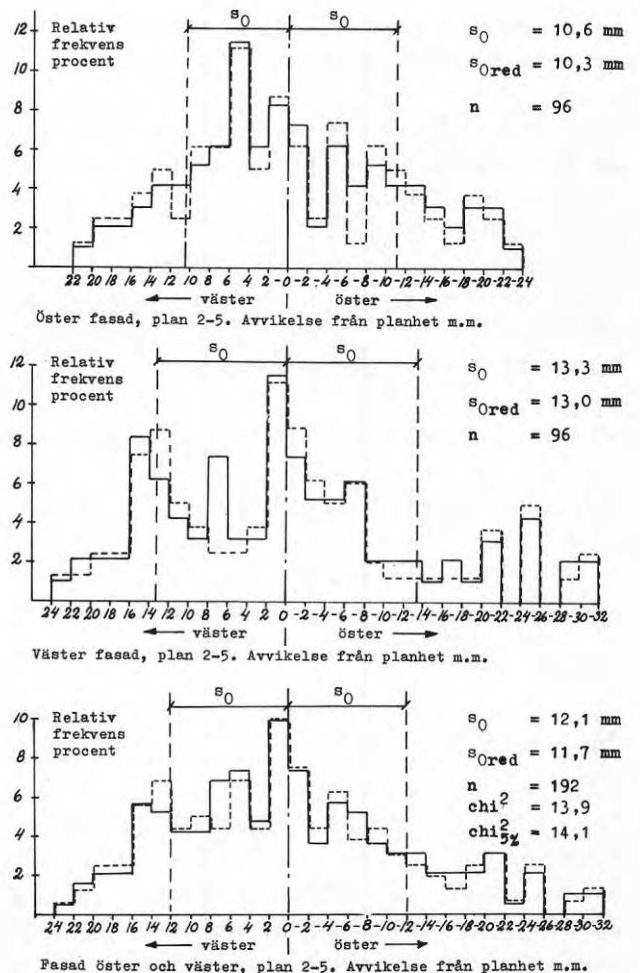
Öster fasad

$s_{0red} = 10,3$ mm

Väster fasad

$s_{0red} = 13,0$ mm

Båda fasaderna: $s_{0red} = 11,7$ mm.



Resultaten innebär att avvikelserna med
68 % sannolikhet ligger inom $\pm s_0$ mm
95 % sannolikhet ligger inom $\pm 2s_0$ mm
99,7 % sannolikhet ligger inom $\pm 3s_0$ mm.

Enligt utförd χ^2 -test kan man anse att de samman-
tagna mätvärdena från båda fasaderna ($n = 192$) är
normalt fördelade.

Man kan därför vid ett framtida byggeri — om det
sker under samma förutsättningar — räkna med att
det »sannolikt händer högst 3 ggr på 1 000» att av-
vikelsen från balansplanet blir större än

$$\pm 3 \times 11,7 = \text{ca } \pm 40 \text{ mm } (\pm 35,1).$$

Av lutningarna a framgår att båda fasaderna lutar
utåt, dvs. huset blir bredare uppåt, vilket stämmer
med erfarenheter från tidigare montering där över-
höjda bjälklagsplattor använts. När överhöjningen
minskar i och med att plattorna belastas, uppstår
ett utåtriktat tryck på fasaderna.

3.3.2 Planhetsavvikelsen sedd som avvikelser hos linjer i planet samt planhetsavvikelsens orsaker

Pelares (vertikala linjers) lutning och avvikelser från
raket samt horisontala linjers vridning och rak-
hetsavvikelser framgår av fig. 16, 18 och 19.

I fig. 16 och 18 har värdena på s_0 för pelare satts
inom parentes. De är beräknade för endast sex
punkter och därför osäkra. De medelvärden för
»alla» punkter (16 pelare) som anges längst ner på
figurerna är bättre underbyggda. Öster fasad $s_{0\text{red}} = 3,5$ mm och väster fasad $s_{0\text{red}} = 4,8$ mm ger
tillsammans $s_{0\text{red}} = 4,2$ mm för samtliga fasadpe-
lares rakhetsavvikelser vinkelrätt fasad.

Medelvärdet för pelarnas lutning (för $\delta\alpha$) blev som
väntat ca 0. Största lutning relativt hela fasadens
balansplan har en pelare på öster fasad, nr 17, med
 $\delta\alpha = 2,1$ m rad = ca 30 mm på hel fasadhöjd (13,5
m). Medelfelet i mätmetodiken medför att enskilda
värden är för osäkra varför de satts inom parentes,
fig. 16 och 18. Värdena anger emellertid vissa ten-
denser.

Horisontala linjer

Lägesfelen i pelarnas fotpunkter, plan 2, på öster
fasad, fig. 16, och plan 0 resp. plan 1 på väster
fasad, fig. 19, bestäms huvudsakligen av linjerak-
heten hos underliggande pelarfästen och pelarholkar,
fig. 17 och fig. 20. Ändringen i medelfelet (s_0) är på
öster fasad, fig. 16, från 6,1 mm till 7,2 mm och på

väster fasad, fig. 19, från 5,7 mm till 4,7 mm. Det
förhållandet att det inte skett någon påtaglig ökning
i spridningen (i s_0) tyder på att monteringsanord-
ningarna, såsom styrinjaler i holkar etc., har haft
tillfredsställande styrka.

Lägesfelen, eller rättare avvikelserna från linjerakhet
hos punkter i nederkant på pelarna i plan 2, väster
fasad, fig. 18, kan karaktäriseras med spridnings-
mättet $s_0 = 11,7$ mm. Avvikelsen är påverkad av
feltillväxten i mellanliggande plan 0 och plan 1,
fig. 19.

Avvikelsen från linjerakhet i nivå med de lägsta
punkterna i de fasadytor som studerats, plan 2—5,
kan således beskrivas med grundmedelfelen 7,2 mm
för östra och 11,7 mm för västra sidan.

Samband

Planhetsavvikelsen hos fasaderna plan 2—5 kan
primärt sägas vara försäskad av följande 4 faktorer:

Lägesfel i pelarnas bottenpunkter

Lodfel (lutning) hos fristående fastgjutna pelare
före balk- och bjälklagsmontering

»Initialkrokighet» hos obelastade, fristående pelare

Belastning av balkar och bjälklag

Monteringen

Vid hopfogning av balkar och pelare belastades
pelarna med drag- och tryckkrafter, främst genom
att tråkilar slogs in mellan bjälklag (TT-kassetter)
och pelare. I enstaka fall drogs monterade element
med wire och block. Denna anpassning mot planhet
medför att faktorerna:

slutligt läge i horisontal led,

slutlig lutning samt

slutlig avvikelse från raket

hos pelarna kan antas vara av varandra beroende
(korrelerade). Ett stort lägesfel i botten kan för en
pelare ha medfört en motsvarande kraft för att föra
in pelaren i planet. Detta i sin tur torde ha medfört
böjnings- och lutningsändringar samtidigt som
närmast omgivande pelare kan ha påverkats med
böjnings- och lutningsändringar i motsatt riktning.
Motsvarande resonemang bör gälla för ett stort
lodfel eller för stor initialkrokighet.

Den enda av de först uppräknade ursprungliga
faktorerna som är känd är lägena för bottenpunk-
terna, vilka kan antas opåverkade av balk- och
bjälklagsmonteringen. Detta gäller öster fasad. På

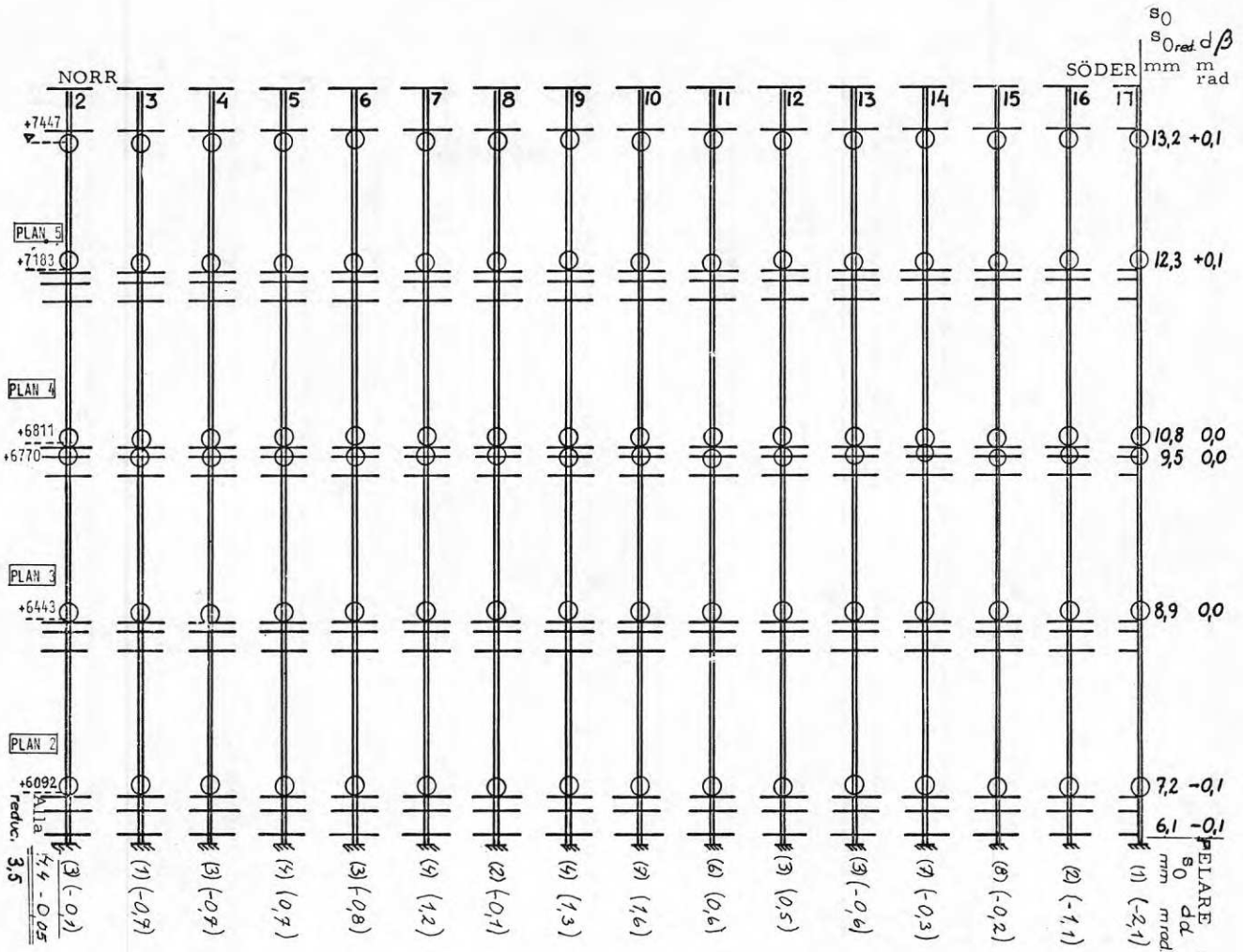


Fig. 16. Öster fasad, snitt.
 Avvikelser vinkelrätt fasadens plan. Horisontala linjers raket och vridning. Pelares raket och lutning.
 $\delta\alpha$ positivt — pelaren lutar åt öster i förhållande till balansplanet,
 $\delta\beta$ positivt — linjen vriden moturs i förhållande till balansplanet.

Eastern facade, section.
 Deviations at right angles to the plane of the elevation. Straightness and rotation of horizontal lines. Straightness and slope of columns.
 $\delta\alpha$ positive; the column inclines eastwards in relation to the plane of balance,
 $\delta\beta$ positive; the line rotated anti-clockwise in relation to the plane of balance.

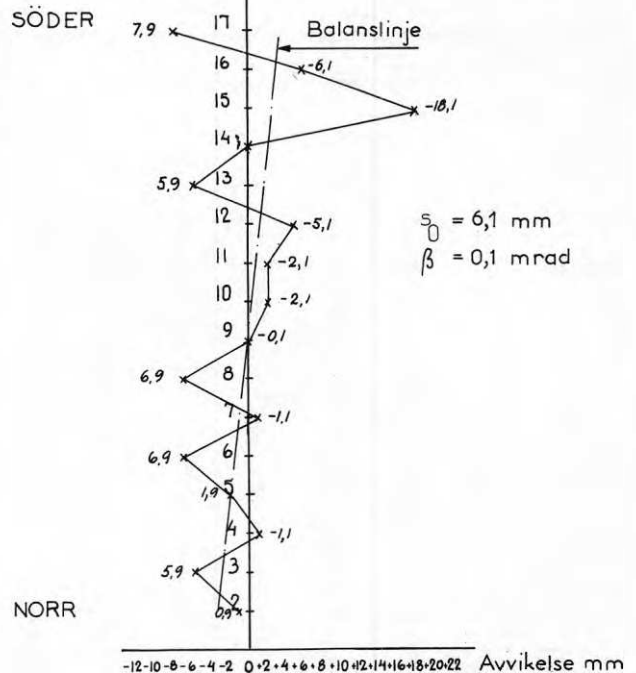
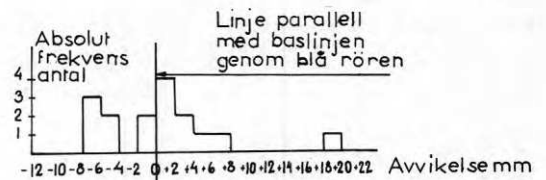


Fig. 17. Pelarfästernas (grundmurens) linjerakhet. Öster fasad, under plan 2.
 Straightness of the column fixings (of the foundation wall). Eastern elevation, under floor 2.

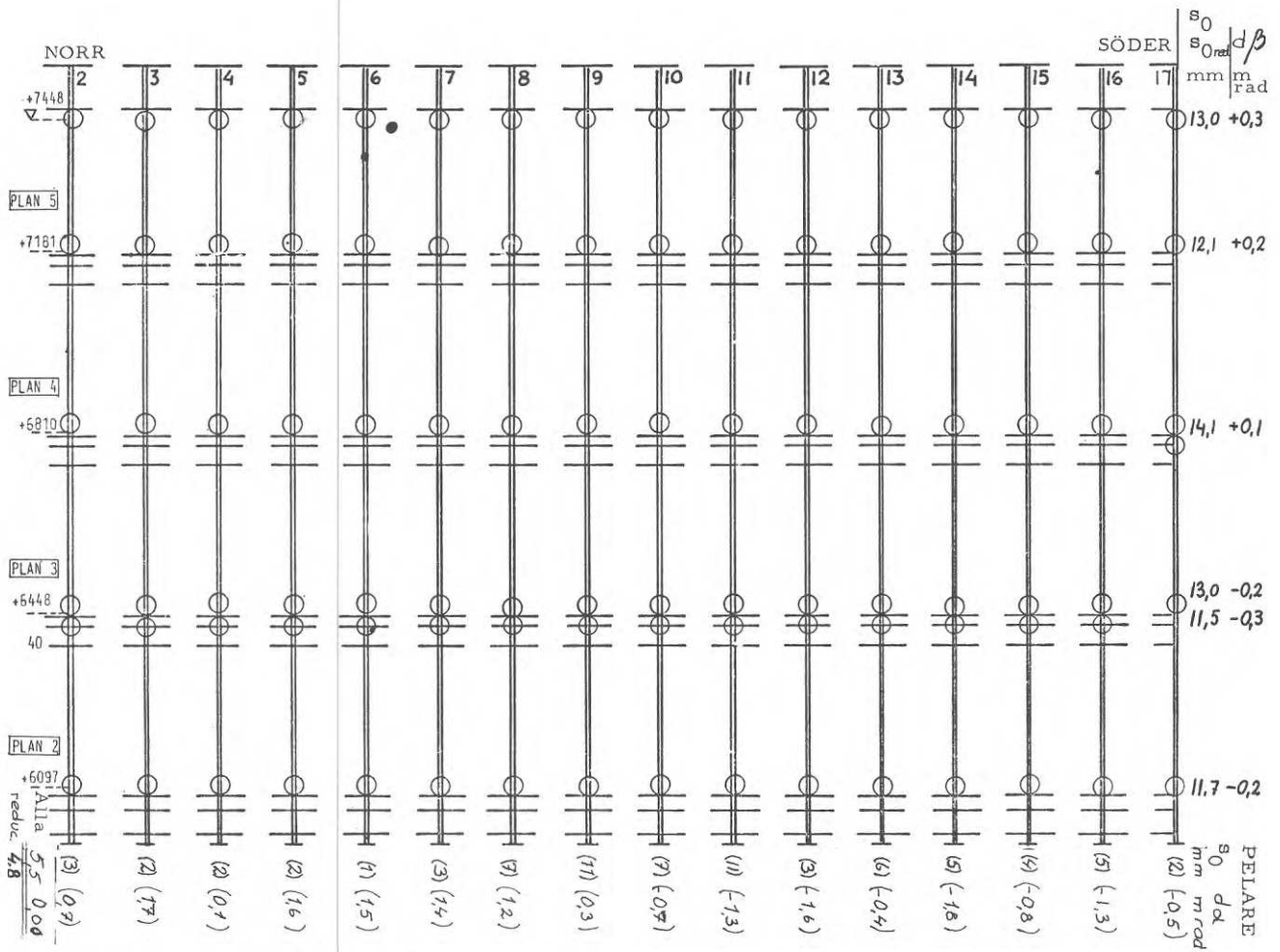
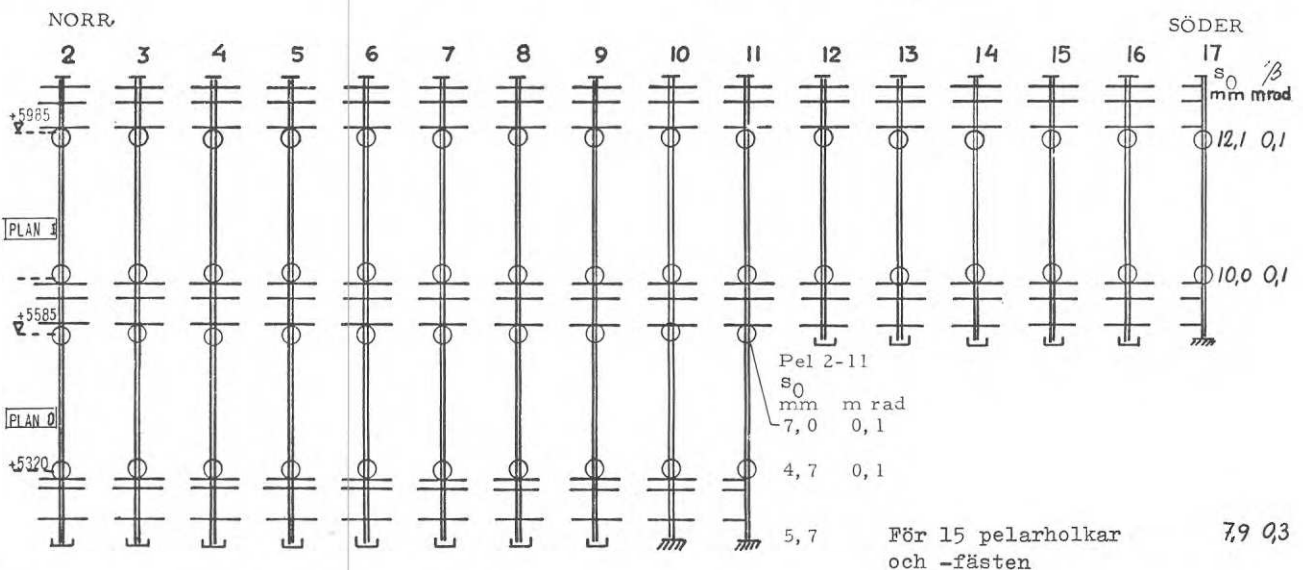


Fig. 18. Väster fasad, plan 2–5, elevation.
 Avvikelse vinkelrätt fasadens plan.
 Horisontala linjers raket och vridning.
 Pelares raket och lutning.
 δa positivt – pelaren lutar åt öster i förhållande till balansplanet,
 $\delta \beta$ positivt – linjen vriden moturs i förhållande till balansplanet.

Western elevation, floors 2–5.
 Deviations at right angles to the plane of the elevation.
 Straightness and rotation of horizontal lines.
 Straightness and slope of columns.
 δa positive; the column inclines eastwards in relation to the plane of balance,
 $\delta \beta$ positive; the line rotated anti-clockwise in relation to the plane of balance.

Fig. 19. Väster fasad, plan 0 och 1, elevation.
 Avvikelse vinkelrätt fasadens plan.
 Horisontala linjers raket och vridning.
 β positivt – linjen vriden medurs i förhållande till hjälplanet genom blå rören.

Western elevation, floors 0 and 1.
 Deviations at right angles to the plane of the elevation.
 Straightness and rotation of horizontal lines.
 β positive; the line turned clockwise through the blue pipes in relation to the plane of balance.



väster fasad, plan 2, var pelarna kilade mot TT-kassetterna med tråkilar. Om kilningen gjordes före påbörjad eller under pågående balk- och bjälklagsmontering har tyvärr inte observerats. En viss fjädring i nivå med plan 2 kan emellertid misstänkas.

Lodfel hos fristående pelardelar mättes inte. Initialkrokigheten hos pelare av full längd kunde inte mätas. (Däremot mättes initialkrokigheten hos nedre pelardelar, som senare skall visas. I samband därmed kunde också indirekt konstateras vid de ca 15 pelare som mättes, att dessa var väl lodriktade innan de göts fast.)

Fig. 21 visar sambandet mellan lägesavvikelse hos bottenpunkter och lutningar hos pelares balanslinjer. Lägesavvikelsena och lutningarna anges i förhållande till balansplanet, dvs. de senare som lutningsdifferens $\delta\alpha$. En positiv men svag korrelation mellan de två faktorerna kan påvisas (ej signifikant).

