

# 48/68

Flemming Hansen & Åke Holmberg

DEFORMATION, SÄTTNING OCH SKADOR HOS LÅNGA HUS

Särtryck ur tidskriften Väg- och vattenbyggaren 8:1968

Rapport från Byggforskningen, Stockholm





betecknad abonnemang inom  
konstruktions- och materialområdet

Rapport 48: 1968  
UDK 69.059.2

## **Deformation, sättning och skador hos långa hus**

*Deformation, Setting and Damages in Long Buildings*

av civilingenjör Flemming Hansen och tekn. dr Åke Holmberg,  
Centerlöf & Holmberg AB, Lund

Särtryck ur Väg- och vattenbyggaren nr 8, 1968

Statens institut för byggnadsforskning · Box 27 163 · 102 52 Stockholm 27

---

Denna rapport utges enligt byggnadsforskningsrådet beslut med medel från fonden för byggnadsforskning;  
försäljningsintäkterna tillfaller fonden.

# Deformation, sättning och skador hos långa hus

Av Flemming Hansen\* - Åke Holmberg\*\*

## Inledning

Byggnad och mark, som regel med full kompatibilitet i kontaktytan, utgör under alla förhållanden ett höggradigt statiskt obestämt system. Med någon starkt förenklad beräkningsmodell kan det i isolerade fall behandlas enligt elasticitetsteorin. Som regel måste emellertid med dagens vetande beräkningsmodellen förenklas till innehållslöshet bl a därför att byggnad såväl som mark endast under mycket små påkänningar (eller deformationer) uppfylla rimliga krav på elasticitet. Också vid tillämpning av gränslastmetod måste ofta den ena komponentens deformation under last betraktas som en tvångsdeformation för den andra — ordinärt byggnaden.

Enligt den äldsta och ännu mest använda beräkningsmodellen är marken en vätska, i vilken byggnaden flyter. E Winkler [1] utvecklade år 1867 på grundval därav problemets lösning för det tvådimensionella fallet "balk på elastiskt underlag". H Hertz utvidgade år 1884 till det tredimensionella fallet.

En annan beräkningsmodell är det elastiska, isotropa och homogena halvrummet. J V Boussinesq [2] gjorde det år 1885 åtkomligt för kalkyl. År 1926 behandlade F Schleicher det tredimensionella fallet med en styv cirkulär platta. D L Holl behandlade år 1938 motsvarande problem med godtycklig böjstyvhet hos plattan.

För det fall att byggnadens skjuvdeformationer äro jämförliga med eller dominera över dess böjdeformationer finns en begränsad litteratur gällande flytande balkar. Så vitt känt för oss är med detta gränsen given för i dag åtkomliga, slutna matematiska beräkningsmodeller avseende byggnad och mark i samverkan. För marken själv liksom för byggnaden — eventuellt ålagd tvångsdeformationer enligt antagande eller föreskrift — är registret naturligtvis inte uttömt med det skildrade.

För en stor kategori av byggnader är således ett nöjaktigt underlag för en dimensioneringskalkyl re-

dan givet. De kunna måhända karakteriseras därav, att höjning dominerar deformationen. Några exempel: Spår och kranbanor på mark, fartygsbäddar, cisternfundament, beläggningar och byggnader med relativt små, separata och inbördes avlägsna fundament såsom broar och upplyfta kranbanor.

För ordinära hus är emellertid situationen en annan. De äro relativt höga, varvid skjuvdeformationerna bli betydande i relation till böjdeformationerna, då de förras tvärsnittskonstant innehåller höjden i första och de senares i tredje potensen. Tillika svara de illa mot varje balkhypotes, då de genom dörrar och fönster i hjärt- och fasadmurar eller genom frånvaron av styva tvärväggar ofta fungera som ramar, vilka som helhet nästan alltid ha skjuvdeformationerna dominerande.