De »slutliga avvikelsernas» andelar i den totala planhetsavvikelsen kan uttryckas i procent enligt

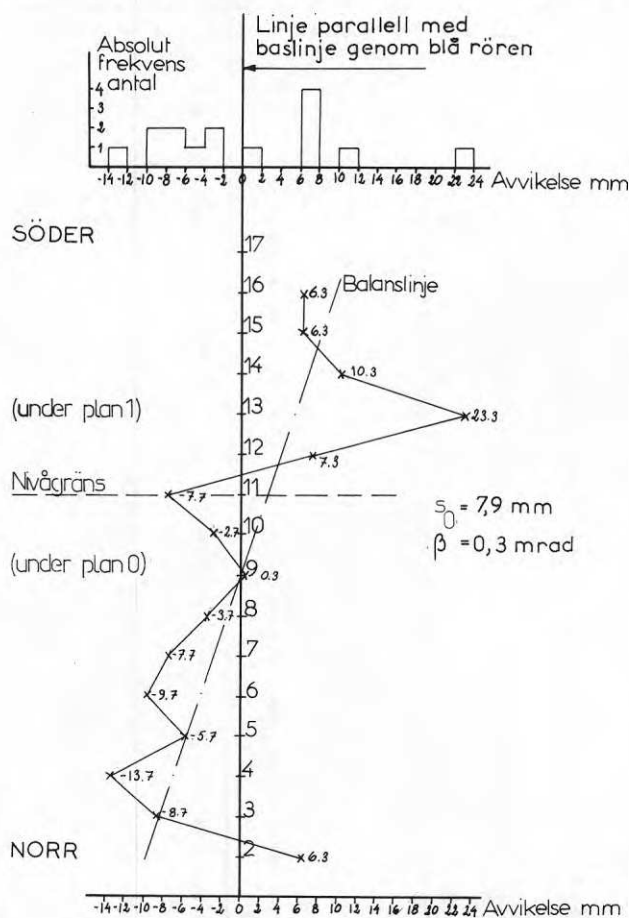


Fig. 20. Pelarholkarnas och -fästenas linjerakhet. Väster fasad, under plan 0 resp. under plan 1.

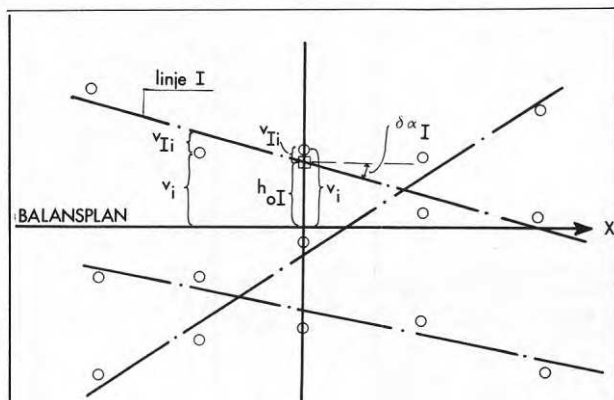
Straightness of the fixings and the column sockets. Western elevation, under floors 0 and 1 respectively.

tab. 1. Fördelningen avser summan av kvadraterna på avvikelserna — motsvarande variansens fördelning.

Tab. 1. Planhetsavvikelse. Variansens uppdelning efter avvikelser hos pelare

Avvikelser	Öster fasad %	Väster fasad %
Lägesavvikelser	71,7	70,8
Lutningar	16,5	17,8
Avvikelser från raket	11,8	11,4
	100,0	100,0

Den totala avvikelsernas bidrag från enskilda pelare kan sägas bestå i en translationsdel motsvarande pelarens tyngdpunktsavstånd från balansplanet, en rotationsdel för vinkelavvikelsen samt en andel för pelarens avvikelse från raket. Det är summan av dessa bidrag som redovisas procentuellt i tab. 1. Sambandet visas med följande figur:



m linjer med vardera n punkter

$$\sum_{i=1}^{mn} v_i^2 = \underbrace{n \sum h_{0I}^2}_{\text{translation}} + \underbrace{\sum \delta\alpha_I^2 \sum X_i^2}_{\text{rotation}} + \underbrace{\sum v_{Ii}^2}_{\text{krokighet}}$$

i index för punkt

I index för linje

v_i avstånd från punkt i till ytans balansplan

v_{Ii} avstånd från punkt i till balanslinje I

X_i koordinat för punkt i (från tyngdpunkt)

$\delta\alpha_I$ vinkeldifferens mellan balanslinje I och balansplan

h_{0I} avstånd från tyngdpunkten för linje I till balansplan.

(Härledning: $v_i = h_{0I} - \delta\alpha_I X_i \pm v_{Ii}$ enligt figuren. Kvadrera! Summera först över linje I och därefter över samtliga linjer. Tre termer går bort enär

$$\sum_{i=1}^n X_i = 0; \quad \sum_{i=1}^n v_{Ii} = 0 \quad \text{och} \quad \sum_{I=1}^m \delta\alpha_I = 0.)$$

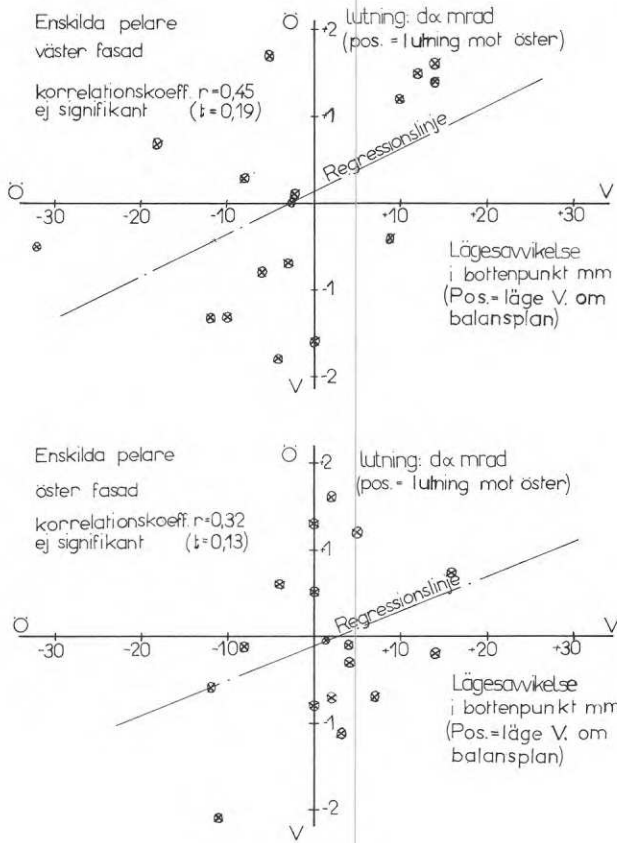
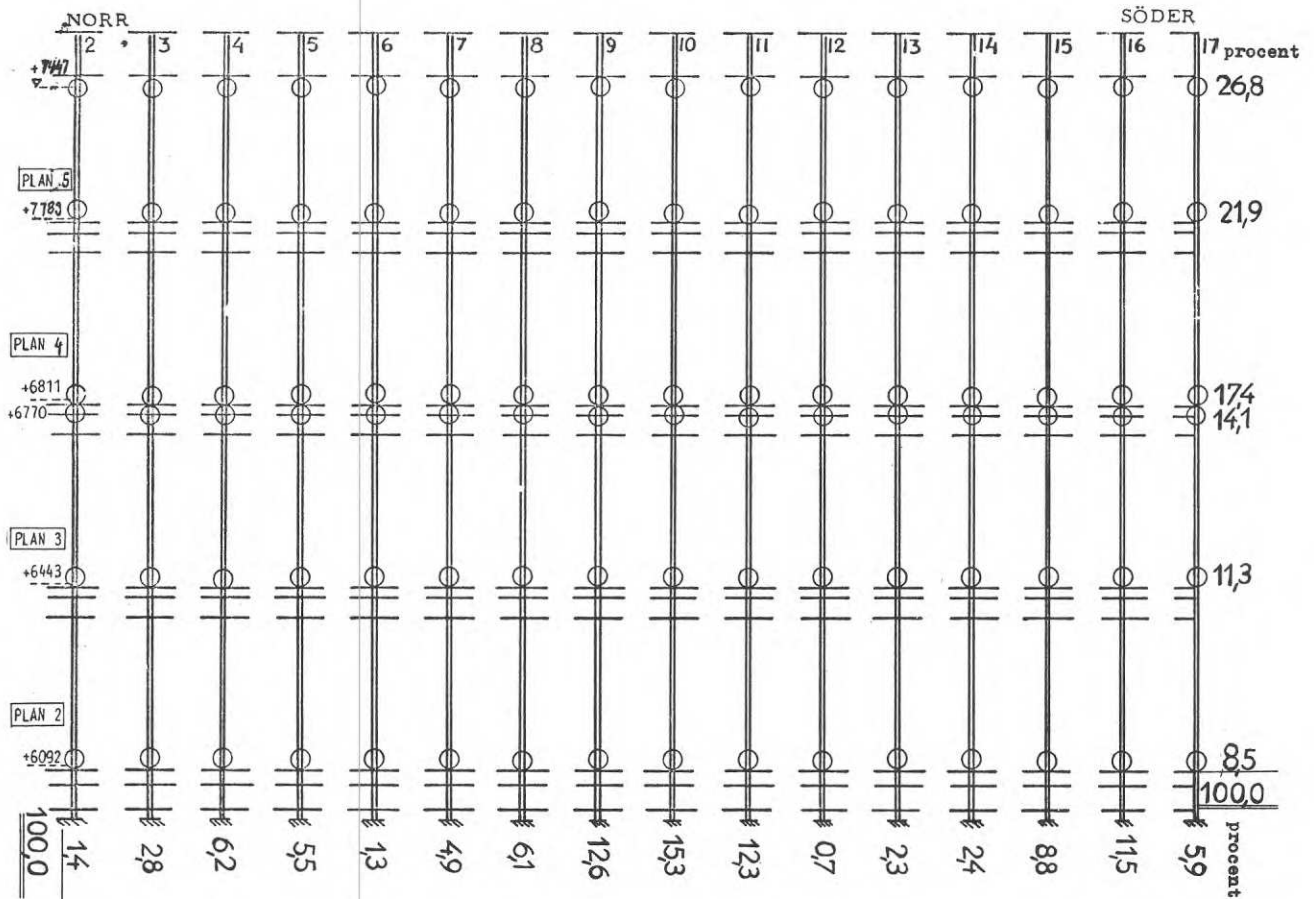


Fig. 21. Sambandet mellan lägesavvikelser (planhetsavvikelser) i pelares bottenpunkter och pelarnas lutningsdifferenser $d\alpha$; angivna i förhållande till fasadens balansplan.

Relationship between deviations in position (deviations from flatness) in the base points of columns and the differences of slope in the columns $d\alpha$; given in relation to the horizontal plane of elevation.

Fig. 22. Öster fasad, snitt. Fasadens totala varians uppdelad på horisontala linjer och motsvarande uppdelning på enskilda pelare, procent.

Eastern facade, section. The total variance in the elevation divided between horizontal lines and individual columns, in per cent.



Av tab. 1 kan man dra slutsatsen att pelarnas avvikelser från raket spelar liten roll för hela fasadytans planhetsavvikelse (dvs. för hela ytan som en enhet). För övrigt får man inte dra några förhastade slutsatser av tabellens värden. Man får t. ex. inte tro att tabellen utsäger något om lönsamheten med att göra linjerakheten i fotpunkterna bättre. (Bl. a. av den orsaken att avvikelse i fotpunkt och vinkelavvikelse är korrelerade. Lägesavvikelse i tab. 1 hänför sig till pelarnas — de vertikala punktradernas — tyngdpunkter, ej till pelarnas fotpunkter.)

Den totala planhetsavvikelsen, i betydelsen totala variansen, uppdelad på horisontala linjer och mot-

svarande uppdelning på enskilda pelare, framgår av fig. 22 och 23.

Öster fasad, fig. 22, visar stigande värden med ökande våningshöjd. Tre pelare i mitten nr 9, 10 och 11 samt pelare nr 16 lämnar särskilt stora bidrag.

Väster fasad, fig. 23, visar ungefär lika stora värden för olika nivåer. Hörnpelarna nr 2 och 17 lämnar större bidrag än övriga pelare.

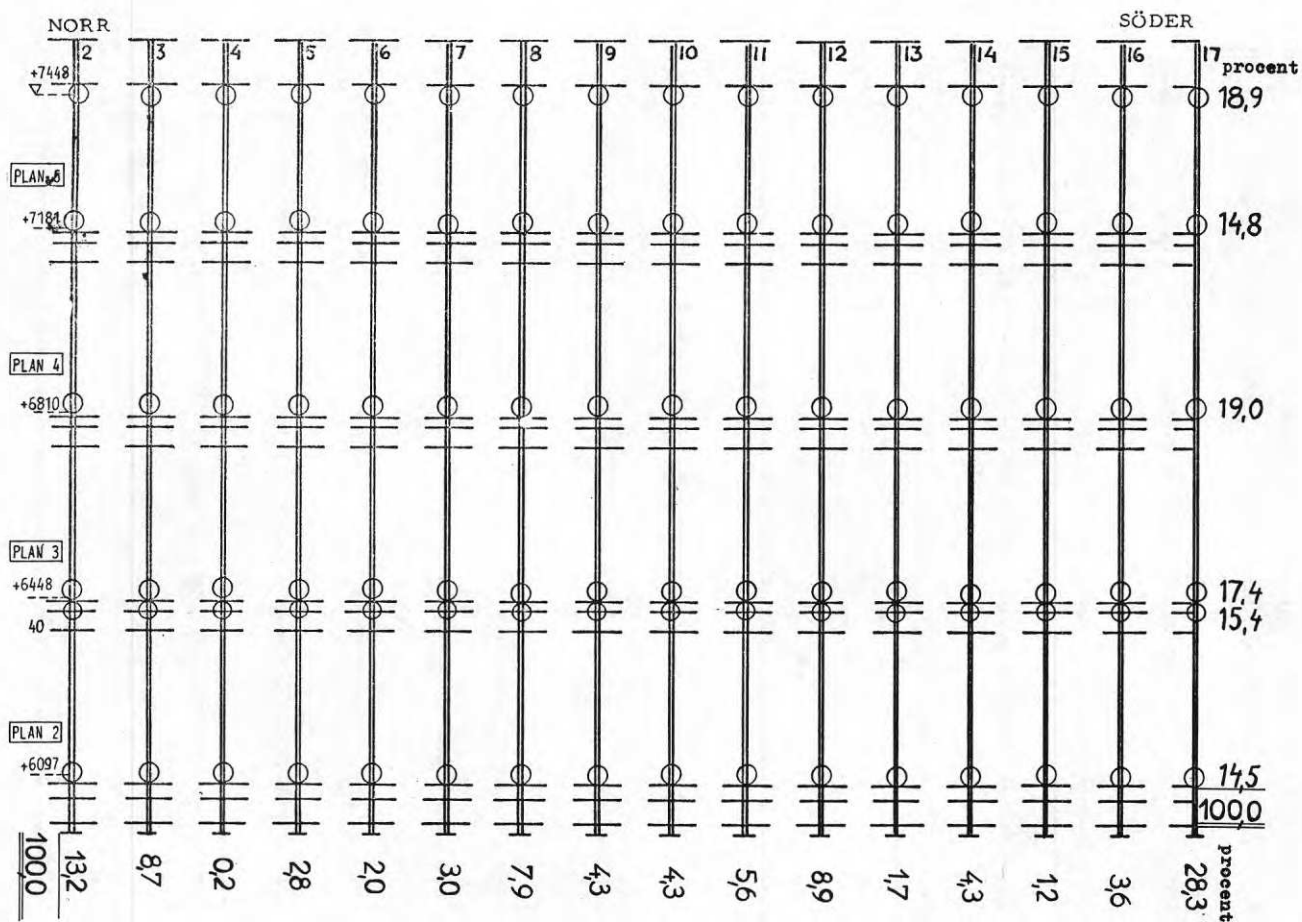


Fig. 23. Väster fasad. Fasadens totala varians uppdelad på horisontala linjer och motsvarande uppdelning på enskilda pelare, procent.

Western elevation. Total variance in the elevation divided between horizontal lines and individual columns, in per cent.

3.3.3 Tre pelare, sex punkter. Avvikelse från planhet

Balansplan har anpassats (beräknats) till samtliga mätpunkter på båda fasaderna dels till sex punkter, dels till fyra punkter på sätt som framgår av fig. 24.

Fig. 25 visar med histogram variationen kring alla balansplan som kunde anpassas till sex punkter på tre bredvid varandra stående pelare. Detta motsvarar variationen i upplagen i dessa punkter för element som spänner över tre pelare, förutsatt att elementen monteras parallellt med balansplanen:
 $s_p = 3,7 \text{ mm}$.

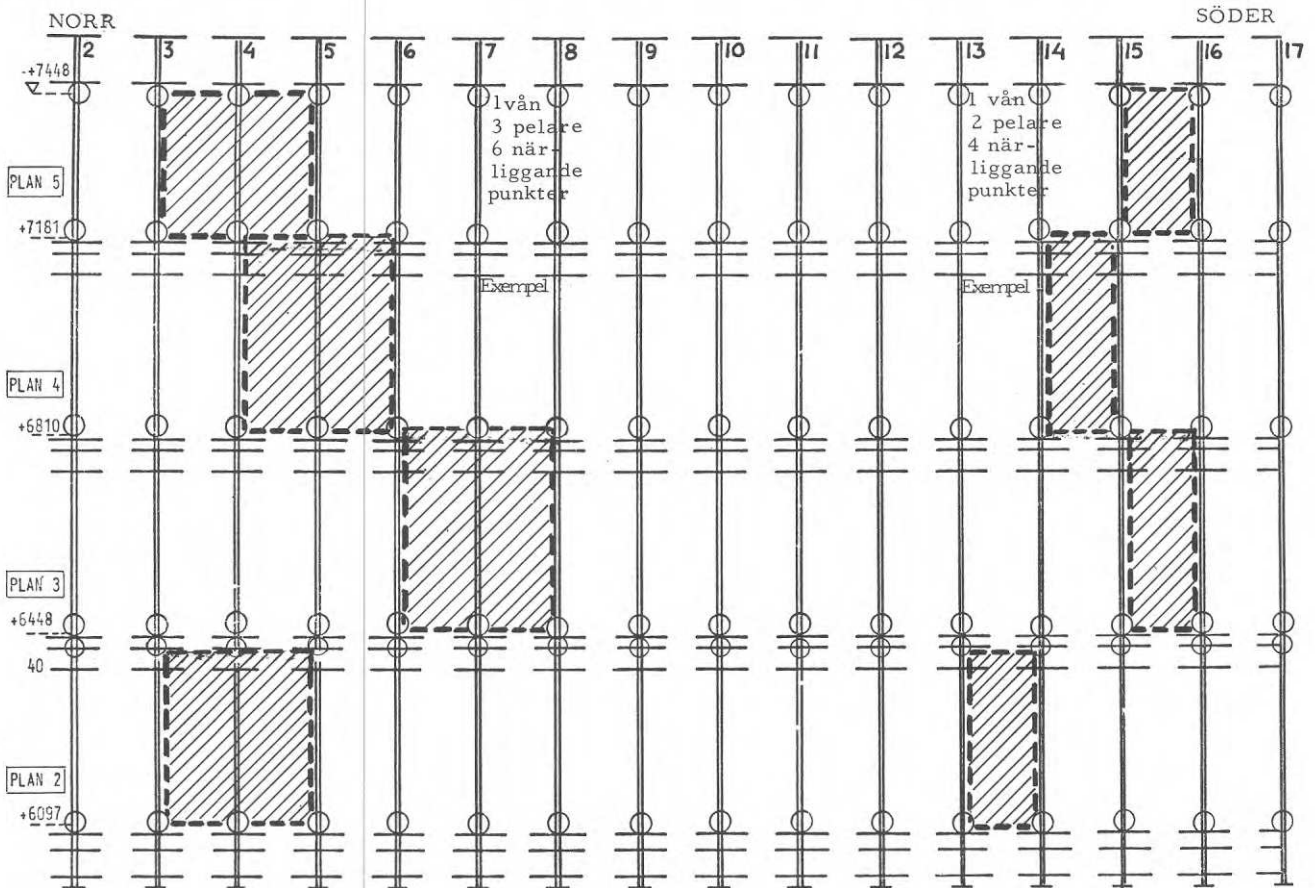
Motsvarande värde reducerat för mätmetodikens medelfel:

$$s_{pred} = 3,2 \text{ mm}$$

Det innebär att 99,7-procentgränserna $\pm 3s_{pred} = ca \pm 10 \text{ mm}$ ($\pm 9,6$), de gränser som »sannolikt överskrids endast 3 gånger per 1 000».

Fig. 24. Fasadpelarlivens planhet. Uppdelning i mindre ytor, exempel:
 1 våning, 3 pelare (6 punkter)
 1 våning, 2 pelare (4 punkter).

*Flatness of the column surfaces.
 Divided into smaller surface units.
 For example:
 1 floor, 3 columns (6 points)
 1 floor, 2 columns (4 points).*



3.3.4 Två pelare, fyra punkter. Avvikelse från planhet

Fig. 26 visar på motsvarande sätt resultatet för alla balansplan till fyra punkter på två bredvid varandra stående pelare. Detta motsvarar variationen i upplagen i dessa punkter för element som spänner över två pelare, förutsatt att elementen monteras parallellt med balansplanen. Läggs elementen med tre punkter mot pelarna blir variationen — i underpallningen i fjärde punkten — exakt den dubbla:
 $s_p = 1,9 \text{ mm}$.

Motsvarande värde reducerat för mätmetodikens fel:

$$s_{pred} = 1,7 \text{ mm}$$

99,7-procentgränserna $\pm 3s_{pred} = ca \pm 5,0 \text{ mm}$.

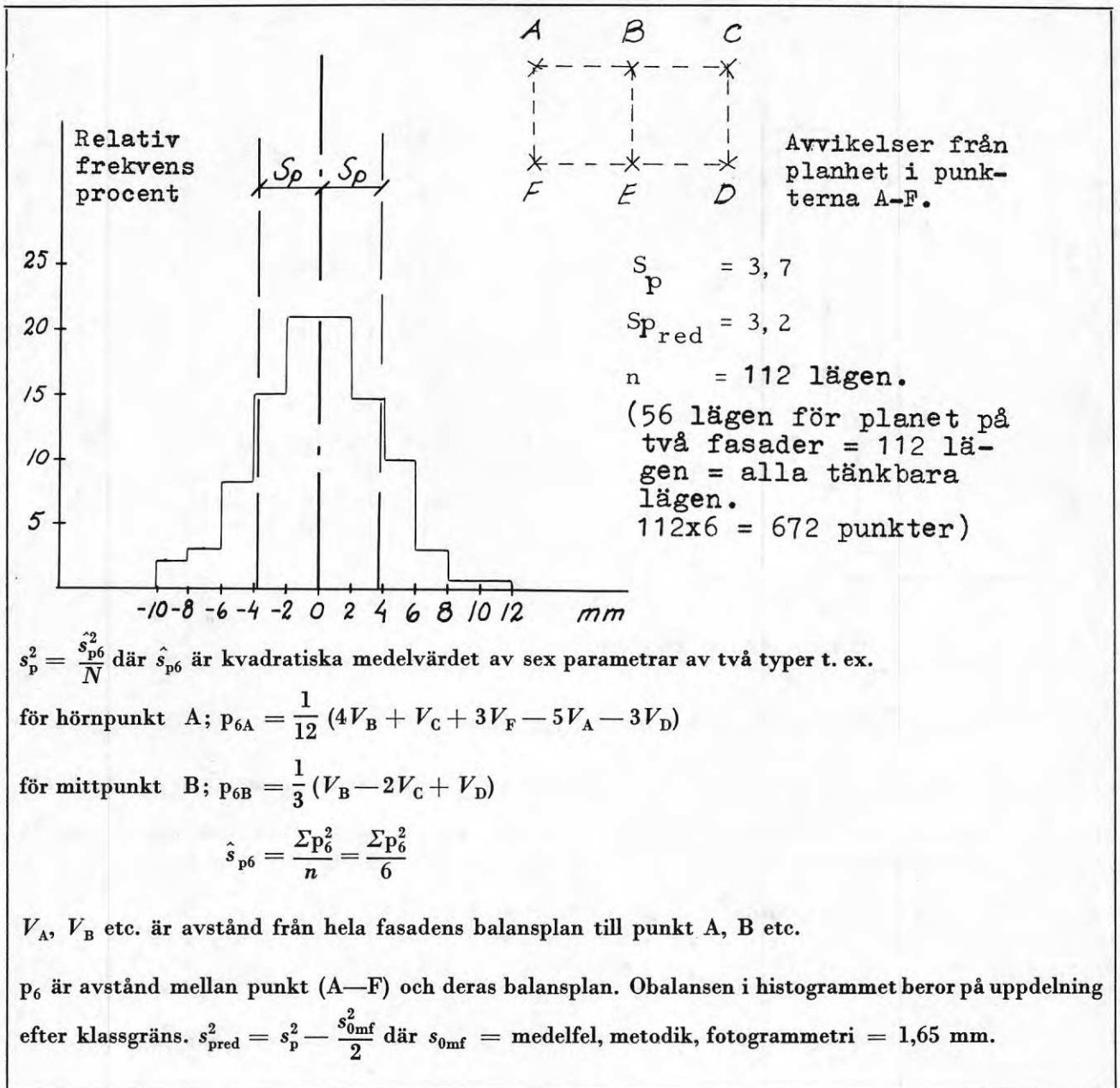
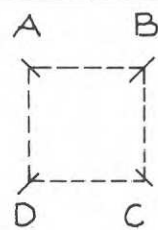
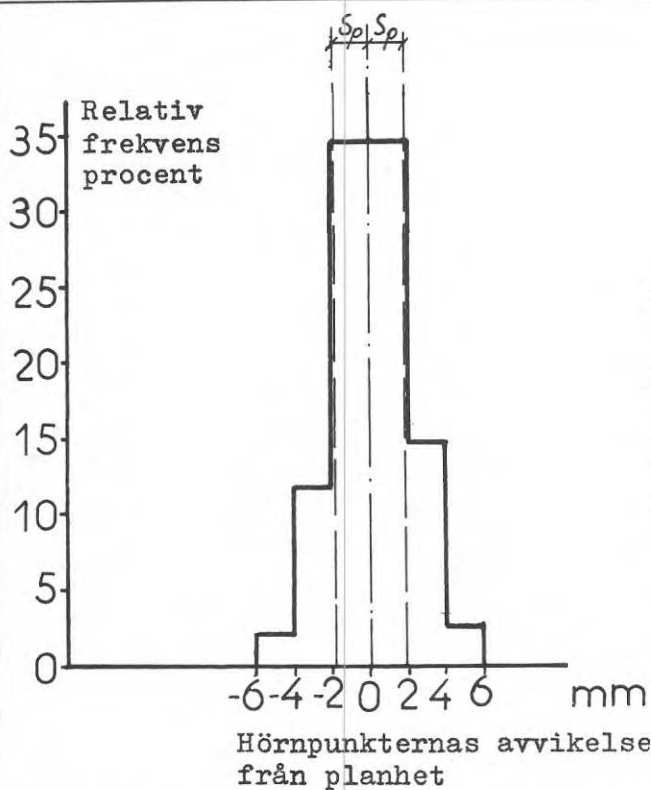


Fig. 25. Avvikelser från planhet.
1 våning, 3 pelare (6 punkter).
Öster fasad + väster fasad plan 2—5.

Deviations from flatness.
1 floor, 3 columns (6 points).
Eastern elevation + western elevation, floors 2—5.



$S_p = 1,9 \text{ mm}$
 $S_{pred} = 1,7 \text{ mm}$
 $N = 120 \text{ lägen}$
 (60 lägen för planet för två fasader = 120 lägen = alla tänkbara lägen. $120 \times 4 = 480 \text{ punkter}$)

$$s_p^2 = \frac{\sum \hat{s}_{p4}^2}{N} \text{ där } \hat{s}_{p4} \text{ är kvadratiska medelvärdet av parametern } p_4,$$

$\left(\hat{s}_{p4}^2 = \frac{\sum p_4^2}{n} = \frac{4p_4^2}{4} = p_4^2 \right) p_4 = \pm \frac{1}{4} [V_A + V_C - V_B - V_D]$. p_4 är avstånd mellan hörnpunkt och balkansplan. Avstånden är således konstanta, två positiva, två negativa. Asymmetrin i histogrammet beror på uppdelning efter klassgräns vilket medfört t. ex. att nollvärden satts till höger om klassgräns 0.

$$s_{pred}^2 = s_p^2 - \frac{s_{0mf}^2}{4}, \text{ där } s_{0mf} = \text{medelfel, metodik, fotogrammetri} = 1,65 \text{ mm}.$$

Fig. 26. Avvikelse vinkelrätt fasadens plan.
 1 våning, 2 pelare (4 punkter), planhet.
 Öster fasad + väster fasad plan 2-5.
 Deviation at right angles to the plane of the elevation.
 1 floor, 2 columns (4 points), flatness.
 Eastern elevation + western elevation, floors 2-5.

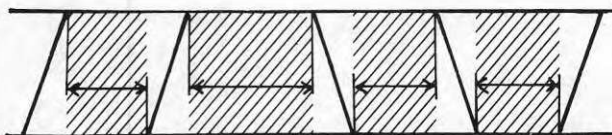
4 FASADER — MÅTT I FASADPLAN

4.1 Rektangulärt öppningsmått

I det studerade objektet byggde man på platsen de träelement som fyllde ut mellanrummet mellan fasadpelarna. Man övervägde att tillverka träelementen på fabrik till en kommande utbyggnadsstapp. Måttvariationen i den rektangulära öppning där de likaså rektangulära elementen skulle passas in var därför av intresse. Studien gjordes i två omgångar; först mättes rektangulärt öppningsmått i horisontalled och därefter rektangulärt öppningsmått i vertikalled.

4.1.1 Rektangulärt öppningsmått i horisontalled

Det rektangulära öppningsmättet i horisontalled bestämdes av pelarnas lägen och lutningar, i princip enligt figuren:



Metodik

Öppningarna mättes som stickmått mellan pelarsidorna vid golv och tak samtidigt som sidornas lutningar bestämdes. (Mättet vid tak var ett kontrollmått.) Metodiken har tidigare ingående beskrivits i en redogörelse för mätningar på Göteborgsbostädernas byggen i Tynnered.

För längdmätningen (stickmåtten) användes ett längdbestämt, teleskopiskt trämått vars felvisning på aktuell sträcka var 0,1 mm. Längdbestämming av trämåttet gjordes mot ett kontrollmåttband vars felvisning i sin tur var bestämd av Kungl. Mynt- och justeringsverket. Vid praktisk användning torde metodiken ge medelfel < 1 mm. De variationer

som konstaterades hade standardavvikelser > 10 mm, varför metodiken kan ha inverkat på slutresultatet — spridningsmättet, standardavvikelsen — med högst 0,5 %.

Lutningen mättes med en specialtillverkad lutningsmätare av vår egen konstruktion. Den bestod av en vridbar linjal på en rätskiva med fasta anslag. Den rörliga linjalen var försedd med en 45"-libell som horisonterades varefter lutningen kunde läsas av på en fast skala på rätskivan efter det läge som ett index på den rörliga linjalen fick. Mätaren var justerad till en felvisning av högst 0,1 mm rad (mm/m). På byggplatsen hade mätpersonalen instruktion att med vissa intervall kontrollera mät-donet på samma vertikala linje, genom att mäta upprepade gånger, varvid största tillåtna differens mellan läsningarna blev 0,3 mm rad (mm/m). Om-mätning utfördes efter det att mät-donet vänts ett halvt varv. Kravet på repeterbarheten motsvarade ca 0,15 mm rad (mm/m) som största felvisning. Provet gjordes mot en vertikal linje på en betongvägg på vilken två upphöjningar tillverkade av plastkitt utgjorde definierade anslagpunkter. Mätmetodens fel kan ha påverkat standardavvikelsen (medelfelet) för vägglutning med högst 2 % och har därför ansetts vara försumbart, dvs. reduktion för mätmetodikens inverkan på mätresultatet har inte gjorts.

Som en sekundär studie mättes planhetsavvikelsen på pelarsidorna genom att pilhöjden togs med ett djupmått som trycktes mot nyssnämnda rätskiva med fasta anslag (vars inbördes avstånd var c. 2 350 mm).

Resultat

Rektangulärt öppningsmått i horisontalled visas i histogrammet, fig. 27.

Rektangulärt öppningsmått i horisontalled och i olika våningsplan framgår av tab. 2.

Det uppmätta (beräknade) öppningsmåttets avvikelse från basmättet kallas här *avmätt* i analogi med den mekaniska industrins terminologi. (Basmättet — kallades förr »nominella måttet» — är det på ritning angivna mått från vilket avvikelser och toleranser anges.)

$$a = M - B$$

$$\text{avmätt} = \text{Mått} - \text{Basmått}$$

(där Mått kan vara direkt erhållet mätetal eller beräknat mått)

Tab. 2. Rektangulärt öppningsmått i horisontalled. Båda fasaderna

Våningsplan	Antal mätta fack	Avmått (a), medeltal mm	Spridning, standardavv. (shor) mm
1	12	-1,9	8,0
2	25	-2,1	8,8
3	25	-4,5	13,2
4	23	-4,4	15,1
5	25	-8,7	13,2
Samtliga	110	-4,6	13,0

Tab. 2 visar genomgående negativt avmått-medeltal. Öppningsmättet har således alltid varit mindre än basmättet. Vidare framgår att avmåttets medeltal minskar med våningsplan (hushöjd), dvs. öppningsmättets medeltal blir allt mindre. Samtidigt ökar dess variation — standardavvikelsen.

Orsaken till avmått i rektangulärt öppningsmått i horisontalled:

Avmåttets (a) medeltal enligt tab. 2 kan ha påverkats av 3 faktorer:

Pelarnas lägen i horisontalplanet
— mätta som stickmått

Pelarnas lutningar

Pelarnas sektionmått.

Pelarsidornas avvikelser från planhet kan däremot av »geometriska skäl» inte ha inverkat på avmåttarna i horisontalled, såsom illustreras i efterföljande principfigur. Rakhetsavvikelsen mättes som pilhöjd på 2,35 m. Pilhöjdens medeltal blev 0,5 mm (konkavt).

Sambandet mellan pelares lutning och dess planhetsavvikelse vid inverkan på horisontalt öppningsmått, principfigur:



I vilken utsträckning pelares sektionmått inverkat på horisontala avmåttets medeltal kan inte utredas

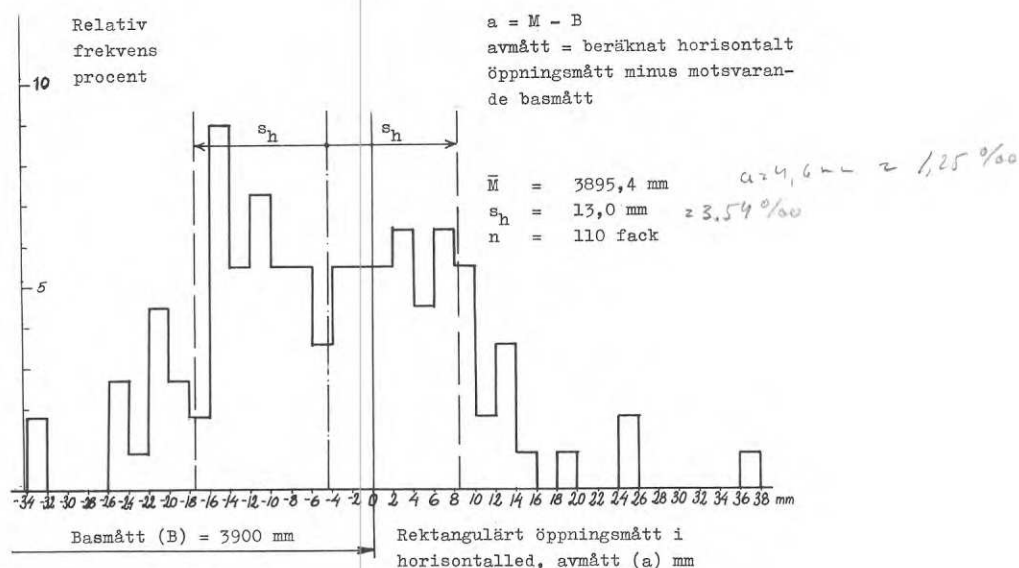


Fig. 27. Rektangulärt öppningsmått, horisontalled. Öster fasad + väster fasad, plan 1—5. Histogram.

Dimensions of rectangular opening, horizontal. Eastern elevation + western elevation, floors 1—5. Histogram.

med ledning av insamlade mätdata. Sektionsmått mättes nämligen endast på inre pelare. Största medelvärde blev där 2 mm (tab. 7).

Pelarlutningen $s_0 = 2,0$ m rad, fig. 28, inverkade på öppningsmättet som om pelarna hade fått större tjocklek, dvs. alltid minskande. Lutningens inverkan framgår av två exempel, plan 2 och plan 4, fig. 29.

Exempel på medelvärden för stickmått, lutningsinverkan och horisontalt öppningsmått:

Våningsplan	Avmått i stickmått invid golv mm	Lutningsinverkan mm	Avmått i horisontalt öppningsmått mm
2	+ 2,3	- 4,6	- 2,4
4	- 1,8	- 2,6	- 4,4

Spridningen, (s_{hor}) enligt tab. 2, kan ha påverkats av 2 faktorer:

- Variation i stickmått invid golv
- Variation i pelarnas lutning.

Pelarnas variation i sektionsmått saknade däremot betydelse för variationen i horisontalt öppningsmått eftersom dess storlek, största standardavvikelse 2,3 mm (tab. 7), var liten jämförd med stickmåttvariationen och jämförd med lutningsinverkans variation. Sektionsmått var mätta på inre pelare. Det finns ingen anledning att misstänka större variation på yttre pelare, eftersom de var tillverkade enligt samma metod som inre pelare.

Variationen i avvikelse från raket saknade helt betydelse av tidigare nämnda »geometriska skäl», se principfiguren. (Variationens storlek: standardavvikelse 1,7 mm.)

Exempel på variationer och standardavvikelser för stickmått, lutning, lutningsinverkan och horisontalt öppningsmått:

Våningsplan	Stickmått s mm	Lutning s mm	Lutningsinverkan s mm	Öppningsmått s_{hor} mm
2	6,6	5,5	4,4	8,8
4	14,7	4,9	3,2	15,1

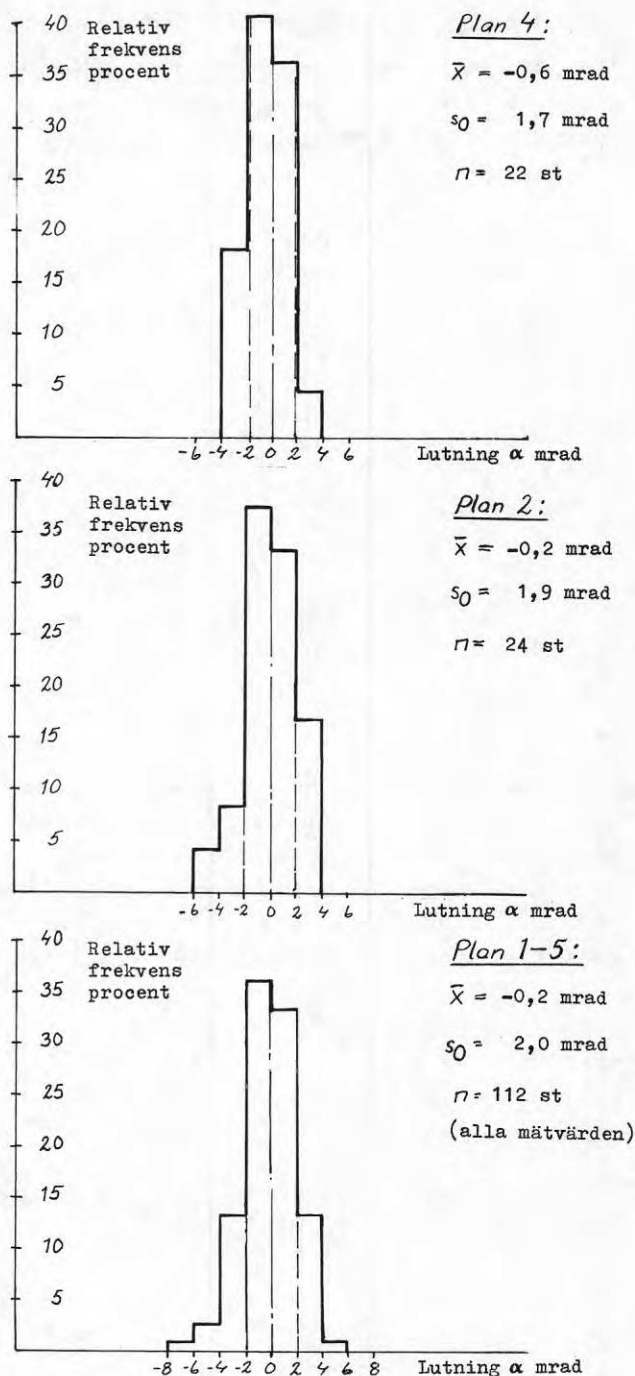
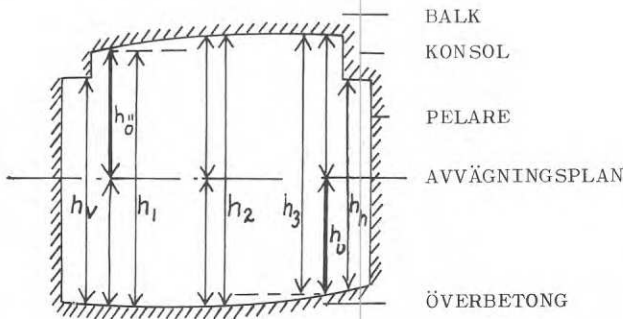


Fig. 28. Pelarlutningar. Pelarlutningar (motsvarande centrumlinjernas lutningar) i mrad (mm/m) mätta i fasadöppningarna. Öster fasad + väster fasad plan 4, plan 2 samt plan 1-5. De övre som exempel på resultat från olika nivåer i huset. Positivt tecken — pelaren lutar åt norr.

Slopes of columns. Slopes of columns (corresponding to those of the centre lines) in mrad (mm/m) measured in the openings in the elevations. The figure shows the results from: both elevations, floor 4, floor 2 and floors 1-5. The first as examples of results from different levels in the building. Favourable sign; the column slopes towards the North.

4.1.2 Rektangulärt öppningsmått i vertikalled

Det rektangulära öppningsmättet i vertikalled bestäms av överliggande balks underkant och överbetongens yta enligt principfiguren:

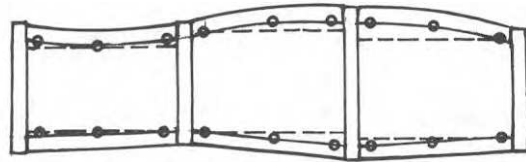


Principfigur visande rektangulärt öppningsmått i vertikalled. o = mätpunkt vid avvägning.

Metodik

Öppningarna mättes genom avvägning i sex punkter; sidor och mitt i vardera balks underkant och överbetongens yta. Avvägningen utfördes med precisionsavvägningsinstrument och med syftavstånd på högst 5 m. Metodikens medelfel bör erfarenhetsmässigt ha varit av storleksordning $< 0,5$ mm,

varför mätmetodens inverkan på slutresultaten kan anses försumbar.



Mätning (avvägning) av rektangulärt öppningsmått i vertikalled. Minsta höjd till balk (h_v) och minsta höjd ned till golv (h_u) ger tillsammans öppningsmättet i vertikalled i detta fack.

Ur avvägningarna har de minsta värdena för avstånd mellan avvägningsplan och mätpunkt på balk (h_v) respektive på golv (h_u) adderats till ett rektangulärt öppningsmått i vertikalled.

Avvägningarna gjordes på plan 2 och 3, öster och väster fasad, samt på plan 4, väster fasad.

Stickmått h_1 , h_2 , h_3 , h_v och h_u mättes på plan 3 och 4. Mätning gjordes med teleskopiskt trämått av tidigare beskriven noggrannhet. Avsikten var att stickmått skulle utgöra kontroll på avvägningen,

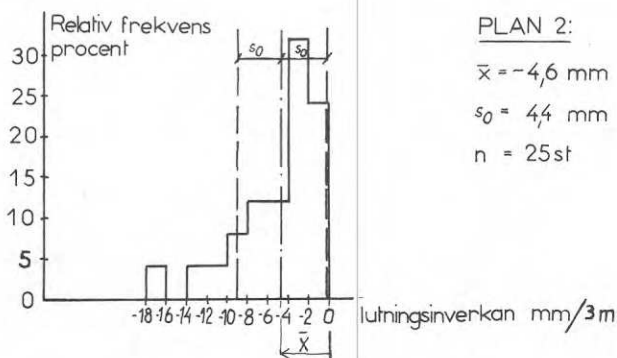
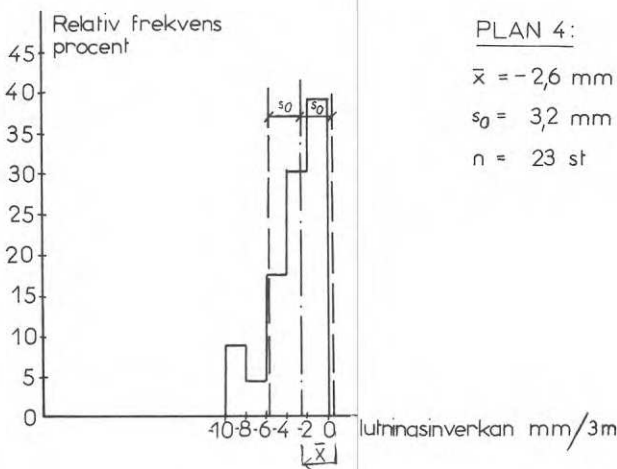


Fig. 29. Inverkan av pelarlutning på rektangulärt öppningsmått i horisontalled, exempel från plan 4 och plan 2. Inverkan av pelarlutning = summan av negativa bidrag från inåtlutande pelare i varje fack. Från pelare som lutar utåt från facket erhålls inget motsvarande positivt bidrag (sätts = 0). Denna inverkan adderas till det avmått som mäts vid golvet nivå.