Kort sagt: för ordinära hus saknas för varje väsentligt deformabel mark, även om denna är någorlunda likartad under hela byggnaden, en beräkningsmodell tillämplig på det totala systemet byggnad — mark. Markens tämligen grovt uppskattade deformation måste betraktas som husets tvångsdeformation. Husets hållfasthet, dess risk för funktionshämmande skada eller för utseendefel måste bedömas med ledning därav. För närvarande pågår erfarenhetsinsamling. Den följande framställningen avser en preliminär redovisning av en speciell sådan. Den bygger på studier, gjorda på byggnader tillhöriga Tekniska Högskolan i Lund (LTH) samt betalda av Kungl Byggnadsstyrelsen och Statens Råd för Byggnadsforskning. Den kompletteras i annat sammanhang av en apparatbeskrivning.

För program, observationer och bearbetning svarar Flemming Hansen. Åke Holmberg har deltagit i diskussioner och har medverket till denna rapport.

## Studieobjekt och observationsmetoder

Studien har gällt deformationsmätning, mätning av sättning i relation till yttre fasta element (fixpunkter) och inventering av skador hos sju huskroppar tillhöriga Tekniska Högskolan i Lund. Se tabell 1, som också visar studiens avsedda utsträckning i tiden.

\* Civilingenjör, Centerlöf & Holmberg AB

\*\* Tekn dr, Centerlöf & Holmberg AB

Hus \ År	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Matematik	○x	x ○	x	○ x	x	○x			
Elektrotekn	x ○	x○	x ○	x ○	x	○x			
Maskintekn	○x	○x	○ x	○ x	○ x	○x			
Arkitektur	x ○	x ○	x ○	x ○	x	○x			
Väg- o Vatten	○ x	○ ○ x○ ○	○ x ○	○ x ○	○ x	○x		○x	
Kemi II-III	○x	○ ○ x○ ○	○ x ○	○ x ○	○ x	○x	○x	○x	
Kemi IV		○ ○	○ ○ ○ x x x	○ x ○	○ x	○x	○x	x	○x

Tabell 1. Tidplan för studiet av deformation, sättning och skador hos sju huskroppar tillhöriga Tekniska Högskolan i Lund  
○ avser mätningstillfälle x avser sprickinventeringstillfälle

Tekniska Högskolan i Lund, LTH, [3] består av sex byggnader, Matematikcentrum med föreläsningssalar, Maskinteknik, Elektroteknik, Väg- och vattenbyggnad, Arkitektur och Kemicentrum, det senare uppdelat i flera huskroppar, varav här behandlas delen II—III och delen IV. Grundläggningen är inte enhetlig hos studerade hus, som eljest äro tämligen lika: fyra till sex våningar, längsgående bärande tegelväggar på betongkällare, i princip 1 fönster per ca 3 m, platsgjutna betongbjälklag och totala längder på ca 90—165 m utan dilatationsfogar.

Marken består inom hela området av kvartära avlagringar från två moräner med en mellanliggande störd avlagring av interglaciala sediment.

Den undre moränen, Nordostmoränen, är mycket hård och innehåller 20—30 % lera. Dess överyta är distinkt och betongpålar penetrera den vid rimlig slagning högst ca 0,5 m.

Den övre moränen, Baltiska moränen, har en mäktighet av ca 2—8 m. Dess lerhalt är 30—50 % och den innehåller rikligt av kalklera och flinta. Lagringen är som regel fast och skjuvhållfastheten, bestämd genom konprov, är ca 7—10 Mp/m<sup>2</sup>. Linser av grövre och mindre lerhaltigt material förekomma liksom linser av orsorterat material med högre lerhalt. Denna moräns underyta är diffus med inälat material.

För området mellan moränerna visa borrhprotokollet snabba växlingar mellan lager av varvig lera och lager av mo till sand. Lagrens mäktighet varierar inom hela området mellan 0—3 m.

De ha förkonsoliderats med 25—45 Mp/m<sup>2</sup>. Efter att ha bildats i interglaciära smältvattensjöar ha de ältats av isen och blivit veckade och skrynklade till upphävd kontinuitet. De föra dock vatten och påverka utan tvekan sättningsförloppet hos byggnaderna i trakten. Utan dem skulle vissa observerade oregelbundenheter i detta avseende sakna förklaring.