Effect of slope in columns on the horizontal dimensions of a rectangular opening, examples from floor 4 and floor 2. Effect of slope in columns = sum of negative contributions from inward sloping columns in each section. No correspondingly positive contributions (expressed as = 0) are obtained from columns sloping outwards from a section. This effect is added to the deviation measured in the level of the floor.

vilket blev fallet på plan 3 och 4, väster fasad. Orsaken till att inte ett och samma fack mättes enligt båda metoderna i samtliga fall var att mätningarna utfördes vid skilda tidpunkter och med bristande resurser. I de fack där kontrollmätning skedde var överensstämmelsen god. Ur differensen mellan h_1 och h_v samt h_3 och h_h erhöles dessutom avståndet (nivåskillnaden) mellan pelarkonsolens underyta och balkens underyta, vilket mått också hade intresse med hänsyn till möjligheten att förtillverka ett utfacknings-träelement.

Resultat

Fig. 30 visar hur det rektangulära öppningsmättet i vertikalled varierar. Histogrammets vänstra topp härrör huvudsakligen från plan 4, väster fasad, som således hade ett genomsnittligt mindre öppningsmått än plan 2 och 3. Öppningsmättet i de mätta våningsplanen framgår av tab. 3.

Tab. 3. Rektangulärt öppningsmått i vertikalled

Våningsplan	Antal mätta fack	Avmått (a), medeltal mm	Spridning, standardavv. (svert) mm
2	30	- 12,8	6,5
3	29	- 16,6	6,3
4	15	- 25,5	5,4
Samtliga	74	- 16,8	7,7

Mätningen av avståndet (nivåskillnaden) mellan balkarnas och pelarkonsolernas underkanter gav till resultat:

Medelvärde	197,7 mm
Standardavvikelse (s)	2,7 mm
Antal värden	57.

Resultatet gäller plan 3 och plan 4. Mätningens noggrannhet påverkades av att golvytan ej har exakt samma nivå för h_1 resp. h_v eller h_2 resp. h_h .

Enligt ritningsmått skall nivåskillnaden vara:

Konsolhöjd	250 mm
Neoprenmellanlägg	+ 10 mm
Avgår uttag i balk	- 60 mm
Nivåskillnad	200 mm

Något exakt basmått kan inte anges, vilket beror på neoprenmellanlaggets fjädring.

Resultatet innebär att man kan sätta samma toleranser runt pelarkonsolen som i öppningen i övrigt.

Orsaken till avmått i vertikalt öppningsmått:

På vertikala öppningsmättet kunde följande sju faktorer tänkas inverka:

- Konsolernas inbördes vertikala avstånd på pelarna
- Konsolernas sektionmått (höjd)
- Neoprenmellanlaggets tjocklek och kompression
- Höjden på kassetbjälklaget
- Överbetongens tjocklek
- Golvytans form och lutning
- Balkens form och lutning.

Av dessa sju faktorer kan man med ledning av utförda mätningar endast uttala sig om de två sistnämnda.

Golvytans form i öppningen mellan pelarna var genomgående konkav och påverkade därför inte öppningsmättet. Det gjorde däremot *golvytans lutning* som beräknades med ledning av avvägningarna.

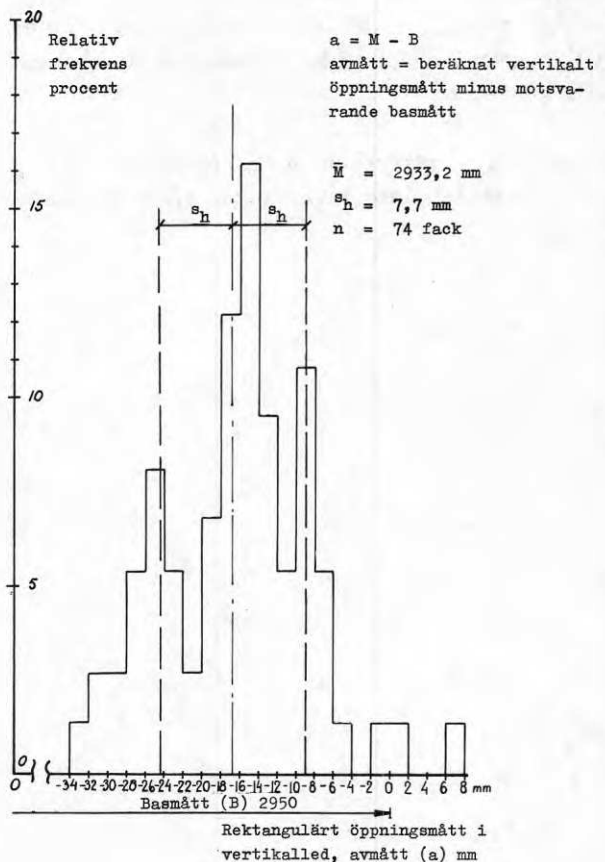


Fig. 30. Rektangulärt öppningsmått, vertikalled. Öster fasad + väster fasad, plan 2-4. Histogram.

Dimensions of rectangular opening, vertical. Eastern elevation + western elevation, floors 2-4. Histogram.

Lutning, golv:

Medelvärde 2,5 mm på hel fackbredd
Standardavvikelse 2 mm.

Balkens form visade sig i samtliga mätta fack utom ett vara överhöjd. Formen har därför inte påverkat öppningsmättet. *Balkens lutning* har däremot inverkat på vertikala öppningsmättet.

Lutning, balk:

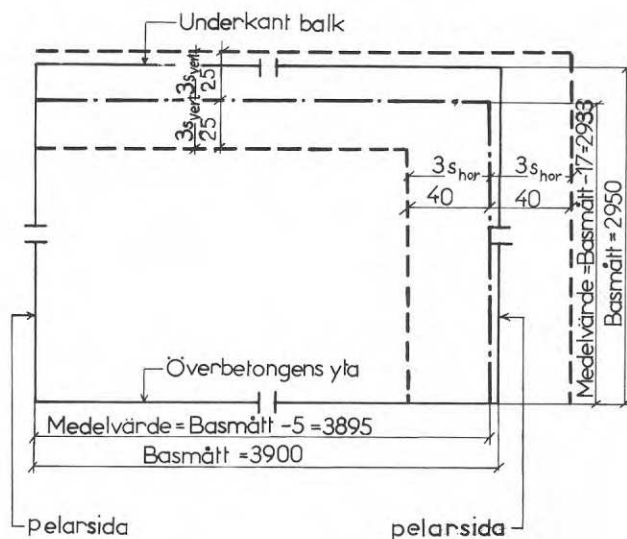
Medelvärde 2,5 mm på hel fackbredd
Standardavvikelse 1,6 mm.

För övriga faktorer kan inget sägas. Överbetongens tjocklek t. ex. kunde visserligen mätas i de hål som borrats för vertikal ledningsdragning. Tjockleken varierade emellertid på grund av överhöjningen hos TT-kassetterna.

4.1.3 Rektangulärt öppningsmått i horisontal- och vertikalled

Principfiguren visar toleransområden — $6 s_{\text{hor}}$ respektive $6 s_{\text{vert}}$ — för den rektangulära öppning i vilken eventuella fabrikationstillverkade element skulle placeras.

Innebörden i uttrycken $6 s_{\text{hor}}$ respektive $6 s_{\text{vert}}$ kan i detta fall inte klart anges eftersom histo-



Skala 1:2

grammen fig. 27 och fig. 30 inte visar god överensstämmelse med normalfördelning (histogrammen är inte χ^2 -testade).

$6 s_{\text{hor}} = 6 \times 13,0 = 78 \text{ mm}$ (avrundat till 80). Motsvarande variationsvidd enligt fig. 27 är 38 till $-34 = 72 \text{ mm}$.

$6 s_{\text{vert}} = 6 \times 7,7 = 46 \text{ mm}$ (avrundat till 50). Motsvarande variationsvidd enligt fig. 30 är 8 till $-34 = 42 \text{ mm}$.

5 FASADPELARNAS DEFORMATIONER

5.1 Avvikelse från raket

5.1.1 Belastade pelare och pelardelar

Avvikelsen från raket i sex punkter hos fasadpelare har tidigare redovisats i fig. 16 och 18. (Resultat av mätning med två teodoliter.) För de 13,5 m långa, skarvade pelarna blev spridningen i rakhetsavvikelsen vinkelrät mot fasadens plan. (Riktning öst—väst) för:

Öster fasad	$s_{0red} = 3,2 \text{ mm}$
Väster fasad	$s_{0red} = 5,1 \text{ mm}$
Båda fasaderna	$s_{0red} = 4,3 \text{ mm}$

I en monterad pelar-balkstomme kan därför avvikelsen från raket, vinkelrät fasadens plan, för ca 13 m långa pelare som är skarvade på högst ett ställe, anges med följande 99,7-procentgränser:

$$\pm 3 s_{0red} = \pm \text{ca } 15 \text{ mm } (\pm 12,6).$$

Det förutsätts också att samma pelarkonstruktion och byggmetoder i övrigt tillämpas samt att belastningen består av enbart balkar och bjälklageelement. Avvikelsen beräknas från en beräknad balanslinje, ett förfaringssätt som är svårt att omsätta till enkel kontrollmetod. En sådan kan eventuellt baseras på pilhöjdsättning eller liknande.

Rakhetsavvikelsen för belastade pelare har dessutom beräknats som pilhöjd för pelarnas delar. Pilhöjd mättes också på några obelastade pelardelar, avsnitt 5.1.2, varför en jämförelse mellan belastade och obelastade pelardelar kan göras, avsnitt 5.1.3.

Pelardelarnas längder och de avstånd på vilka pilhöjderna är mätta framgår av fig. 31. Vid beräkning av pilhöjder i riktning öst—väst användes resultaten från den fotogrammetriska mätningen.

Mätvärdena fördelade sig på:

Fasad	Pelare nr	Pelardel	Antal mätvärden
Öster	2-17	Undre	16
	2-17	Övre	16
Väster	2-17	Del av övre	16
		Summa	48

Vid motsvarande beräkning i riktning nord—syd användes resultaten från mätningar som var utförda med optiskt lod (KERN OL).

Dessa anses ha försumbart fel ($\hat{s}_{p3red} = \hat{s}_{p3}$).

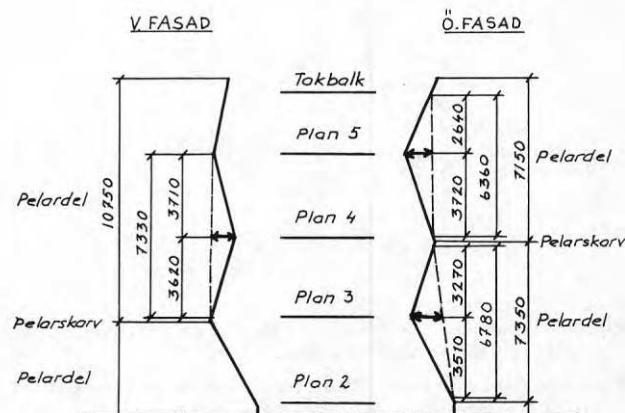


Fig. 31. Belastade pelare. Pelardelarnas längder och mätlängder vid pilhöjdsbestämning.

Loaded columns. Lengths of parts of columns and measured lengths in determination of rise.

Mätvärdena fördelade sig på:

Fasad	Pelare nr	Pelardel	Antal mätvärden
Öster	3, 16	Undre	2
		Övre	2
Väster	3-9, 16	Del av övre	8
			Summa 12

Pilhöjden på belastade pelare framgår av tab. 4 och fig. 32.

Tab. 4. Belastade pelardelars pilhöjd (fasadpelare)

Riktning	Antal mätta pelardelar	Medeltal \bar{P}_3 , mm	Spridning	
			\hat{s}_{p3red} , mm	max. mm
Öst-väst	48	3,4	3,7	8,6
Nord-syd	12	2,1	2,5	4,5

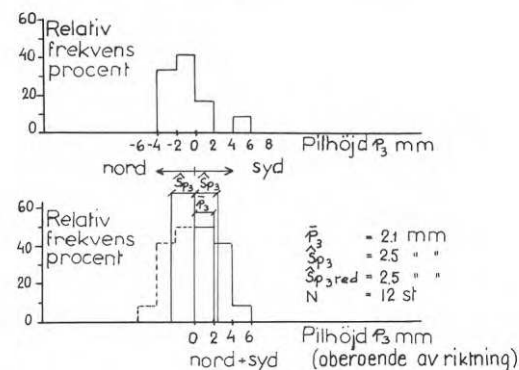
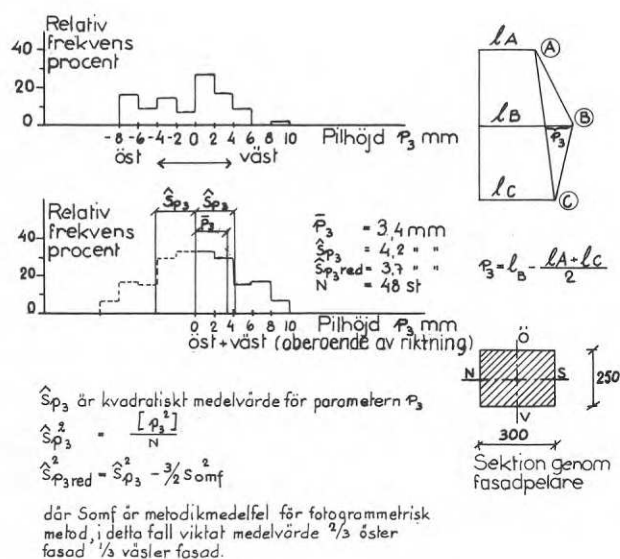


Fig. 32. Belastade pelardelars avvikelse från rakhets, mätt som pilhöjd. (Mätvärden från fasadpelare.)

Deviation from straightness in loaded parts of columns, measured as rise. (Measurement values from elevation columns.)

Värdena i tab. 4 avser avvikelser i riktningar vinkelrät mot pelarnas plansidor (och mätta på dessa).

De viktade medelvärdena för medeltal och spridning vinkelrät plansida (i sektionens axelriktningar) blir:

$$\bar{P}_3 = 3,1 \text{ mm} \quad \text{viktat m. v.}$$

$$\hat{s}_{p3red} = 3,5 \text{ mm.} \quad \text{vinkelrätt}$$

Dessa värden kan antas ge en något för gynnsam bild av pelarnas rakhets eftersom den maximala utböjningen för en enskild pelardel sannolikt är en resultant av två mot varandra vinkelräta utböjningar.

Av här redovisade uppgifter framgår att för 12 pelardelar föreligger mätvärden i två riktningar. Sammansätts dessa två och två till resultat er-hålls:

$$\bar{P}_3 = 4,1 \text{ mm} \quad \text{resultatet}$$

$$\hat{s}_{p3red} = 4,5 \text{ mm.}$$

5.1.2 Obelastade pelardelar

Obelastade pelares pilhöjd mättes med teodolit på transversalsläde (avsnitt 8.4.1) på några nedre pelardelar som före uppresningen hade försetts med påklistrade inställningsmärken på ena plansidans mittlinje i toppen, vid foten och i mittpunkten. Pelardelarna var vid mättillfället fastgjutna i pelarholkarna och var helt ostagade. De slumpvis valda mätobjekten var både fasadpelare och inre pelare. Mätvärdena fördelade sig på:

Riktning	Inre pelare	Fasadpelare	Summa
Öst—väst	7	3	10
Nord—syd	6	9	15
Summa	13	12	25

Mätmetodikens medelfel kan enligt utförd kontrollmätning sättas $< 0,2$ mm. Det är därför försumbart ($\hat{s}_{p3red} \approx \hat{s}_{p3}$).

Obelastade pelardelars pilhöjd framgår av tabell 5 och fig. 33.

Värdena i tab. 5 avser för var och en av de mätta pelarna mittpunktens avvikelse från den räta linjen

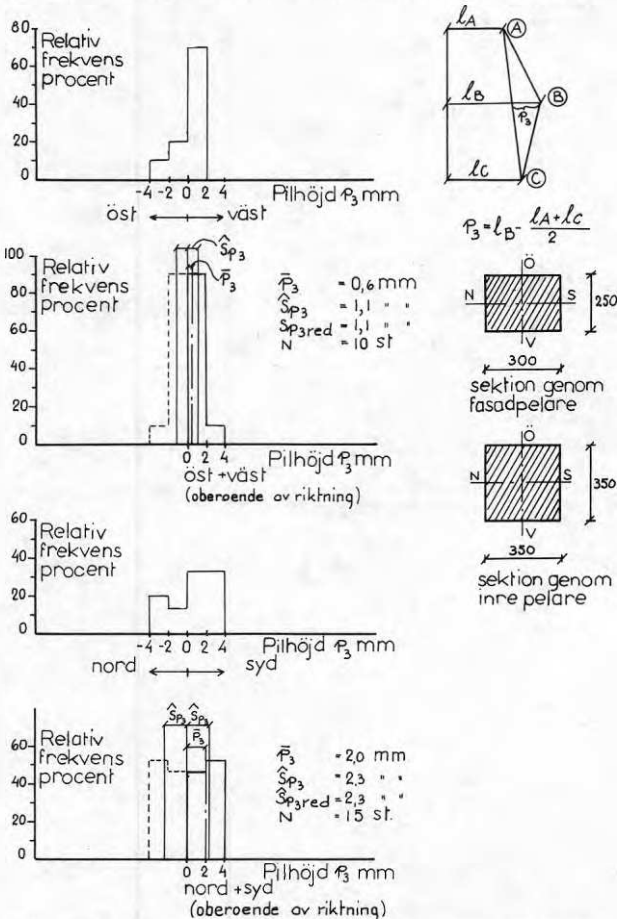


Fig. 33. Obelastade pelardelars avvikelse från raket, mätt som pilhöjd. (Mätvärden från fasadpelare och inre pelare.)

Deviation from straightness in unloaded parts of columns measured as rise. (Measurement values from elevation columns and internal columns.)

Tab. 5. Obelastade pelardelars pilhöjd

Riktning	Antal mätta pelardelar	Medeltal \bar{p}_3 , mm	Spridning	
			\hat{s}_{p3red} , mm	max. mm
Öst—väst	10	0,6	1,1	2,9
Nord—syd	15	2,0	2,3	3,5

genom topp- och fotpunkt på pelarens ena plana sida där avvikelserna mäts i sidans plan. Mätstationens läge var på en linje ungefär vinkelrät mot nyssnämnda pelarsida. (Högst ca 2 m åt sidan vid ca 30 m siktavstånd.) Avvikelserna kan således sägas ligga ungefär i pelarsektionernas axelriktningar.

De viktade medelvärdena för medeltal och spridning blir:

$$\bar{p}_3 = 1,8 \text{ mm}$$

$$\hat{s}_{p3red} = 1,9 \text{ mm.}$$

På motsvarande sätt som för belastade pelare kan dessa värden antas ge ett något för gynnsamt resultat eftersom största pilhöjd sannolikt uppträder i annan riktning än vinkelrät mot plansidan.

För 7 pelare har mätning gjorts i båda riktningarna. Sätter man samman pilhöjderna från två riktningar för varje enskild pelare till en resulterande pilhöjd erhålls för dessa resultat:

$$\bar{p}_3 = 2,5 \text{ mm}$$

$$\hat{s}_{p3red} = 2,8 \text{ mm.}$$

5.1.3 Jämförelse mellan belastade och obelastade pelardelar

De obelastade pelardelar som mättes var inte desamma som de mätta, belastade pelardelarna. Det finns emellertid ingen anledning att tro att andra pelardelar än de som mättes i de två grupperna — belastade, respektive obelastade pelardelar — skulle ha gett väsentligt annorlunda resultat.

Efter montering och belastning har pilhöjdernas medeltal \bar{p}_3 ökat 1,7 ggr och spridningens \hat{s}_{p3} ökat 1,8 ggr. Den belastning som skett är inte den slutliga. Överbetong på bjälklagen, fasader m. m. tillkommer förutom nyttolast.

Utfallens fördelning är osäker. Det är svårt att uttala sig om ett sannolikt utfall på detta underlag. Maximal uppmätt pilhöjd blev för:

$$\text{Belastad pelardel} \quad 8,6 \text{ mm} / 7,3 \text{ m} = 1,18 \text{ ‰}$$

$$\text{Obelastad pelardel} \quad 3,5 \text{ mm} / 7,3 \text{ m} = 0,48 \text{ ‰}$$

I båda fallen är pilhöjden mätt i endera av sektionens två axelriktningar.

6 INRE PELARRADER OCH PELARE

Till en kommande utbyggnadsetapp övervägde man att montera vissa väggelement mot inre pelare. Pelarradernas yta — pelarliv — fick i så fall inte avvika för mycket från planhet. Pelarradernas rakheter i horisontala linjer hade dessutom betydelse från estetisk synpunkt i de fall pelarna var synliga i korridorerna.

För att konstatera eventuell ökning i planhetsavvikelsen mättes denna våningsvis. För att om möjligt belysa de faktorer som inverkat på planhetsavvikelsen mättes också deformationer och lutningar hos några enskilda pelare liksom skarvförskjutningar, vinkelfel i skarv och sektionsmått.

6.1 Avvikelse från planhet hos rumshöga pelarliv

Mätning gjordes med teodolit enligt en metod som liknade den vid mätning av fasader. Mätningen utfördes från en station för var pelargrupp och med teodoliten i ett tubläge (utan reversering). Metodikens medelfel kan anses försumbart i jämförelse med medelfelet i den konstaterade planhetsavvikelsen.

På varje våningsplan var fyra pelargrupper och av dessa mättes de som var åtkomliga, fig. 2. Varje grupp omfattade de fem inre pelarna (i norr pelare nr 3—7, i söder pelare nr 12—16). Gavelpelarna uteslöts då de inte låg i liv med övriga. På varje pelare togs fem mätpunkter, jämnt fördelade mellan tak och golv. Mätningen gjordes på endast en sida av var pelargrupp. Var och en av de mätta ytorna (pelarliven) hade således $5 \times 5 = 25$ mätpunkter.

Resultaten visas våningsvis i histogrammen fig. 34. Av fig. 35 framgår att s_0 ökar i det närmaste linjärt med hushöjden från 1,3 mm vid plan 0 till 8,3 mm vid plan 5.

Resultaten från 20 grupper (plan 0—5) dvs. från 500 mätvärden framgår av fig. 36. Resultaten inne-

bär att planhetsavvikelsen hos ett rumshögt pelarliv om fem pelare med 99,7 procents sannolikhet ligger inom $\pm 3 \times 6,1$ mm. För praktiskt bruk kan sägas att planhetsavvikelsen aldrig överstiger ± 20 mm förutsatt att samma byggnadssätt tillämpas samt att hushöjden motsvarar studieobjektets höjd.