Mätningarna innebära intern jämförelse mellan höjdläget för fasta observationspunkter, väsentligen i källarmurarna och extern jämförelse mellan en punkt i vederbörande hus och någon fixpunkt. De kompletteras av sprickinventering i vissa valda våningar.

De interna mätningarna göras med ett instrument baserat på principen för kommunicerande kärl. Efter intrimning bedöms detta instrument nu visa fel med högst  $\pm 0,05$  mm. Dessa mätningar störas mest av allt för ringa hänsyn till observationspunkterna, som ibland utsätts för åverkan, varav en del svårigheter ha följt.

De externa mätningarna göras genom konventionell precisionsavvägning med ett fel av högst  $\pm 0,4$  mm. Svårigheten att etablera pålitliga och respekterade fixpunkter inom 50 à 60 m från husen undervärderades emellertid i början, varför några observationer ha gått förlorade.

Sprickinventeringen består i princip i att i modul för modul (à ca 3 m) summera bredden av i de längsgående murarna förekommande sprickor. Sprickbredden bestäms med skalmikroskop med en möjlighet att uppskatta 0,05 mm; dock har möjligheten att genom träning kalibrera observatören inte lämnats obeaktad.

Visserligen ha sådana sprickor (krakelering o dyl), som uppenbart sakna samband med husens krökning eller skjuvdeformation uteslutits från redovisningen. Dock rymmer denna naturligen en icke helt obetydlig del med krympning som orsak. Lägges till detta, att sprickor före målning förbli oobserverade är det uppenbart att sprickinventering av detta slag avslöjar endast sent inträffade flagranta skador, som endast i ringa omfattning äro att vänta i de aktuella husen.

Sättnings- och deformationsmätningarna förlöpa såtillvida gynnsammare, men också beträffande dem har någon svårighet legat i att få börja tidigt nog.

### Några definitioner och beteckningar

Horisontalprojektion av kontaktytan mellan mark och byggnad, se fig 1, indelas i smärre ytor, en kring varje punkt för sättningsobservation. Så långt rimligen möjligt sker denna indelning med rätta linjer i för ändamålet lämpliga riktningar, halverande de inbördes avstånden mellan punkterna och företrädesvis i ett rätvinkligt system.

En punkt väljs som referenspunkt och genom denna läggs ett horisontellt plan *A*, som följer den vid dess sättningspunkt och som intet annat är än ett beräkningshjälpmedel. Medelvärde av punkternas sättnings i relation till *A* med de enskilda värdenas givna vikt i proportion till delytornas storlek definierar ett nytt horisontalplan. Detta är *medelytan*. Vid deformationsmätningarna börjar sig medelytan i sin helhet i plan *A*.

Vid begynnande mätning av sättningsarna i relation till yttre, fasta element, fixpunkter, befinner sig plan *A* i nivå *B*. Medelytans sättnings i relation till denna är *s* och den maximala, hos någon punkt observerade sättnings är  $s_{max}$ .

Den maximala sättningsdifferensen inom en strimla är  $\Delta$ .

Differensen mellan sättningsarna för strimlans båda yttersta observationspunkter är *d*.

Observera att *s* avser den plana medelytan och  $s_{max}$  en punkt i den krökta ytan abstraherad ur den faktiska kontaktytan mellan mark och byggnad, båda i relation till nivå *B*, under det att *d* och  $\delta$  utan relation till nivå *B* avser den studerade strimlan.

Också storheterna *a*, *l* och  $\delta$  avser strimlan i den för studiet valda riktningen. Storleken av *l* och  $\delta$  väljs med hänsyn till vad som är lämpligt i det enskilda fallet och bestämmer i hög grad noggrannheten.

Sättnings räknas positiva neråt. Strimlor ha positiv riktning åt höger.

$\frac{d}{a} = v$  är *snedsättningen* hos strimlan.

$\frac{\delta}{l} = \psi$  är *lutningen* hos strimlan i det snedsatta systemet.

$\frac{I}{Q} = \frac{2(\psi_s - \psi_{s-1})}{l_{s-1} + l_s}$  är vid kontinuerligt varierande sättnings strimlans *krökning*.