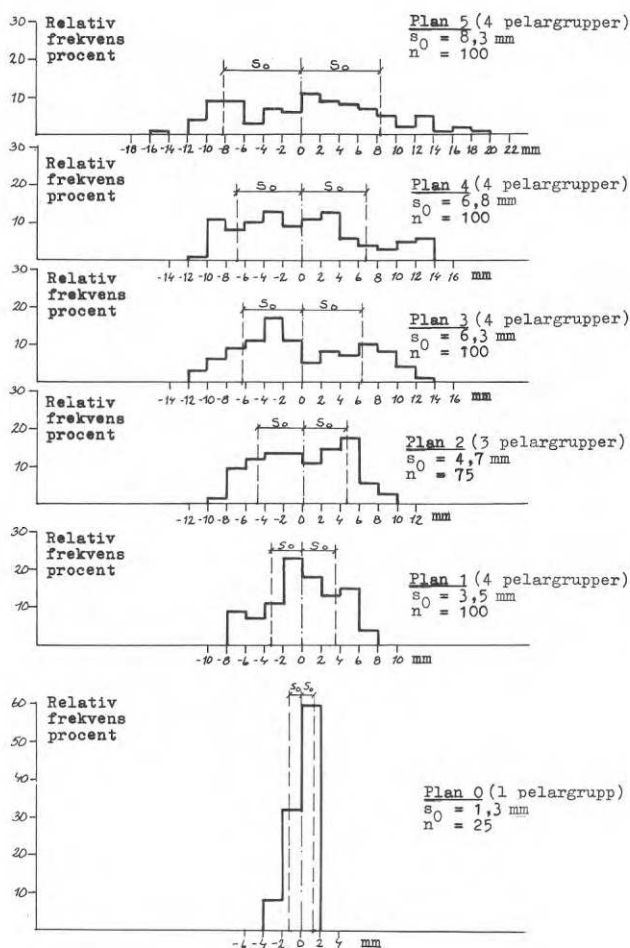


Fig. 34. Inre pelare. Pelarlivens avvikelse från planhet på olika våningsplan.

Internal columns. Deviation from flatness in the surface of the columns on different floors.

6.2 Pelares deformationer och lutningar

Mätningen utfördes med optiskt lod genom håltagningar i bjälklagen. Syftningen gjordes mot en millimetergraderad mätsticka som hölls mot mät-punkterna, fig. 37. Mätning gjordes i två tublägen (200^o) vid varje mätpunkt. Mätmetodikens fel kan anses försumbart.

Mätningen omfattade:

Inre pelarrad	Riktning Ö-V pelare nr	Riktning N-S pelare nr	Antal mätvärden
Östra	3, 4, 7	3, 4, 7	6
Västra	3-7	3-7	19
Antal mätvärden	13	12	25

VÅN. PLAN

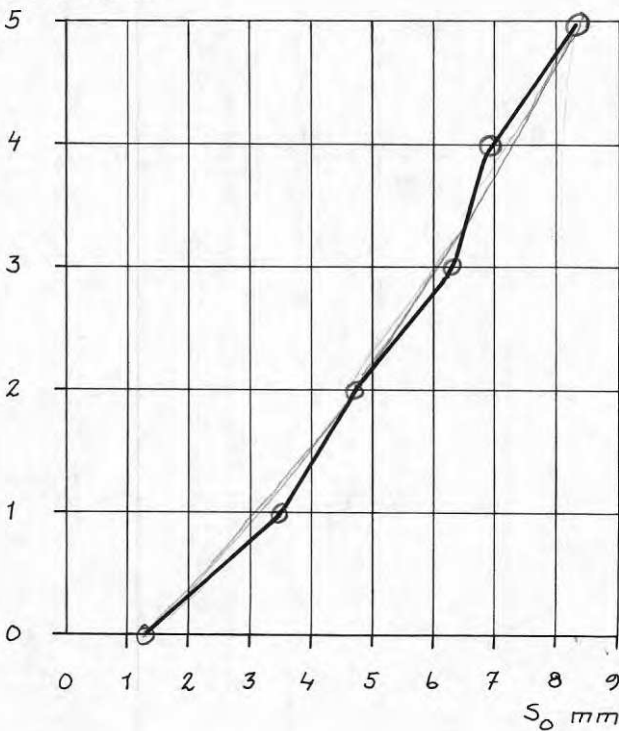


Fig. 35. Inre pelare. Pelarlivens planhet. Tillväxt i medelfel (s_0) med ökande våningshöjd.

Internal columns. Flatness of column surfaces. Increase in mean error (s_0) with increasing floor height.

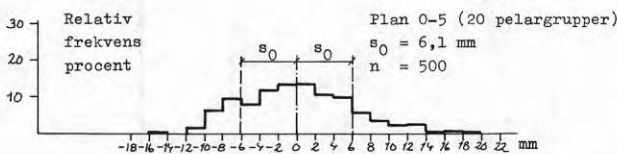
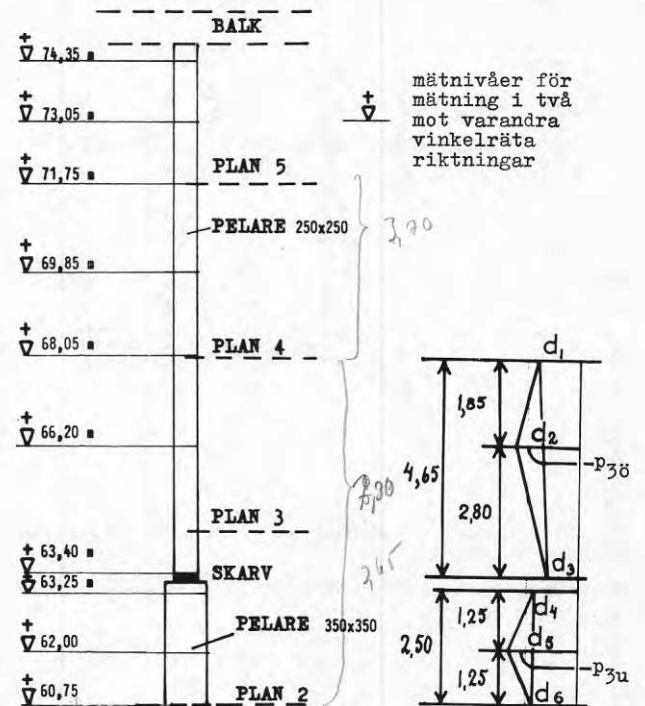


Fig. 36. Inre pelare. Pelarlivens avvikelse från planhet, samtliga våningsplan.

Internal columns. Deviation from flatness in column surfaces, all floors.



$$\bar{P}_{30} = d_2 - \frac{d_1 + d_3}{2}$$

$$\bar{P}_{3u} = d_5 - \frac{d_4 + d_6}{2}$$

$$\delta = \frac{d_1 - d_3}{4,65} - \frac{d_4 - d_6}{2,5}$$

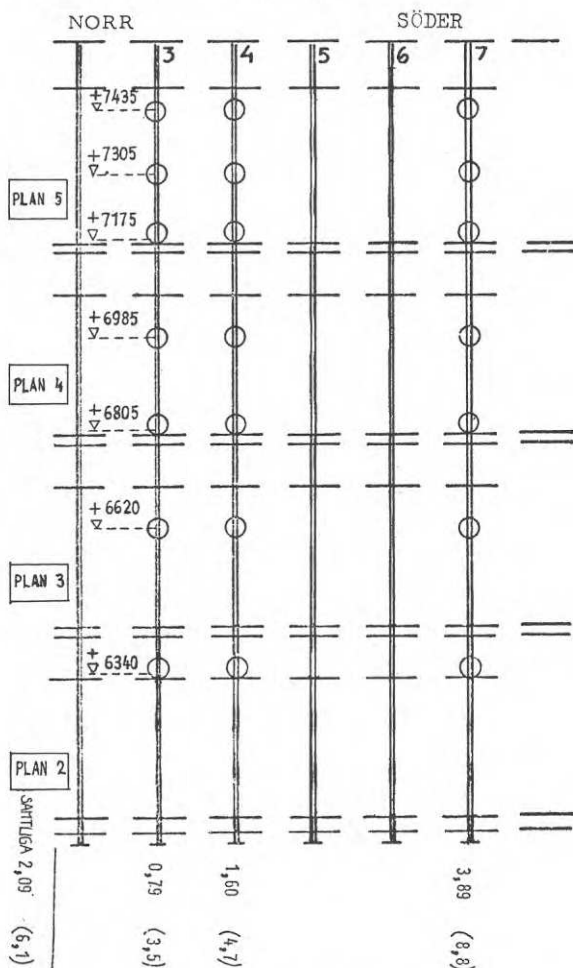
där δ är vinkeländring i skarv

Fig. 37. Mätpunkternas lägen på inre pelare vid mätning av pelares rakhetsavvikelse och lutning (med optiskt lod).

Positions of the measuring points on the internal columns when measuring slope and deviation from the straight line of columns (using optical plummet).

MÄTRIKTNING NORR — SÖDER

(α positivt — lutning åt söder)



MÄTRIKTNING ÖSTER — VÄSTER

(α positivt — lutning åt väster)

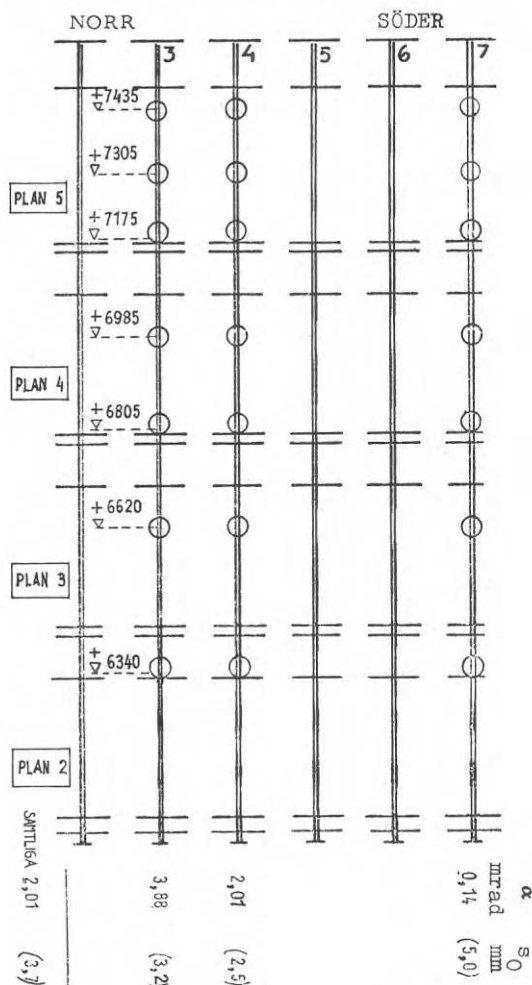


Fig. 38. Lutningar och avvikelser från raket. Öster pelarrad, pelare nr 3, 4 och 7.

Slopes and deviations from straightness. Eastern row of columns, columns Nos. 3, 4 and 7.

6.2.1 Övre pelardelar (11 m)

De enskilda pelardelarnas lutningar (α) och avvikelser från raket (s_0) framgår av fig. 38 (öster pelarrad) och fig. 39 och 40 (väster pelarrad).

Pelardelarnas lutningar framgår av fig. 41. Deras rakhetsavvikelser framgår av fig. 42. Spridningen i rakhetsavvikelsen ($s_0 = 4,1$ mm) blev ungefär densamma som för yttre pelare i riktning vinkelrät fasadens plan. ($s_{0red} = 4,2$. Se avsnitt 5.1.1.)

MÄTRIKTNING ÖSTER -- VÄSTER
 α positivt — lutning åt väster

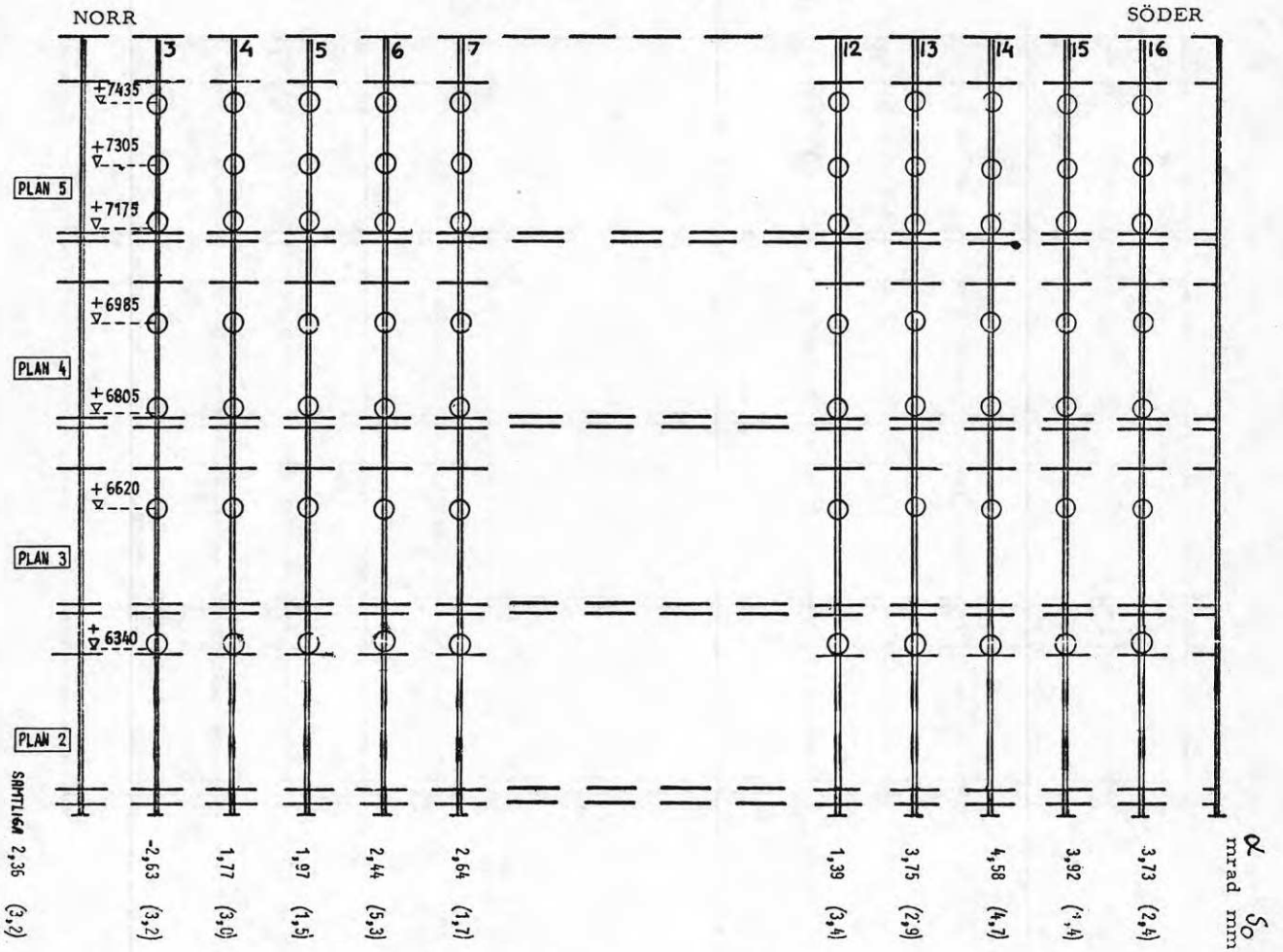


Fig. 39. Lutningar och avvikelser från raket. Väster pelar-rad, pelare nr 3-7 och nr 12-16.

Slopes and deviations from straightness. Western row of columns, columns Nos. 3-7 and 12-16.

MÄTRIKTNING NORR — SÖDER
 (positivt — lutning åt söder)

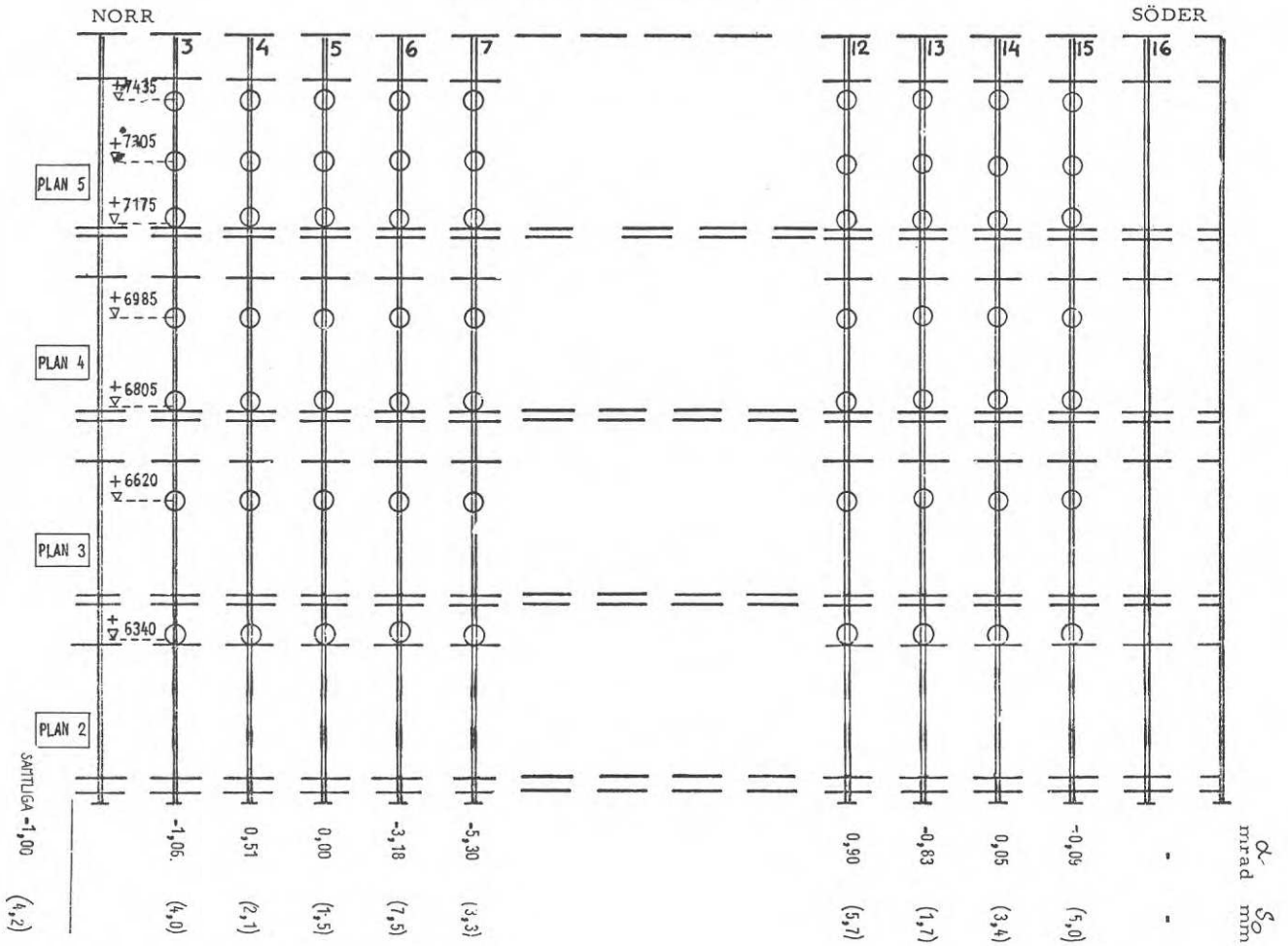


Fig. 40. Lutningar och avvikelser från raket.
 Väster pelarrad, pelare nr 3—7 och nr 12—16.
 Slopes and deviations from straightness. Western row of columns,
 columns Nos. 3—7 and 12—16.

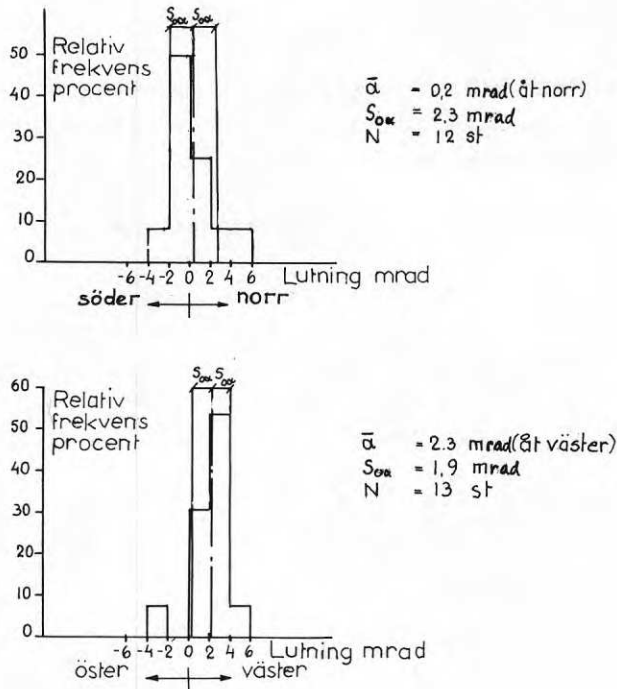


Fig. 41. Inre pelares lutning.
 Histogram över balanslinjens lutning. (11 m långa pelardelar.)
 Slope of internal columns. Histogram showing slope in the line of balance (11 m long parts of columns.)

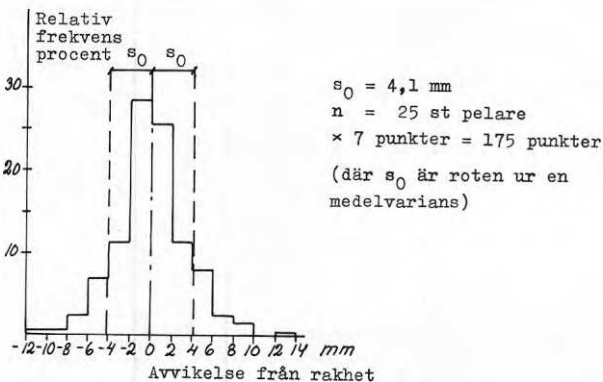


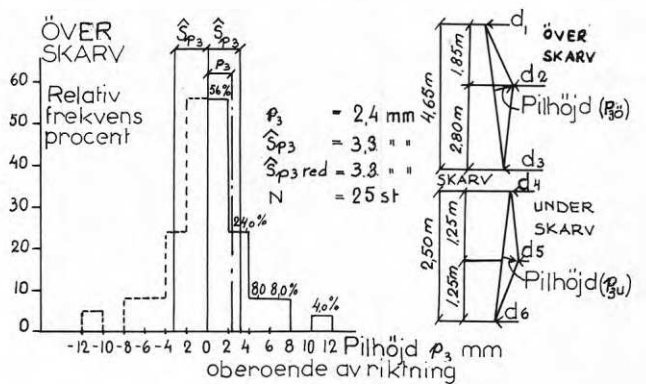
Fig. 42. Inre pelares rakhetsavvikelse.
 Histogram över avvikelser från rakhets. (11 m långa pelardelar.)
 Deviation from straightness in internal columns. Histogram showing deviations from straightness (11 m long parts of columns.)