### Redovisningsprinciper

I enlighet med en inom den publicerade geotekniken etablerad praxis redovisas deformationsmätningarna och sättningsmätningarna väsentligen enligt A W Skempton - D H MacDonald [8] med den maximala observerade snedsättningen hos någon strimla, *v*, med den maximala observerade lutningen i någon strimla,  $\psi_{max}$ , med den maximala observerade sättningsdifferensen inom någon strim-

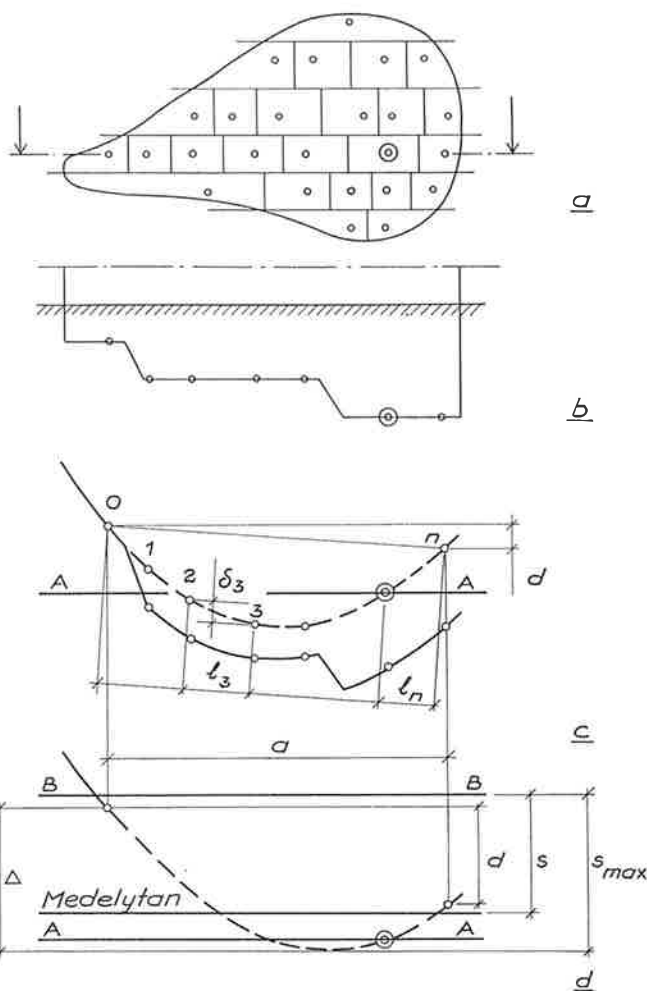


Fig 1. a. Överst horisontalprojektion av kontaktytan mellan byggnad och mark med observationspunkter och dessa tilldelade ytor, fördelade längs parallella strimlor. b. Därunder en strimla i vertikalsektorn med observationspunkterna visade nedförda till kontaktytan och bland dem den särskilt markerad, som definierar plan *A*. c. Strimlan i b efter deformation. Helt dragen linje visar den materiella deformationen och streckad linje den abstraktion, till vilken diskussionen och all analys knyts (observera, att källarmuren mellan observationspunkten och kontaktytan med marken har antagits vara inkompressibel). Koordinat-systemet för beskrivning av dess deformation är vridet med snedsättningen. Observera att strimlans längd anses vara avstånd mellan dess yttersta observationspunkter. d. Strimlan i b efter sättnings i relation till nivå *B*.

la,  $\Delta$ , med medelytans sättnings i relation till nivå *B*, *s*, med den maximala observerade sättnings i någon strimla i relation till nivå *B*,  $s_{max}$ . Även beteckningssystemet anknäver väsentligen till vad som i dag är gängse, även om detta inte är helt rationellt.

Sovjetiska normer må exemplifiera i synnerhet den utvecklade typ av föreskrift, som utöver att säkerställa en minimal standard är att betrakta som upphandlingsspecifikation. De reglerar  $s_{max}$  och  $\psi_{max}$  med någon uppdelning med hänsyn till för-

hållandena. Andra normer eller förslag till normer behandla  $\Delta$ . Krökningen,  $\rho$ , regleras veterligt endast i undantagsfall, se dock S. Rosenhaupt [4]. Här behandlas den endast flyktigt, då den dels skulle bli ytterst oskarp som differensen mellan två tal med fel i differensens storleksordning dels uppenbart skulle bli helt formell genom att referera till en icke pålitligt kontinuerlig funktion.