6.2.2 Pelardelar, pilhöjder

Pelardelarnas pilhöjder har beräknats på 4,65 m avstånd för övre pelardelar och på 2,50 m avstånd för undre pelardelar, fig. 37. Resultaten framgår av tab. 6 och fig. 43.

Tab. 6. Pelardelarnas pilhöjder, inre pelare (belastade)

Pelardel	Längd m	Antal	Medelvärde \bar{p}_3 mm	Spridning	
				$\hat{S}_{p_3 \text{ red}}$ mm	max. mm
Över skarv	4,65	25	2,4	3,3	10,0
Under skarv	2,50	25	2,1	2,5	6,0



\hat{S}_{p_3} är kvadratisk medelvärde för parametern p_3
 $\hat{S}_{p_3} = \frac{[\sum p_3^2]}{N}$
 $\hat{S}_{p_3 \text{ red}} = \hat{S}_{p_3}$ eftersom medelfelet vid optisk lodning är försumbart.

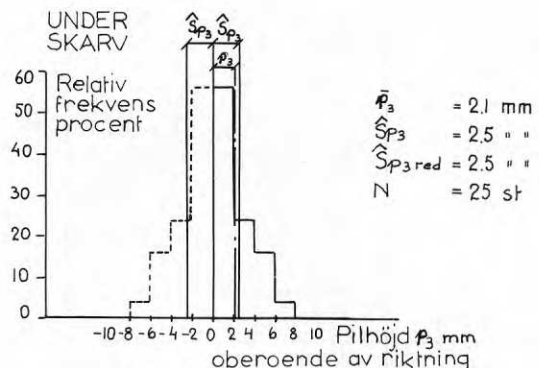


Fig. 43. Inre pelares (pelardelars) rakhetsavvikelse, mätt som pilhöjd. (Belastad pelare.)
 Deviation from straightness of internal columns (parts of columns), measured as rise (loaded columns.)

6.3 Skarvförskjutningar

Riktning	Mätta pelare	Medeltal mm	Spridning, mm	
			s	max—min
Öst—väst	13	6,2	4,3	13,0—2,0
Nord—syd	12	1,6	3,6	6,5—8,0

Se fig. 44.

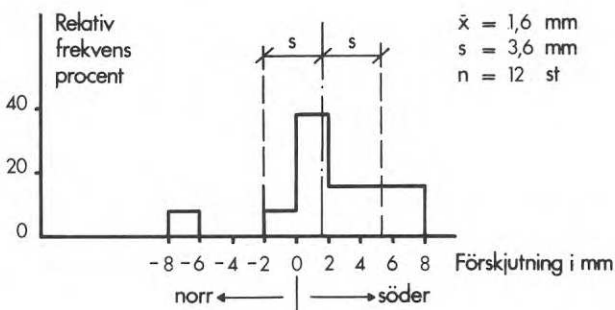
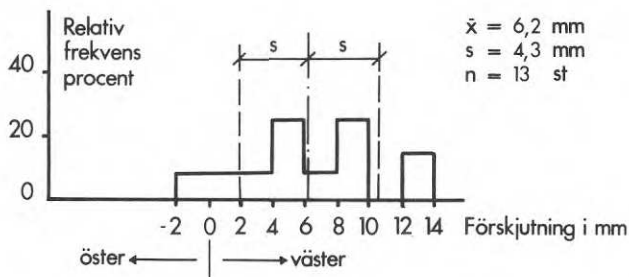


Fig. 44. Skarvförskjutning på inre pelare.
Displacement in joints on internal column.

6.4 Vinkelfel i skarv

Vinkelfelen i skarvarna beräknades samtidigt med pilhöjderna. Innebörden i ordet »vinkelfel» (δ) framgår av fig. 37.

Resultat för medeltal, medelstandardavvikelse:

Mätta pelare	Riktning		
	Ö—V 13	N—S 12	Båda 25
δ m rad	0,5	3,2	1,8
s m rad	3,0	2,6	3,1

6.5 Pelares sektionmått

Inre pelares sektionmått mättes med hjälp av en öppen ram, fig. 45. Tre skruvskallar bildade anliggningspunkter och en fjärde utgjorde den punkt till vilken mätning gjordes. Mätningen omfattade pelare nr 3—7 och 12—16 plan 2. Mätmetodens fel kan anses försumbart.

Resultatet framgår av tab. 7 och fig. 46.

Tab. 7. Inre pelares sektionmått (basmått 350 × 350)

Pelardel	Riktning Ö—V (husets tvärriktning)			Riktning N—S (husets längdriktning)		
	n	\bar{x} mm	s mm	n	\bar{x} mm	s mm
Topp	20	352	1,7	20	349	2,3
Mitt	20	352	1,9	20	348	2,0
Fot	20	352	1,2	20	348	2,0

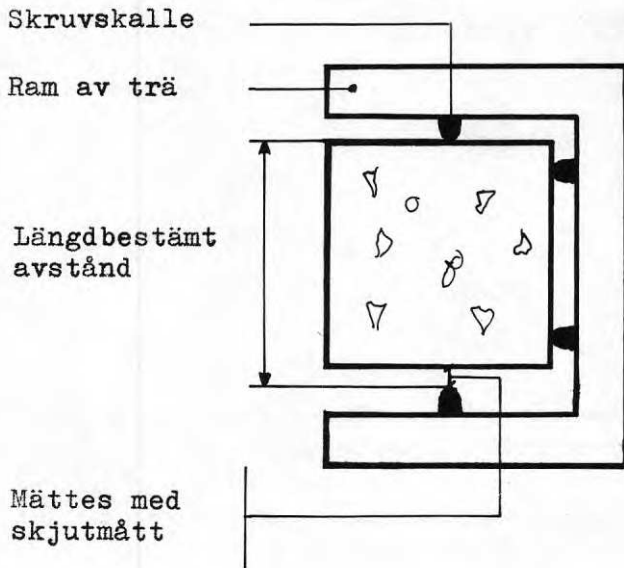
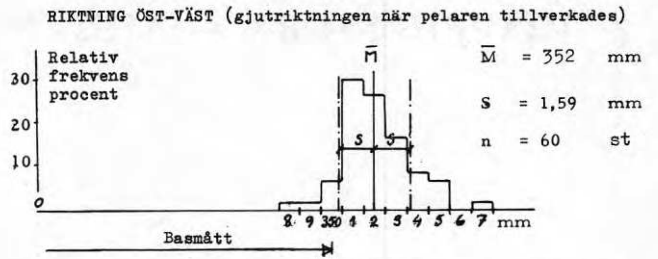
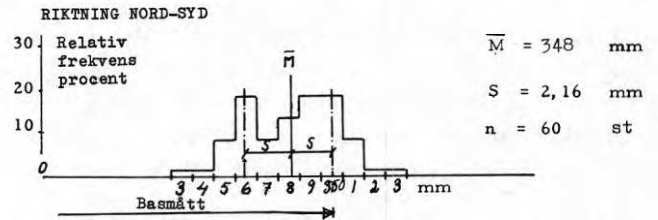


Fig. 45. Öppen ram för mätning av pelarsektion.
Open frame for measuring part of column.



Pelares sektionsmått vinkelrätt balkars uppläggningsriktning. Tre nivåer, ÖK, mitt och UK. Inre pelare plan 2.



Pelares sektionsmått i balkarnas uppläggningsriktning. Tre nivåer, ÖK, mitt och UK. Inre pelare plan 2.

Fig. 46. Pelares sektionsmått, histogram.
Resultat av mätning på inre pelare i plan 2.

Dimensions of section through a column, histogram.
Results of measurements carried out on internal columns on floor 2.

7 TRAPPHUSTORN — AVSTÅND, LUTNINGAR

Trapphustornens inbördes lägen är resultatet av den utsättnings- och lodriktningsteknik som beskrivs i avsnitt 2.2. Avsikten med den kontrollmätning som utfördes var att visa om den tillämpade tekniken för utsättning och lodning varit tillräckligt nog-

grann. Dessutom borde man kunna dra slutsatser om utsättningens uppläggning i stort.

Avstånden mellan trapphustornens väggar är åsatt basmått 22 600 mm, fig. 47.

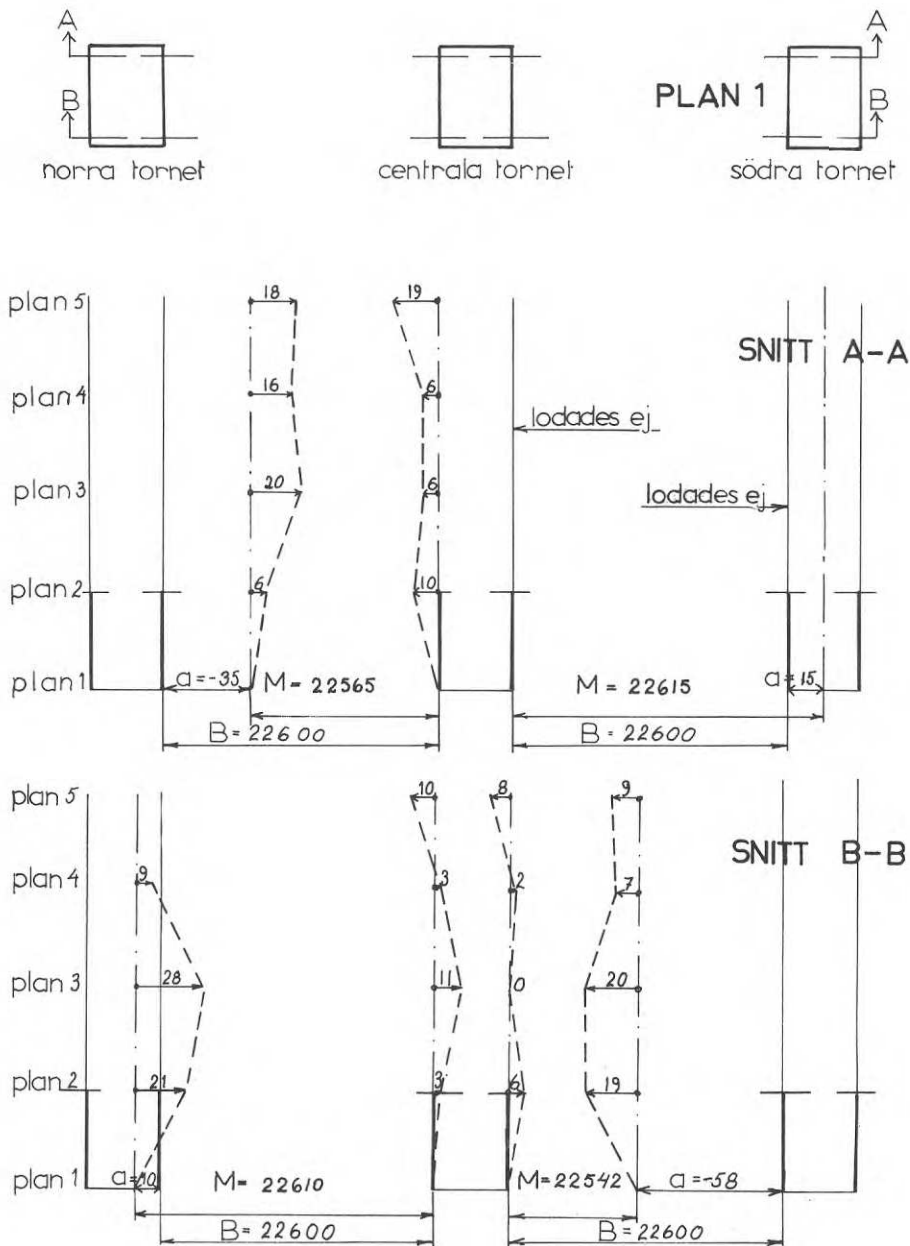


Fig. 47. Trapphustornens inbördes avstånd och sidoväggarnas avvikelser från lodlinjen.

Internal distance of the staircase towers and deviations in the flanking walls from the plumb line.

På trapphusväggarna markerades mätpunkter. Avståndet mellan dessa mättes i plan 1. Invid trapphusornen var skyddsräcken uppsatta och dessa användes vid mätningen på så sätt, att punkterna fördes ut från trapphusväggarna och avsattes på räckena. Vid utföringen användes en rätskiva. Mellan de på räckena avsatta punkterna mättes därefter avståndet med hängande (SIS-märkt) band och med användning av bandsträckare. Korrekationer gjordes för temperatur och nedböjning. Varje sträcka mättes fyra gånger varefter medeltal beräknades. Det SIS-märkta bandet har graderingsfel $< 0,5 \sqrt{L}$ mm, där L är sträckan i m. (Förutsätter nytt och felfritt band, vilket var fallet.) Felet i de mätta sträckorna kan antas vara < 3 mm.

Med de på trapphusväggarna, plan 1, markerade punkterna som utgångspunkt mättes (lodades) därefter läget för motsvarande punkter på överliggande plan 2—5. Därvid användes optiskt lod (KERN OL och mätsticka). Mätning gjordes i två instrumentlägen (200^g) per punkt. Metodikens fel kan anses försumbart.

Resultatet framgår av fig. 47 som visar norra respektive södra tornets läge i förhållande till centrala tornet vid en nivå = plan 3 samt vissa tornväggars lutningar.

Största avmätt (avmätt = mätvärde—basmått; $a = M-B$) blev -83 mm. Avmätt på olika nivåer framgår av tab. 8. De relativt stora avmåtten som på ett bjälklag medförde att bilning fick göras på en kassettpatta, kan förklaras av de svårigheter som förelåg vid utsättningen, främst nivåskillnaden, och av den metod som därvid tillämpades (se avsnitt 2.2). Även lodningsmetoden — hänglod — har starkt påverkat avmättet. Det finns motiv för att optisk lodning skulle ha använts i detta fall, trots den ringa hushöjden. Lodfel kan få betydande konsekvenser för t. ex. upplag för balkar och plattor.

Tab. 8. Avmätt i avstånd mellan trapphusorners väggar
Avmätt i linjen snitt A—A (östra sidan)

Plan	Norra—Centrala <i>a</i> , mm	Södra—Centrala <i>a</i> , mm
5	-72	ej mätt
4	-57	ej mätt
3	-61	ej mätt
2	-51	ej mätt
1	-35	+15

Avmätt i linjen snitt B—B (västra sidan)

5	ej mätt	-59
4	4	-67
3	-7	-78
2	-8	-83
1	+10	-58

8 FÖRSÖK MED MÄTMETODER

8.1 Fotogrammetrisk mätning av fasadernas pelarliv

8.1.1 Metodik

Den fotogrammetriska metodiken i form av enkelbildsfotogrammetri för mätning av planhetsavvikelser har vissa fördelar. Dessa består bl. a. däri att en hög noggrannhetsnivå kan uppnås till en kostnad som under vissa betingelser är lägre än den för konkurrerande metoder. För gynnsamt ekonomiskt utbyte krävs att de förhållandevis höga fasta kostnaderna för förberedande arbeten kan slå ut på många mätpunkter. Den höga noggrannheten

beror bl. a. på att man gör en momentanmätning som visar mätobjektets tillstånd i fotograferingsögonblicket och som reducerar inverkan av sol och värme på instrument och stativ till ett minimum. (En påtaglig fördel vid jämförelse med mätning utförd med teodolit.)

Till metodikens fördelar hör också att dess noggrannhet är stabil och att noggrannheten kan tillförlitligt bestämmas.

Den i detta fall tillämpade metodiken bestod i enkelbildsfotografering längs fasaderna från stationer belägna ca 5 m utanför deras tänkta förlängningar, fig. 48. Se f. ö. bilaga I.

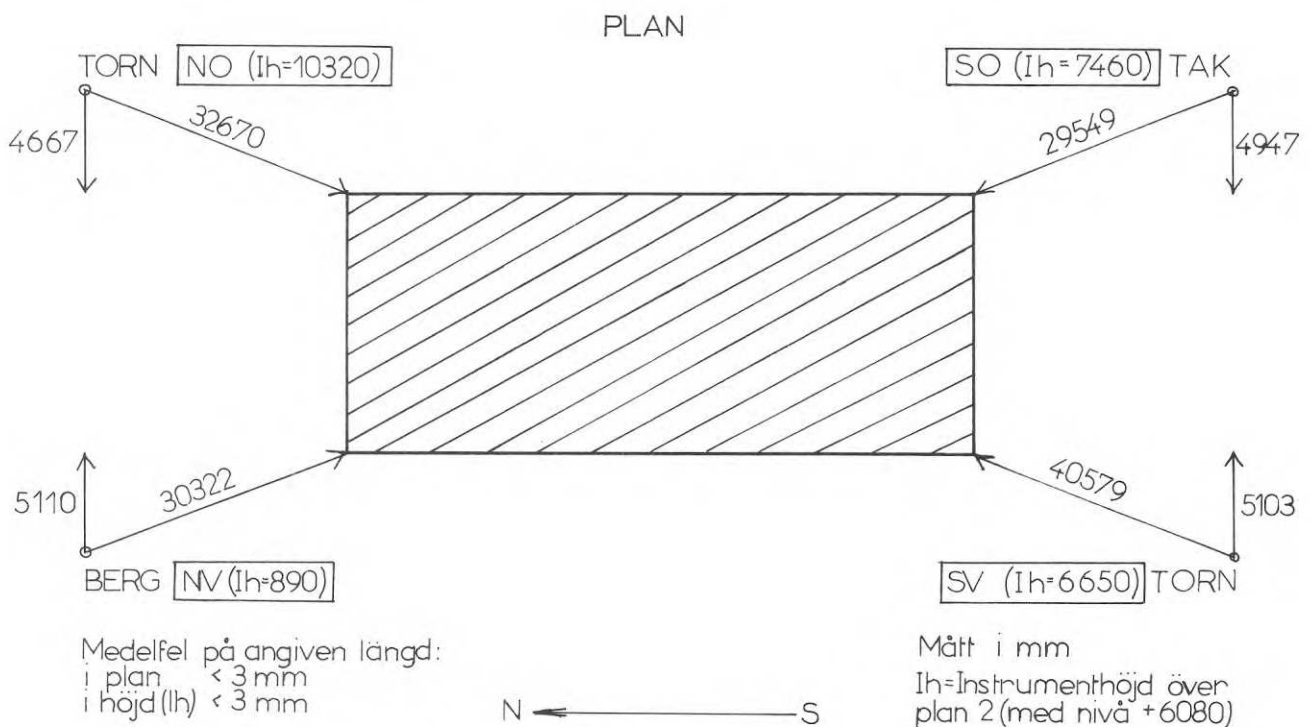


Fig. 48. Situationsplan med mätpunkter för fotogrammetrisk mätning. (Skiss, ej skalenlig.)

Site plan showing measurement stations for photogrammetric measurements. (Sketch, not true to scale.)

För att erhålla lämpliga fotograferingsvinklar blev det nödvändigt att bygga ca 5 m höga torn vid två av stationerna, de i NO och SV, fig. 48 och 49. I SO kunde taket på en arbetsbod användas för samma ändamål. Endast i NV fanns naturliga förutsättningar för mätstation, nämligen ett brant sluttande berg.

Som fotograferingsobjekt användes små märken (etiketter), vilka var klistrade på plåtbeslag som i sin tur var fästade på pelarna med s. k. Bindex®-band, fig. 11.

Avståndet mellan märkets centrum och den sida på beslaget som låg an mot pelarlivet var noga fixerat. Vid tillverkningen sattes beslaget i en fixtur, ett hål \varnothing 1 mm borrarades och över hålet passades in märkets centrum.

Plåtbeslagens utformning var betingad av de förutsättningar som gavs före undersökningens början, nämligen att mätmärkena måste sticka ut så långt att de inte skymdes av de isolermattor, vilka avsågs bli klistrade på pelarna omedelbart efter dessas montering. (Ett förfaringsätt som sedan inte tillämpades. Mätmärkenas hållare skulle man därför kunnat utföra enklare och billigare.)

Avståndet mellan mätstationerna och märkena skulle enligt uppställt krav mätas med ett medelfel

av högst 1 cm. (Annorlunda uttryckt kunde enstaka avstånd av de 96 per station och fasad få' ha fel på ca 3 cm förutsatt att huvudparten av avstånden (ca 2/3) hade fel < 1 cm.

Mätningen tillgick så att stationspunkterna markerades med spikar över vilka teodoliter ställdes upp, varefter avståndet mättes till lämpligast belägna märke på pelare 2 respektive 17 på varje fasad. Därvid användes hängande polygonband och korrektioner gjordes för temperatur, lutning och nedhängning. Mätningarna upprepades tre gånger och medeltal m. m. beräknades.

Därefter mättes mätmärkenas inbördes lägen, koordinater, fig. 50 och 51, i nivå med de lägsta mätmärkena, plan 2. Mätningar gjordes två gånger per sida med understött måttband och med användning av bandsträckare och temperaturkorrektioner. Ena gången användes längdbestämt polygonband och andra gången SIS-märkt band. Mätningen med polygonbandet gjordes i en riktning och mätningen med det SIS-märkta bandet i två riktningar, varefter medeltal bildades. Samma mätprocedur upprepades därefter i nivå med de näst högsta mätmärkena, dvs. i nivå med blivande golv, plan 5.

Slutligen mättes mätmärkenas lägesavvikelse i fasadens plan i förhållande till lodlinjer genom de lägst belägna mätmärkena. Mätning gjordes med



Fig. 49. Torn för fotogrammetrisk mätning. Höjd 5 m.
Tower for photogrammetric measurement. Height 5 m.

ÖSTER FASAD, SNITT

Norr	Y mm	TT	OL	TT	TT	TT	TT	TT	TT	TT	TT	TT	TT	TT	TT	OL	TT	Söder
13720	10	4213	8419	12595	16795	21002	25224	29427	33634	37819	42000	46205	50412	54610	58810		63069	
	Plan 5																	
11060	9	4209	8413	12586	16790	21003	25240	29436	33631	37825	42002	46214	50414	54605	58806		63067	
	Plan 4																	
7360	1	4206	8414	12591	16791	21006	25240	29432	33625	37823	42000	46216	50414	54606	58800		63068	
6950	0	4204	8412	12587	16795	21005	25237	29426	33625	37813	42001	46219	50414	54604	58802		63066	
	Plan 3																	
3680	2	4196	8404	12590	16796	20999	25221	29410	33615	37806	42000	46219	50407	54604	58801		63056	
	Plan 2																	
0170 0000	0	4193	8394	12595	16796	21005	25206	29398	33600	37799	42005	46194	50404	54609	58810		63046	
PeIarnr.		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	X mm

Y= 0000 = bottenvåningens golv
 Medelfelet i x-led kan antas < 3 mm
 i y-led " " < 10 mm
 OL = Optiskt lod
 TT = Teodolit på Transversalsläde

Fig. 50. Mätmärkenas koordinater i öster fasad. Snitt närmast öster fasad.