Angående redovisningsprinciperna hänvisas här till utöver en aktuell, sammanfattande lärobok av K Széchy [5] till bl a V V Mikhejev m fl [6] och N A Tsytoovich [7].

Skempton och MacDonald, anger sambandet

$$s_{\max} = L \frac{2 \Delta}{a}$$

som utan övertygande motivering övergår i

$$s_{\max} = L_1 \cdot \psi_{\max},$$

där  $L_1$  är en sträcka, som beroende av markbeskaffenheten varierar mellan ca 2,5 och 5,0 m och

$$\Delta = L_2 \cdot \psi_{\max},$$

där  $L_2$  varierar mellan ca 1,5 och 2,5 m.

Huruvida linjärt samband verkligen råder mellan  $\psi_{\max}$  och såväl  $s_{\max}$  som  $\frac{\Delta}{a}$  må vara en öppen fråga.

Hittills erhållna resultat jämförda med gängse skadekriterier

Studiernas resultat vid årsskiftet 1967—68 visas i sammandrag i tabellerna 2 och 3. Härutöver föreligger en detaljredovisning, som inte tynger denna

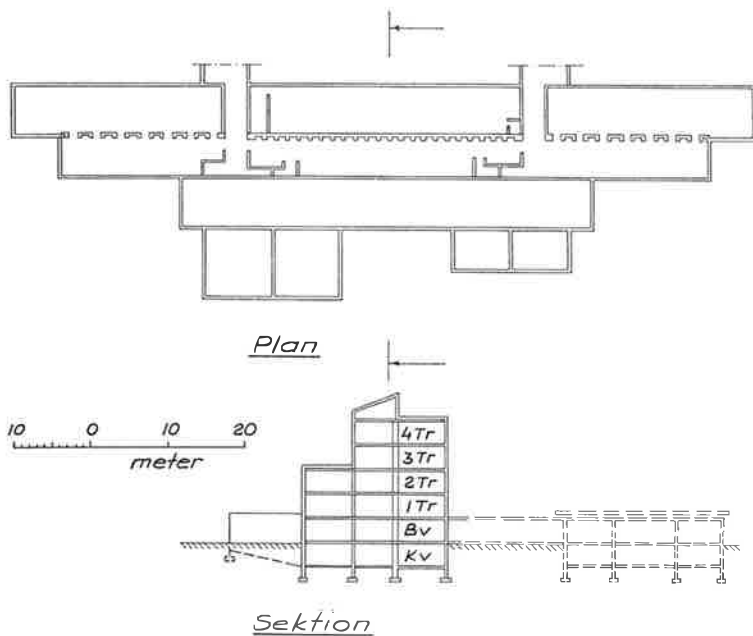


Fig 2. Byggnaden för Arkitektur vid Tekniska Högskolan i Lund i de delar, som berörs av här skildrade studier

framställning, men som kan rekvideras av de eventuellt intresserade [9].

Husen äro, som nämnt, tämligen lika. Den studerade delen av dem exemplifieras i figur 2 av Arkitektur med fyra längsgående bärande murar, A—D. Dessa murar representera de primärt studerade strimlorna.

Samtliga hus ha en tydlig snedsättning med konsekvent störst sättning i den del, där byggnadsarbetet våning för våning har börjat, m a o, där laster ha verkat längst och där styvheten har blivit tidigast etablerad.

Maximal lutning utmed murarna är 0,00045, vilket erfarenhetsmässigt är ofarligt för denna typ av byggnad. Se Mikhejev m fl [6]. Tvärs murarna är maximal lutning 0,00134. Till denna skall i det aktuella fallet läggas lutningar i bjälklagen mellan murarna.

Denna deformation borde ha lett till skada, om inte tvärväggarna med avsikt hade gjorts skjувveka. De bestå nu av stående lättbetongplank fogade med skumgummilister.

Tabell 2. Sammandrag av sättnings- och deformationsobservationer intill årsskiftet 1967—68 för fyra av de i tabell 1 angivna husen.