Co-ordinates of the targets on the eastern elevation. (The figure shows sections nearest the eastern elevation.)

VÄSTER FASAD (ELEVATION)

Norr	Y mm	TT	OL	OL	OL	OL	OL	OL	T	T	T	T	T	T	OL	T	Söder	
13730	10	4274	8490	12691	16884	21084	25265	29462	33661	37876	42066	46243	50482	54652	58842		63060	
	Plan 5																	
11060	9	4266	8487	12701	16879	21087	25268	29464	33654	37880	42068	46258	50489	54662	58852		63065	
	Plan 4																	
7350	9	4262	8479	12698	16882	21072	25269	29460	33648	37867	42067	46259	50483	54662	58850		63076	
	Plan 3																	
3710	11	4262	8477	12696	16882	21069	25275	29463	33648	37863	42068	46260	50470	54662	58851		63071	
3300	8	4263	8483	12695	16886	21066	25287	29453	33651	37866	42069	46262	50465	54663	58861		63077	
	Plan 2																	
0220 0000	0	4263	8474	12687	16880	21072	25285	29471	33660	37873	42067	46267	50473	54673	58867		63072	
PeIarnr.		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	X mm

Y= 0000 = bottenvåningens golv
 Medelfelet i X-led kan antas < 3 mm
 i Y-led " " < 10 mm
 OL = Optiskt lod
 TT = Teodolit på transversalsläde
 T = Teodolit och mätsticka

Fig. 51. Mätmärkenas koordinater i väster fasad. Elevation av väster fasad.

Co-ordinates of the targets in the western elevation. The figure shows the western elevation.

optiskt lod, fig. 52, vid pelarna näst längst ut, nr 3 och nr 16, samt vid ytterligare några. De mätmärken (pelare) som inte lodades in, mättes med transversalsläde, fig. 53, eller med teodolit och mätsticka, fig. 54, som hölls mot märket.

Därefter beräknades avstånden (koordinaterna) för pelarlägena vid golvet, plan 5, med ledning av längdmätningen vid golvet, plan 2, och den i föregående stycke beskrivna inmätningen (lodningen) av lägesavvikelserna i fasadens plan. Det så erhållna resultatet kunde därefter jämföras med resultatet från den tidigare beskrivna längdmätningen vid golvet, plan 5. Den största differensen blev 11 mm.

Kostnadsuppskattning

(Sammandrag av ej här redovisad kalkyl)

Beslag med mätmärken, 200 st à 7 kr (avskrivna på ett objekt)	1 400 kr
Uppsättning av beslag, förarbete, uppsättning, efterjustering och nedtagning	2 700 kr
Inmätning av mätmärkenas koordinater i fasadens plan	
längdmätning	3 800 kr
lodning	2 200 kr
Mättorn, 2 st à 900 kr (materielhyra och arbetskostnad för montering och demontering)	1 800 kr
Inmätning av stationspunkter i förhållande till byggnad	3 800 kr
<hr/>	
Summa kostnader för förberedelser och efterarbeten	15 700 kr
Fotogrammetrisk mätning, utvärdering av resultaten, databehandling inkl. kostnader för dataprogram	3 500 kr
	<hr/>
	(19 200) kr
Summa totalt	20 000 kr

Arbetskostnaderna i kalkylen är framtagna med ledning av lagkostnader i stadsmätningstaxan (1968), tariff III.

Kostnaden för förberedelserna bygger på grovt uppskattade arbetsprestationer för personal med vana. Arbetsprestationerna blir låga vid mätarbete av detta speciella slag. Det innebär ständiga improvisationer och oftast nya mättekniska detaljlösningar för varje nytt mätobjekt, olikt det föregående. Om samma personal skulle mäta ett liknande objekt efter detta så skulle också arbetsprestationerna kunna ökas betydligt, sannolikt fördubblas.



Fig. 52. Optisk lodning av pelare. Lod, Kern OL.
Optical plumbing of column. Plummet, Kern OL.

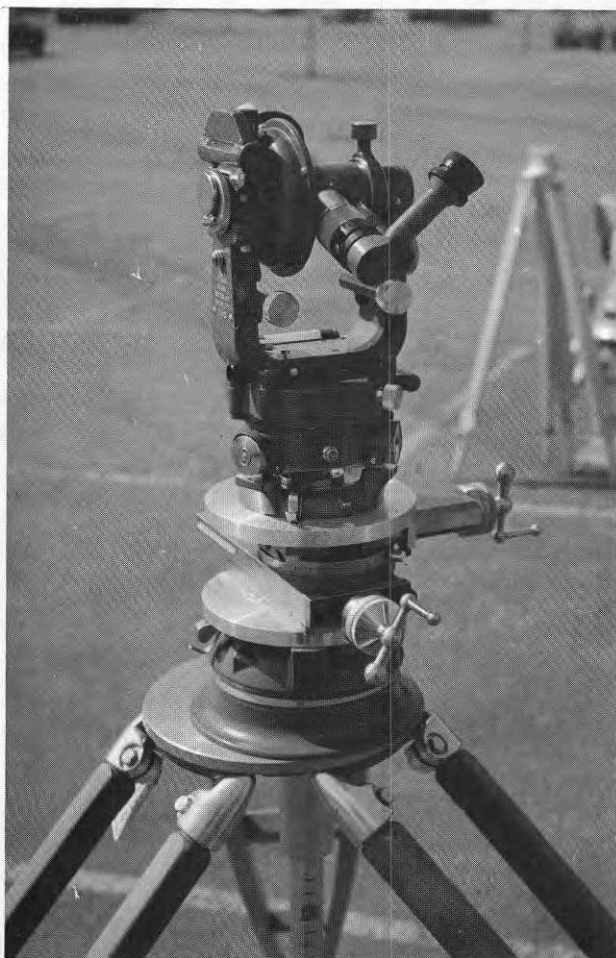


Fig. 53. Kern DKM 2 uppsatt på transversalsläde, tillverkad av svarvsupport.
(Teodoliten är försedd med brutet okular.)
Kern DKM 2 mounted on cross slide made of lathe supports.
(The theodolite is fitted with elbow eyepieces.)

Arbetskostnaden för mätarbetet har beräknats enligt stadsmätningstaxan vars kostnadsläge vid jämförelser med privata konsulter taxor eller andra taxor inte objektivt kan bedömas. Enligt uppgift från två konsultföretag ligger emellertid stadsmätningsskassan högre än dessa företags egna taxor.

En transformering till annan lönekostnadsnivå kan göras med ledning av den arbetstid som i kalkylen motsvarar lönekostnaderna för mätpersonal:

ingenjör	16 mandagar à 400 kr = 6 400 kr
mätbiträde	22 mandagar à 280 kr = 6 160 kr

Kostnaden för databehandling och utvärdering av mätresultat rymmer också en kostnad för ett experiment med mätning på pelarna direkt (utan beslag och mätmärken). Däremot inryms inte vissa initialkostnader som konsulten inte debiterat.

Den mycket omfattande inmätningen av koordinater i fasadernas plan motiverades av att mätvärdena skulle kunna användas också till annat än fotogrammetrisk utvärdering. (Beräkning av pelares avvikelser från raket m. m.)

Diskussion

Fotogrammetrisk metodik har vid åtskilliga till-

fällen föreslagits för mätningar av denna typ. Då det tycks föreligga ett allmänt intresse kan det vara av värde att något behandla vad en fotogrammetrisk enkelbildsmätning liknande den nu genomförda skulle kunna tänkas kosta vid något ändrade förutsättningar och vilka förenklingar och förbättringar som skulle kunna göras i den tillämpade metodiken.

Om samma noggrannhetsnivå ($s_{0mf} = 1,65$ mm) önskas bibehållen måste man ha signaler liknande de i föregående beskrivna mätmärkena. Kan man däremot nöja sig med en något lägre noggrannhet, t. ex. $s_{0mf} = 2,5$ à $3,0$ mm, så kan signaleringen slopas och kostnaden för märken och beslag samt för deras uppsättning — ca 4 000 kr i kalkylen — bortfalla. En förutsättning är emellertid att det finns tillräckligt tydliga kanter på mätytan så att mätpunkterna kan definieras. Sänkningen av noggrannhetsnivån kan få stora konsekvenser för mätvärdenas användbarhet om det visar sig att de variationer som man önskar bestämma är små. (Deras storlek kan man endast konstatera genom en förberedande undersökning.) Dessutom gäller att ju mer man önskar spalta upp mätvärden i pilhöjder i små ytor med fyra punkter etc., såsom beskrivits i kap. 3 och 5, dess mer beroende är man av hög noggrannhet.

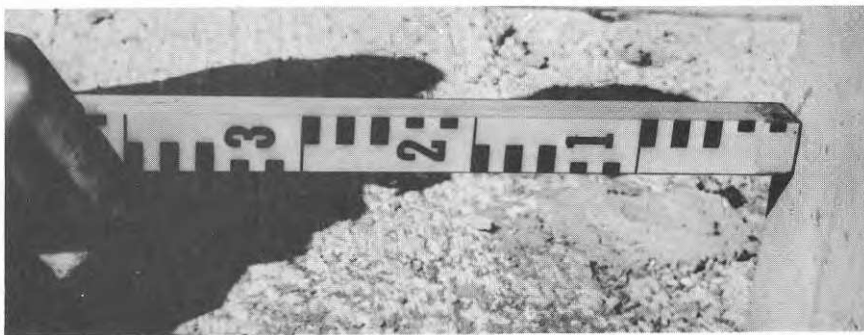


Fig. 54. Mätsticka, specialtillverkad (Hultafors).
Stickan är millimetergraderad på ena sidan och graderad som avvagningsstång på andra sidan. Reflekterande färg.

*Rod, specially made (by Hultafors).
The rod is graduated in millimetres on one side and as a levelling staff on the other. Reflector colour.*

Materialkostnaden för signaleringen (för beslag med märken) kan i de flesta fall sänkas från 4,74 kr/st för de nu använda beslagen till ca 0,25 kr/st motsvarande kostnaden för små plastvinklar, fig. 55, som vi också provat. Kostnad för etiketter och deras montering blir ungefär oförändrad ca 1 kr. Därmed skulle kostnaden för beslag i kalkylen kunna nedbringas från 1 400 kr till ca 400 kr.

Kostnaden för uppsättning av plastvinklar kommer att bli lägre än motsvarande för uppsättning av beslag. Vinklarna sätts fast med t. ex. tvåkomponent plastlim och behöver inte tas ner. (De slås automatiskt bort när man kommer med fasad-elementen.) Förarbetet blir emellertid oförändrat. En sänkning från 2 700 kr till 2 000 kr förutsätts möjlig.

Inmätningen av mätpunkternas koordinater kan göras billigare, antingen genom användning av samma metodik som den nu tillämpade, men ej så noggrant genomförd, eller genom fotogrammetri. De mätta fasaderna var 63 m långa och ca 14 m höga. Med fotogrammetrisk enkelbildsmetodik, 2 bilder per fasad, skulle kostnaden för mätning och utvärdering av resultat ha blivit ca 2 400 kr för två fasader vartill kommer viss mätning av baser och signalering till en kostnad av ca 600 kr. Tillsammans ca 3 000 kr mot i kalkylen medräknade 6 000 kr (3 800 + 2 200).

Medelfelet för denna metodik skulle då ha blivit:

för punkters inbördes avstånd i fasadens plan	$s_0 < 10 \text{ mm}$
för enskilda pelares rakhetsavvikelse i fasadens plan	$s_0 < 3 \text{ mm}$

Fig. 55. Plastvinkel.

Vinklarna tillverkas genom kapning av lämplig V-profilstång. I vinklarna borras hål på bestämd distans från den yta som ligger an mot mätytan. Över hålen centreras mätmärken på båda sidor och klistras fast.

Plastic angle.

The angles are made by cutting a suitable V-profile staff. Holes are bored in the angles at a fixed distance from the surface which comes into contact with the surface to be measured. The measurement markers are centred over both sides of the holes and glued.

Mättern krävs för vissa mätobjekt om man önskar täcka hela fasadytorna. Nöjer man sig med ett annat urval kan man däremot alltid undvika tornbyggen, nämligen om man nöjer sig med att mäta delar av fasader.

Inmätningen av stationspunkter i förhållande till byggnad skulle kunna ha utförts med lägre noggrannhet och då sannolikt med ungefär dubbelt så hög arbetsprestation.

Kostnaden för den fotogrammetriska mätningen skulle slutligen med bibehållen noggrannhetsnivå ($s_{0mf} = 1,65 \text{ mm}$) kunna sänkas.

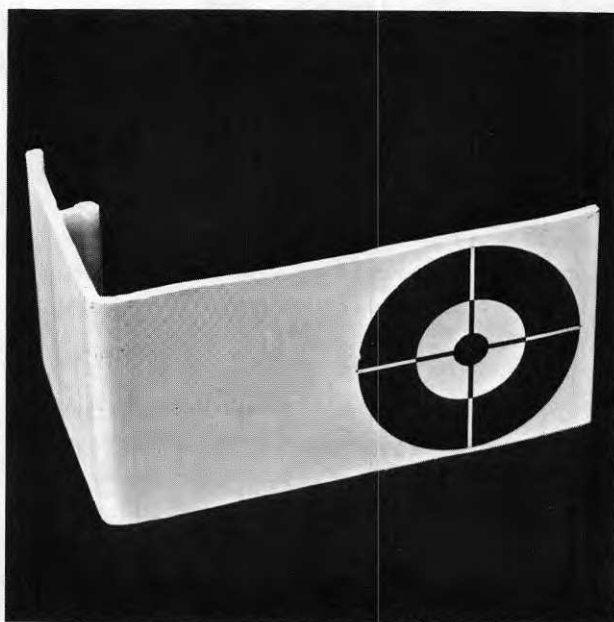
Kostnader exklusive resor och traktamenten, förutsatt att allt förberedande arbete är utfört:

Fotografering av två fasader (en dags arbete för ett lag om 1+1)	800 kr
Kamera och övrig mätutrustning inkl. transporter, hyra	200 kr
Utvärdering: 2 bilder per fasad (4 bilder), grundkostnad	400 kr
100 mätpunkter per fasad, 2 fasader	400 kr
Databehandling	600 kr
Summa	2 400 kr

Således en kostnadsminskning med 1 100 kr jämfört med kalkylens 3 500 kr.

Slutsats

Den sammanlagda kostnaden som i den tidigare redovisade kalkylen blev ca 20 000 kr skulle för samma två mätytor (63 m × 14 m) med ca 100 mätpunkter vardera bli:



vid bibehållen noggrannhetsnivå, $s_{0mf} = 1,65$ mm, 10 000 à 12 000 kr beroende på antal mättorn som fordras

vid sänkt noggrannhetsnivå, $s_{0mf} = 2,5$ à 3,0 mm, 7 000 à 9 000 kr beroende på antal mättorn.

Metodikens noggrannhet

Den fotogrammetriska metodikens noggrannhet beräknades av dr K. Torlegård utifrån geometriska villkor mellan dubbelfotograferingar enligt särskild utredning (bilaga I).

Resultat för hel fasad och med användning av signaler (beslag med märken) blev:

öster fasad	$s_{0mf} = 1,78$ mm
väster fasad	$s_{0mf} = 1,50$ mm
båda fasaderna	$s_{0mf} = 1,65$ mm.

Motsvarande resultat utan användning av signaler, men med mätning på pelarnas kanter:

öster fasad	$s_{0mf} = 3,12$ mm
väster fasad	$s_{0mf} = 2,52$ mm
båda fasaderna	$s_{0mf} = 2,83$ mm.

8.2 Mätning med två teodoliter av fasadernas pelarliv

8.2.1 Metodik

Mätning av en fasad gick till så att de två mätinstrumentena stod i stationer, en i norr och en i söder, nästan i linje med fasadlivens tänkta förlängningar och parallellt med de tidigare etablerade baslinjerna. Avståndet från stationerna till närmaste gavel var ca 25 m. Vid mätning av östra fasaden stod instrumenten 25 cm utanför pelarlivet. Motsvarande värde för västra fasaden var 15 cm.

Teodoliterna var KERN DKM 2 och KERN DK 2 och stativen var s. k. centrerstativ av lättmetall. Instrumenten och stativen var skyddade med solparasoller och diverse andra skärmar. Vardera teodolit var låst i sidled — låsskruvarna för vertikalexlarna var tilldragna — och riktad mot motstående teodolits stationspunkt.

När kikarna roterades i vertikalled genererades hjälpplan och till dessa mättes avståndet från pelarna med hjälp av en centimeterindelad skalsticka med skalor på båda sidorna. En man höll stickan mot mätpunkterna på pelarnas yttersidor och omedelbart intill märkena för fotogrammetrisk mätning.

Mätning gjordes i endast ett tubläge. Observatörerna kontrollerade och justerade kontinuerligt instrumentens horisontalinställning. En horisontal rad mättes åt gången och efter läsning av värdet för en viss punkt anmälde båda observatörerna sina resultat per radio till en fjärde man, lagchefen, som följde med markören. På så sätt kunde grova fel undvikas eftersom observatörernas värden jämfördes. Om de avvek mer än 3 mm från varandra stoppades mätningen tillfälligt och förnyad inställning gjordes mot motstående teodolits stationspunkt. För stora differenser mellan läsningarna kunde t. ex. bero på solens inverkan. Vid ojämn uppvärmning av stativbenen vrider sig nämligen instrumentet.

För att begränsa antalet faktorer som inverkar på mätningen och därmed uppnå erforderlig kvalitet på resultatet, måste arbetet utföras utan avbrott och inom en icke alltför utsträckt tidrymd. Ett lag om 4 man, lagchef och två observatörer (mätningstekniker) samt en markör (hantlangare) kunde mäta denna yta, 63 m \times 14 m med 100 punkter, på en dag. Markören fick många gånger hänga utanför huskroppen med överkroppen och hölls då med livlina av lagchefen.

Kostnadsuppskattning

Ett lag om tre vana mätningstekniker och ett biträde är det minsta tänkbara om den i det följande redovisade noggrannhetsnivån skall uppnås.

Under 8 à 10 timmar kan laget upprätta mätstationerna och mäta en fasad 63 \times 14 m med ca 100 mätpunkter under de förutsättningar, som gällde för denna byggnadsstomme. Arbetsprestationen beror bl. a. på hur svårmarkerade mätpunkterna är.

Arbetskostnaden exklusive resor och traktamenten blir $3 \times 50 + 35 = 185$ kr/tim. = 1 480 kr/dag eller per fasad. Tillkommer hyror för instrument och övrig materiel samt diverse material och transporter. Tillsammans ca 1 700 kr/fasad eller 3 400 kr för två fasader.

Beträffande denna kostnadsberäkning gäller samma som för kalkylen på den fotogrammetriska metodens kostnad dvs. stadsmätningstaxan, tariff III, har tillämpats.

Den verkliga kostnaden för experimentet ligger högre än ovan angivna 3 400 kr. Mätlaget bestod av fem man.

Metodikens noggrannhet

Teodolitmätningens noggrannhet beräknades utifrån resultaten från den fotogrammetriska mätningen, avsnitt 8.1.1.

Från den fotogrammetriska mätningen förelåg för varje mätpunkt ett värde v_i (bilaga I), vilket var ett viktat medelvärde från fotograferingar från norr och söder och som uttryckte avståndet till ett beräknat balansplan.

Resultaten från mätningen med två teodoliter användes på följande sätt:

Först beräknades utifrån resultaten från varje mätstation ett balansplan och tillhörande avvikelser i enskilda punkter. Därefter bildades medelvärdet (v_i) av dessa. (Bilaga II.)

Noggrannheten hos teodolitmätningen beräknades därefter enligt:

$$\begin{aligned}(v_t - v_f)^2 &= v_{\text{diff}}^2 \\ s_{0\text{diff}}^2 &= \frac{v_{\text{diff}}^2}{n} \\ s_{0\text{mt}}^2 &= s_{0\text{diff}}^2 - s_{0\text{mf}}^2\end{aligned}$$

där $s_{0\text{mf}}$ var tidigare bestämd (8.1.1).

Resultatet blev:

öster fasad	$s_{0\text{mt}} = 2,97 \text{ mm}$
väster fasad	$s_{0\text{mt}} = 2,14 \text{ mm}$
båda fasaderna	$s_{0\text{mt}} = 2,60 \text{ mm}$.

8.3 Mätning med optiskt lod av avvikelse från lodlinje

8.3.1 Metodik

Det optiska lodet, Kern OL med koincidensprisma, var uppsatt på tillhörande specialstativ i trä. Uppställning skedde på plan 2 och ca 20 cm från märkena på pelarna. Observatören avläste märkenas läge i förhållande till siktlinjen genom lodet med hjälp av en skalsticka som en medhjälpare höll mot märkena. Denne signalerade först lägsta märket under lodet och gick sedan uppåt i våningarna där de övriga märkenas läge signalerades. Därefter svängde observatören lodet 200^g och mätningarna gjordes om varvid medhjälparen gick samma väg nedåt i huset. Lodets vattenpass kontrollerades noggrant hela tiden. Läsning i två instrumentlägen med ett halvt varvs vridning görs för att reducera regelbundna (systematiska) instrumentfel.

Metodikens noggrannhet

Det använda optiska lodet, Kern OL, har 22,5 ggr förstoring. Det är utrustat med koincidensprisma för noggrann horisontering. Medelfelet för en lodning (dvs. två läsningar i två riktningar med 200^g rotering) är enligt katalog = 1 mm vid 100 m sikt-höjd. Erfarenheten från försök som vi tidigare gjort bestyrker denna noggrannhetsuppgift.

Vid mätningar på Östra sjukhuset var den längsta siktsträckan 12,5 m, varför medelfelet för lodningen på högsta märket bör ha varit 0,2 mm eller möjligen något större genom hanteringen av mätstickan (sättet att hålla denna etc.) Antag $s_{0\text{mo}} \leq 0,5 \text{ mm}$.