<sup>1</sup> De längre pålarna i husets södra ände.

<sup>2</sup> Sulor i den södra och pålar i den norra änden.

Observera att för Matematik och Elektroteknik  $s$  och  $s_{\max}$  inte ha någon relation till övriga storheter eftersom gällande externa mätningar ha påbörjats senare än interna

Hus	Mur	Pålar		Sulor $s_{\max}$ Mpl/m <sup>2</sup>	1000v	1000v $s_{\max}$	$\Delta$ mm	s mm	$s_{\max}$ mm	
		Detaljer	Längd m							
Matematik	A	280 slakarm bit 30 Mplst 0,9 m $\leq$ c/c $\leq$ 3,0 m	3,0-7,2	2,5 <sup>2</sup>	0,08	0,34	9,2	0,6	4,7	
	B		2,5-6,4		0,05	0,29	7,7		4,0	
	C		2,0-5,5		-0,02	0,19	3,6		2,2	
	E		2,7-5,7		0,11	0,56	4,8		2,3	
	Sekt					-0,78 +0,63	0,98		9,2 $\Delta_{\max}$	
Elektroteknik	A	280 slakarm bit 30 Mplst 0,9 m $\leq$ c/c $\leq$ 3,0 m	8,3-9,3	2,5 <sup>2</sup>	0,02	0,38	4,6	2,2	3,0	
	B		6,3-8,8		0,06	0,21	9,4		6,7	
	C		4,0-5,0		0,04	0,20	5,5		4,7	
	D		6,8-9,4		0,03	0,48	4,8		3,2	
	Sekt					-0,21 0,18	0,92		9,4 $\Delta_{\max}$	
Arkitektur	A	280 slakarm bit 30 Mplst 0,9 m $\leq$ c/c $\leq$ 3,0 m	20	2,5 <sup>2</sup>	0,10	0,18	6,2	4,5	6,9	
	B				0,04	0,28	6,2		7,1	
	C				0,03	0,26	4,7		7,2	
	D				0,03	0,45	6,4		7,6	
	Sekt						-0,12 +0,12		1,34	6,5 $\Delta_{\max}$
Maskinteknik	A	280 slakarm bit 30 Mplst 0,9 m $\leq$ c/c $\leq$ 3,0 m	2,5 <sup>2</sup>	2,5 <sup>2</sup>	0,08	0,08	4,8	8,0	8,9	
	B				8,0-9,3	0,01	0,24		6,8	11,1
	C				11,7-12,5	0,18	0,20		3,6	11,3
	D				8,8-10,8	0,07	0,10		5,7	11,2
	Sekt						-0,05 0,40		0,44	7,0 $\Delta_{\max}$

Hus	Mur	Våningar $\bar{a}$ 3,2m	Moduler $\bar{a}$ 3,0m	Våningsbeteckn	Sprickor			Hus	Mur	Våningar $\bar{a}$ 3,2m	Moduler $\bar{a}$ 3,0m	Våningsbeteckn	Sprickor		
					Totaltal	$\Sigma$ -Bredd i mm							Totaltal	$\Sigma$ -Bredd i mm	
Matematik	A	4	22	2Tr	15	0,7	0	A	4	18	2Tr	0	0	0	
					Kv	22							1,9	Kv	22
	B	6	36	4Tr	0	0	6	B	6	28	4Tr	6	0,8		
					Kv	35							6,5	Kv	34
	C	6	36	4Tr	4	0,4	1	C	7	32	4Tr	1	0,1		
					Kv	14							2,4	Kv	26
	E	4	18	2Tr	3	0,1	1	D	6	32	4Tr	1	0,1		
					Kv	5							1,7	Kv	82
Elektroteknik	A	4	20	2Tr	0	0	0	A	4	20	2Tr	0	0		
					Kv	9							2,1	Kv	9
	B	6	32	4Tr	5	0,8	1	B	6	40	4Tr	1	0,1		
					Kv	21							6,7	Kv	22
	C	6	36	4Tr	5	0,4	0	C	7	40	4Tr	0	0		
					Kv	17							4,2	Kv	20
	D	6	36	4Tr	1	0,1	1	D	6	32	4Tr	1	0,1		
					Kv	13							2,5	Kv	36