8.4 Mätning med teodolit på transversal-slåde av pelarliv i fasad

8.4.1 Metodik

Teodoliten, DKM 2, var placerad på en transversal-slåde som tillverkats av en svarvsupport med skalor och nonier för inställningarna. Den medgav 90 mm rörelse i sidled. Hela anordningen var uppsatt på ett extra stabilt trästativ (specialstativ) som stod på några betongelement vilka var upplagda sydost om huset. Mätstationens läge var ca 50 cm utanför östra fasadlivet tänkta förlängning och ca 25 m från södra gaveln. Såsom fast punkt för inställningen användes lägsta märket på den närmaste pelaren (nr 17). Horisontalcirkeln lästes av efter inställningen mot detta märke. På så sätt kunde man kontrollera att observatören ej råkat rubba sidinställningsdrevet. Genom att gå tillbaka till utgångsmärket och avläsa transversal-slådens skala fick man en kontroll på att inga vridningar e. d. uppstått i stativ eller transversal-slåde. Instrumentets horisontalinställningar fick justeras alltefter det instrumentet fördes åt sidan eftersom tyngdpunkten därmed samtidigt försköts och hela anordningen därmed kom att böjas ned någon bråkdel av en mm. För övrigt gäller att anordningen är komplicerad att använda. Den kan skötas endast av speciellt instruerad personal. Uppställningen och kontrollerna vid denna och vid mätningen upptar ca 25 moment.

I vissa fall var det svårt att särskilja märkena. Vissa märken doldes av framförhängande. För att mäta på rätt märke fick i några fall en medhjälpare markera deras läge med en käpp. Dessa svårigheter skulle inte ha förekommit om märkena skjutit ut mindre utanför fasadlivet eller om mätstationen valts något längre ut i förhållande till pelarlivet.

Kostnadsuppskattning

Mätningen av fasaden utfördes på ca en halv dag och skulle, rätt genomförd, kunna ha utförts av en mätningstekniker.

Arbetskostnad $50 \times 5 = 250$ kr.

Uppsättning av märken tillkommer — se tidigare angivna kostnader (8.1.1). Materialkostnad för märken (plastvinklar) ca 200 kr.

Hyra för materiel ca 100 kr.

Tillsammans skulle dessa kostnader bli ca 800 kr.

Metodikens noggrannhet

Noggrannheten kunde beräknas analogt med föregående metoder.

Först beräknades ett balansplan till mätvärdena och därefter enskilda punkters avvikelse (v_{tt}) från balansplanet. (Bilaga III.)

$$\begin{aligned} \Sigma (v_{tt} - v_f)^2 &= \Sigma v_{diff}^2 \\ s_{0diff}^2 &= \frac{\Sigma v_{diff}^2}{n} \\ s_{0mtt}^2 &= s_{0diff}^2 - s_{0mf}^2 \end{aligned}$$

Egentligen skulle alla mätvärden multipliceras med \cos för en vinkel motsvarande den mellan siktlinjen och fasaden. Då vinkeln är liten har denna reduktion ansetts försumbar.

Fasaden har vid bearbetningen av mätvärdena delats upp i tre fält om 6 pelare = 36 punkter. (Sålades en överlappning med en pelare i varje ytterfält.) Dessutom gjordes beräkning för hela fasaden.

Resultat:

Medelsiktavstånd till delyta om 6 pelare m	s_{0mtt} för delyta mm
75	3,7
55	1,6
35	1,2

Det visade sig svårt att ställa in instrumentet på märkena vid siktavstånd över 60 m, vilket förklarar det betydligt högre medelfelet för avståndet 75 m. Detta värde är sannolikt inte representativt för metoden.

För hela fasaden (96 punkter) blev noggrannheten $s_{0mtt} = 2,4$ mm.

(Den mätta avvikelser från planhet blev $s_{0ttred} = 10,2$ mm, vilket värde stämmer bra med teodolit-mätningens 10,6 mm och någorlunda med fotogrammetriens 9,53 mm.)

8.5 Mätning med teodolit på transversalsläde av pilhöjd hos pelare

8.5.1 Metodik

Vid mätning av pilhöjd hos fristående pelardel användes en mindre typ av transversalsläde (sidförling 60 mm) och på denna placerades en teodolit DKM 2. Vanligt lättmetallstativ användes. Syftavståndet uppgick till högst 30 m och pelardelarna var ca 7 m höga. Högsta uppsättning på kikartuben blev ca 30° .

Metodikens noggrannhet

För att bestämma metodens noggrannhet gjordes en mätning mot en noggrann lodlinje. Denna åstadkoms med en pianotråd i vilken hängde en 12 kg blyvikt, nedsänkt i en spann med vatten. Siktlinjen fördes in mot tråden på olika nivåer och med förställningar mellan olika mätserier.

Metodens medelfel blev

$$s_{0mtt} < 0,2 \text{ mm}$$

under ovan angivna förutsättningar.

Fotogrammetrisk bestämning av fasadplanhet

Tekn. dr Kennert Torlegård, VIAK AB

Förord

Statens institut för byggnadsforskning har som ett led i undersökningar om husbyggande med prefabricerade element bestämt läget av pelare som bildar stommen i ett större hus. Pelarna står i fasaderna och bestämningen har skett med olika mätningstekniska metoder. En av dessa grundar sig på fotogrammetriska principer. Denna del har utförts i samarbete med Byggnadsforskningen i Göteborg. Den byggnad som ingått i undersökningen är Östra Sjukhusets i Göteborg Infektionsklinik.

1 Fotografering

På grund av fasadens storlek, terrängen och kameran uppfördes två torn från vilka fotograferingen utfördes. I ett fall utnyttjades taket av en arbetsbod och i ett annat fall kunde man stå på marken. Före fotograferingen hade fasaden försetts med 96 speciella signaler som hade fästs på pelarna.

Fotografering har skett med Zeiss Ortoprotar fototeodolit med kamerakonstant 192,06 mm och bildformat $13 \times 18 \text{ cm}^2$ på glasplåtar. Fotograferingsriktningarna har varit horisontella och parallella med resp. fasad. Fotografering har skett både från norr och söder så att varje fasad har blivit dubbelbestämd. Stationspunkterna för västra fasaden kallas IA och IIA och för östra fasaden IB och IIB, så att IA och IB är de nordliga och IIA och IIB de sydliga. Stationspunkternas läge är bestämda i relation till fasaderna, så att bildskala (M) är känd i varje enskild punkt.

På varje station har minst tre exponeringar skett: en över-, en normal- och en underexponering. Intervallet har varit ett exponeringssteg. Emulsionen var Gevapan 30, 21/10 DIN. Framkallning 10 min., 20° C i Kodak D — 76.

2 Mätning

Glasnegativen har mätts med stereoautograf Wild A7. Kamerans inre orientering har rekonstruerats från rammärken och angiven kamerakonstant. Kamerans yttre orientering har därvid rekonstruerats med hjälp av kända data för stationspunktens läge och vissa i bilden synliga stödpunkter. För mätning har utvalts en bild med god fotografisk kvalitet för varje station. Som kontroll av mätmetodens precision har på station IIA skett en dubbelbestämning av hela fasaden.

Med kännedom om kamerans yttre orientering och pelarnas absoluta lägen har z-pelaren i A7 givits det värde som svarar mot fotograferingsavståndet

i skala 1:200. Registreringen har skett med automatiskt registerverk Ek 5 i enheten 0,01 mm, vilket således svarar mot 2 mm i skala 1:1. Avrundningen ger ett medelfelsbidrag av $2/\sqrt{12} = 0,57$ mm.

De mätta punkterna utgöres dels av signaler (mätning IA1, IIA1, IIA11, IB1, IIB1), dels av pelaren själv (mätning IA2, IIA2, IIA22, IB2, IIB2). Fasadens planhet registreras i Ek 5:ans y -koordinat, vars axel är riktad vinkelrät mot fasaden.

3 Beräkning

I fortsättningen användes ett koordinatsystem som har x — y i fasadens plan och z vinkelrät däremot. x är positiv åt norr, y positiv uppåt, z positiv åt väster.

Till alla z i en mätning anpassas ett plan med minsta kvadratmetoden enligt formeln:

$$z = dz_0 - x \times d\mu + y \times d\xi$$

Från beräkningen erhålls i tabell:

$$\Delta z = z - dz_0 + x \times d\mu - y \times d\xi$$

Dessa Δz är således fasadens aktuella avvikelser från ett tänkt idealplan.

Tio beräkningar har utförts med hjälp av datan GE-625 vid ASEA Västerås och Teletypterminal vid VIAK AB i Göteborg.

Beräkning	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mätning	IIA1	IIA2	IA1	IA2	IIA11	IIA22	IB1	IB2	IIB1	IIB2
Signal	×	—	×	—	×	—	×	—	×	—
Pelare	—	×	—	×	—	×	—	×	—	×
Fasad	Väster						Öster			

Från dessa beräkningar har två serier medeltal bildats för varje fasad, en för signalmätning och en för pelarmätning. Se bilagda tabeller.

Fasadens planhet kan uttryckas som ett medelfel. Efter medeltalsbildning och reduktion för mätmetoden erhålls:

Fasad	Väster	Öster
Signaler	13,42 mm	9,53 mm
Pelare	13,06 mm	8,78 mm
Kvadr. diff	3,13 mm	3,57 mm

Skillnaden mellan pelar- och signalplanhet kan förklaras på följande sätt: 1) Vid uppsättande av signalerna tillkommer ett säkerhetsmoment i definitionen av läget. 2) Vid mätning mot signaler sker mätningen i och för sig med en högre noggrannhet jämfört med pelare. Den inmätta signalen representerar pelarens läge endast på den plats där signalen är fastsatt. Vid mätning mot pelaren själv görs inställningen i instrumentet Wild A7 med ledning av ögats integreringsprocess längs pelarlinjen i närheten av mätmärket. Mätningen representerar medeltalet av pelarläget inom ett avsnitt på uppskattningsvis 0,1—0,2 meters längd. Dessa två faktorer innebär ett medelfelsbidrag på något över 3 mm enligt den gjorda uppskattningen.

4 Metodens noggrannhet

Medelfelet i enstaka Δz -bestämning antas bestå av en konstant term och en term som varierar med bildskala M enligt

$$s^2 = s_1^2 + M^2 \times s_2^2.$$

På grundval av differenser mellan olika mätningar har s_1 och s_2 uppskattats till $s_1 = 2,1 \text{ mm}$, $s_2 = 4,0 \mu\text{m}$ för signaler och $s_1 = 1,4 \text{ mm}$, $s_2 = 9,8 \mu\text{m}$ för pelare. Dessa värden är helt rimliga.

En tillämpning av medelfelets speciella fortplantningslag ger följande resultat:

Medelfel i differenser mellan mätning I och II öster fasad enligt

$$s_{\text{diff}}^2 = 2s_1^2 + (M_I^2 + M_{II}^2) \times s_2^2.$$

Medelfel i differenser mellan mätning I (enkel bestämning) och medeltal för väster fasad enligt

$$s_{\text{diff}}^2 = \frac{2}{3} s_1^2 + \left(\frac{5}{9} M_{II}^2 + \frac{1}{9} M_I^2 \right) \times s_2^2.$$

Medelfel i differenser mellan mätning II (en av dubbelbestämningarna) och medeltal för väster fasad enligt

$$s_{\text{diff}}^2 = \frac{2}{3} s_1^2 + \left(\frac{4}{9} M_I^2 + \frac{2}{9} M_{II}^2 \right) \times s_2^2.$$

Medeltal i differensen mellan de två dubbelbestämningarna för väster fasad enligt

$$s_{\text{diff}}^2 = 2 s_1^2 + 2 M_{II}^2 \times s_2^2.$$

Medelfel i medeltal av mätning I och II för öster fasad enligt

$$s^2, \text{ö} = \frac{s_1^2}{2} + \frac{M_I^2 + M_{II}^2}{4} \times s_2^2.$$

Medelfel i medeltal av tre mätningar för väster fasad enligt

$$s^2, \text{v} = \frac{s_1^2}{3} + \frac{2 M_{II}^2 + M_I^2}{9} \times s_2^2.$$

Öster fasad, signaler

Pelare nr	Mätningens medelfel	Horisontal linje, plan						$\Sigma \Delta z^2$
		2	3	4 skarv 4	5	6		
2	1,80	- 4	- 4	0	0	- 4	+ 1	49
3	1,79	- 2	+ 6	+ 2	+ 4	+12	+ 8	268
4	1,77	+ 8	+11	+ 1	+12	+18	+18	978
5	1,76	+16	+16	+ 3	+ 6	+ 6	+ 9	674
6	1,76	+ 2	0	0	+ 1	+ 6	+ 8	105
7	1,75	+ 4	- 3	- 5	- 9	-12	-14	471
8	1,75	- 4	-11	-15	-12	- 5	- 6	567
9	1,74	+ 4	- 6	-16	-11	- 6	-16	721
10	1,75	+ 3	- 1	-21	-18	-18	-18	1 423
11	1,75	0	-12	-15	-15	-10	- 6	730
12	1,75	+ 6	+ 7	+ 2	- 2	- 3	- 9	183
13	1,76	-11	- 2	- 8	- 2	- 3	- 2	206
14	1,77	+ 2	+ 5	- 5	- 2	+ 2	+ 7	111
15	1,79	+16	+12	+ 3	+ 4	+ 6	+19	822
16	1,80	0	+ 8	+10	+14	+19	+10	821
17	1,81	-14	- 8	+ 3	+ 4	+ 8	+16	605
Samtliga	1,78						Summa	8 734

Öster fasad, pelare

Pelare nr	Mätningens medelfel	Horisontal linje, plan						$\Sigma \Delta z^2$
		2	3	4 skarv 4	5	6		
2	3,13	- 8	- 6	- 7	- 2	- 8	- 3	226
3	3,13	- 2	+ 4	+ 4	+ 6	+11	+10	293
4	3,12	+ 4	+ 8	- 1	+14	+19	+14	834
5	3,12	+15	+16	+ 6	+ 8	+ 4	+ 8	661
6	3,12	+ 5	+ 4	+ 2	+ 8	+ 2	+ 6	149
7	3,12	+ 8	- 1	- 3	- 6	-14	-14	502
8	3,12	- 4	- 9	-10	- 4	- 3	- 6	258
9	3,12	+ 4	- 4	- 7	- 8	- 9	-17	515
10	3,12	+ 4	- 6	-15	-18	-16	-20	1 257
11	3,12	- 4	- 9	- 8	-16	-10	-10	617
12	3,12	+ 4	+ 6	+ 2	0	- 5	- 8	145
13	3,12	-11	- 2	+ 2	- 6	- 3	+ 2	178
14	3,12	- 3	+ 6	+ 1	- 6	+ 3	+ 8	155
15	3,12	+16	+12	+ 3	0	+ 8	+18	797
16	3,13	- 1	+ 8	+ 6	+14	+18	+12	765
17	3,13	-19	-10	- 2	0	+10	+13	734
Samtliga	3,12						Summa	8 086

Väster fasad, signaler

Pelare nr	Mätningens medelfel	Horisontal linje, plan					$\Sigma \Delta z^2$	
		2	3 skarv 3	4	5	6		
2	1,59	+17	+14	+16	+18	+21	+25	2 131
3	1,57	0	0	+7	+14	+26	+23	1 450
4	1,55	-2	-3	+3	+2	+3	+8	99
5	(1,80)	-16	-10	-14	0	+4	+4	584
6	1,52	-14	-8	-6	-2	+3	+4	325
7	1,50	-16	-9	-9	-8	-4	-1	499
8	1,48	-12	-23	-20	-12	-6	-1	1 254
9	1,47	+6	-16	-15	-11	-2	+5	667
10	1,46	+2	-4	-7	-17	-9	-6	475
11	1,45	+7	-12	-14	-10	-12	-18	957
12	1,44	+1	-8	-13	-12	-21	-24	1 395
13	1,44	-9	0	0	-4	-2	-18	425
14	1,43	+4	+6	-2	-12	-15	-19	786
15	1,43	+6	+12	+7	-2	-1	-4	250
16	1,43	+12	+18	+13	+7	+1	-5	712
17	1,43	+30	+35	+27	+33	+23	+22	4 956
Samtliga	1,50						Summa	16 965

Väster fasad, pelare

Pelare nr	Mätningens medelfel	Horisontal linje, plan					$\Sigma \Delta z^2$	
		2	3 skarv 3	4	5	6		
2	2,53	+10	+8	+10	+17	+19	+25	1 539
3	2,53	+3	-2	+7	+17	+24	+24	1 503
4	2,53	-1	-3	+2	+6	+5	+4	91
5	2,52	-18	-3	-10	+3	-2	+5	471
6	2,52	-14	-2	-1	+5	0	+8	290
7	2,52	-14	-6	-6	-5	-5	+6	354
8	2,52	-15	-25	-19	-16	-5	-4	1 508
9	2,52	+7	-16	-17	-7	-16	+6	935
10	2,52	+2	0	-3	-17	-37	-7	1 720
11	2,51	+6	-10	-13	-4	-11	-15	667
12	2,51	-1	-8	-14	-13	-19	-21	1 232
13	2,51	-8	-1	+1	+1	-2	-13	240
14	2,51	+4	+4	0	-10	-12	-19	637
15	2,51	+5	+9	+5	-2	-2	-4	155
16	2,51	+8	+13	+17	+4	+3	-6	583
17	2,51	+31	+28	+23	+31	+26	+26	4 587
Samtliga	2,52						Summa	16 512

Avvikelser från planhet, öster fasad

Resultat från mätningar med teodolit på transversalsläde.
Avvikelser från balansplan i enskilda mätpunkter (mm).

ÖSTER FASAD		Medelvärde av v (av mätvärden från norr och från söder) mm																	
		PELARE nr		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
nivå	+ cm	X	Y=	31,5	27,3	23,1	18,9	14,7	10,5	6,3	2,1	-2,1	-6,3	-10,5	-14,7	-18,9	-23,1	-27,3	-31,5
3 tr Uk balk	7447	-6,5	v ₁ =	-6,5	-11,5	-16,5	-8,5	-9,5	+10,5	+9,0	+20,0	+17,0	+11,0	+4,0	+0,5	-11,0	-21,0	-18,5	-17,0
3 tr golv	7183	-3,9	v ₁ =	-2,0	-8,0	-13,0	-4,5	-6,0	+15,5	+9,0	+14,5	+22,0	+18,5	+0,5	+6,0	-2,5	-8,5	-19,5	-13,0
2 tr golv	6811	-0,2	v ₁ =	-6,5	-4,5	-8,5	-5,5	-2,0	+9,0	+11,0	+19,0	+19,5	+21,5	+0,5	+1,5	+4,5	-4,0	-14,5	-5,0
1 tr tak	6770	+0,2	v ₁ =	-6,0	-7,0	-4,0	-5,0	+1,0	+6,0	+12,0	+17,0	+21,0	+14,5	-1,5	+7,0	+7,5	-1,0	-12,0	-3,0
1 tr golv	6443	+3,5	v ₁ =	-1,0	-5,0	-8,5	-14,0	+2,0	+5,5	+12,5	+8,5	+5,0	+12,5	-7,0	+4,0	-6,0	-14,5	-11,5	+5,0
Bv golv	6092	+7,0	v ₁ =	-4,5	-1,5	-7,0	-15,5	-0,5	-5,0	+8,0	+0,5	-2,0	+3,5	-0,5	+12,0	-3,5	-14,0	-3,0	+10,5

VÄSTER FASAD		Medelvärde av v (av mätvärden från norr och från söder) mm																	
		PELARE nr		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
nivå	+ cm	X	Y=	31,5	27,3	23,1	18,9	14,7	10,5	6,3	2,1	-2,1	-6,3	10,5	-14,7	-18,9	-23,1	-27,3	-31,5
3 tr Uk balk	7443	-7,2	v ₁ =	-24,5	-25,0	-3,5	-6,5	-8,0	-7,5	0,0	-1,0	+8,0	+14,5	+24,0	+13,5	+14,5	+1,0	+1,0	-24,0
3 tr golv	7181	-4,5	v ₁ =	-20,5	-21,0	-2,5	-4,0	-5,5	+2,5	+5,5	+2,0	+11,0	+14,0	+19,5	+2,5	+15,5	+2,5	-0,5	-24,0
2 tr golv	6810	-0,8	v ₁ =	-21,0	-16,5	0	0	+0,5	+7,5	+16,5	+11,5	+20,0	+13,5	+16,0	+1,5	+14,0	+1,0	-1,0	-30,0
1 tr golv	6448	+2,9	v ₁ =	-15,0	-7,5	-1,5	+12,0	+5,0	+10,0	+21,0	+17,5	+9,5	+14,0	+14,0	+1,5	+0,5	-3,0	-12,5	-28,5
Bv tak	6408	+3,3	v ₁ =	-12,5	-4,5	+0,5	+7,5	+7,5	+8,0	+21,0	+14,5	+5,5	+7,0	+7,5	+0,5	-6,0	-11,5	-17,5	-28,5
Bv golv	6097	+6,3	v ₁ =	-18,0	-5,0	-2,5	+14,5	+12,5	+14,5	+10,5	-7,5	-3,0	-9,5	+0,5	+9,0	-4,5	-6,5	-11,5	-31,5

Fasadernas avvikelser från planhet

Resultat från mätningar med två teodoliter.

Avvikelse från balansplan i enskilda mätpunkter (mm).

ÖSTER FASAD		v-värden (en mätning från station söder) mm																		
nivå	+ cm	PELARE nr	X	Y =	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3 tr Uk balk	7447	-6,5	v ₁ "		31,5	27,3	23,1	18,9	14,7	10,5	6,3	2,1	-2,1	-6,3	-10,5	-14,7	-18,9	-23,1	-27,3	-31,5
3 tr golv	7183	-3,9	v ₁ "		3,5	-11,0	-17,0	0,5	-4,0	14,5	6,0	9,5	19,0	11,5	4,0	2,5	-5,0	-9,5	-20,0	-10,5
2 tr golv	6811	-0,2	v ₁ "		-12,0	-10,5	-16,0	-7,5	0,0	11,5	13,0	10,5	19,5	17,0	-0,5	1,0	1,5	-7,0	-16,5	-2,0
1 tr tak	6770	+0,2	v ₁ "		-7,5	-10,5	-4,0	-5,5	2,0	5,5	15,0	18,5	25,0	15,5	-3,0	6,5	5,0	-2,5	-13,0	-3,5
1 tr golv	6443	+3,5	v ₁ "		0,5	-7,0	-8,5	-15,0	0,5	4,0	12,5	9,0	3,5	16,0	-6,5	5,0	-6,5	-13,0	-10,0	4,5
Bv golv	6092	+7,0	v ₁ "		-2,0	4,5	-6,0	-14,5	1,0	-2,5	8,0	-0,5	-2,0	2,5	-3,0	13,5	-1,0	-15,5	-2,5	14,0

R38:1970

Denna rapport avser projekt 5-229 inom Statens institut för byggnadsforskning. Arbetet har skett med anslag från Statens råd för byggnadsforskning

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Abonnemangsgrupp: p (produktion)**

Pris: 30 kronor