Tabell 3. Sammandrag av sprickbreddsobservationer intill årsskiftet 1967-68 för husen i tabell 2

En detalj av särskilt intresse bjuder Elektroteknik. I mur D finns ett genombrott med dess halva höjd. På ömse sidor därom, med det inbördes avståndet 3 m, äro observationspunkter placerade. Inom sträckan har hittills  $\psi$  varierat mellan  $-0,00020$  och  $+0,00080$  och är för närvarande ca  $+0,00050$ . Några skador i anslutning därtill ha inte iakttagits. Förklaringen må vara, att maximal deformation inträffade, innan murarna hade fått slutlig styvhet.

Utöver att illustrera en utebliven skada visar denna detaljmätning tydligare än övriga hur oregelbundna husets deformationer och rörelser äro under dess första tid, när det ännu inte är styvt och då marken söker sitt nya viloläge efter schaktning med avlastning, ny pålastning och måhända ändrad dränering. Liknande observationer redovisas av bl a T W Lambe [10].

Maskinteknik visar av husen i tabell 2 de lägsta värdena  $\psi_{\max}$ , oaktat huset har en blandad grundläggning. Måhända är detta den avsedda följden av att skyddsrummet har placerats och utformats till att hindra den befärade stora skjuvdeformationen, lutningen.

Sprickinventeringen enligt tabell 3 visar några omständigheter av intresse.

Summasprickbredden är alltid större i källaren än längre upp. Företeelsen är av oss iakttagen också på andra relativt långa hus av hela annan karaktär, bostadshus med fasader av rumsstora, monterade sandwichelement av betong. Detta tyder på, att krökningen har en större betydelse för skadebilden än enligt gängse betraktelsesätt med  $\psi$  som dominerande skadekriterium.

En liknande slutsats kan måhända dras av att ingen korrelation finnes mellan  $\psi_{\max}$  i vederbörande strimla och summasprickbredden per längdenhet av strimlan.

Här påpekas emellertid ånyo dels att sprickobservationerna ha börjat sent och ännu ha pågått endast en relativt kort tid dels att sprickningen är absolut ringa och därför ger mycket begränsade besked.

Observationerna fortsätta enligt tabell 1. Störst intresse knyter sig till Kemicentrums skilda delar, som dels ha kommit relativt tidigt under observation dels genom att ha igångsatts vid skilda tillfällen ge en möjlighet till studium av den inbördes påverkan.

#### LITTERATUR

- [1] *Winkler, E*: Die Lehre von der Elasticität und Festigkeit, Prag 1867.
- [2] *Boussinesq, J V*: Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques, Paris 1885.
- [3] Kungl Byggnadsstyrelsen: Tekniska Högskolan i Lund, Stockholm 1965.
- [4] *Rosenhaupt, S*: Tolerance of Structures to Settlements, Proc ASCE, Soil Mech and Found. Div, Vol 91, May 1965.
- [5] *Széchy, K*: Alapozás. I. Kötet: Az általaj mint szerkezeti anyag, andra upplagan, Budapest 1957 (tysk översättning, Der Grundbau, Wien 1963).
- [6] *Mikkejev, V V, Polshin, D E, Tokar, R A, Ushkalov, V P*: Foundation Design in the USSR, Fifth Int Conf on Soil Mech and Found Eng, London 1961.
- [7] *Tsytoich, N A*: General Report on Foundations of Structures — General Subjects of Theory and Practice of Foundations Engineering on Natural Soils, Fourth Int Conf on Soil Mech and Found Eng, London 1961.
- [8] *Skempton, A W, Mac Donald, D H*: The Allowable Settlements of Buildings, Proc Inst Civ Eng, London 1956.
- [9] Statens Råd för Byggnadsforskning, Linnégatan 81, 114 60 Stockholm: Detaljredovisning 1953 av forskningsuppdrag C 301.
- [10] *Lambe, T W*: The Behaviour of Foundations During Construction, Proc ASCE, Soil Mech and Found Div, Jan 1968.