

# Beregning af vægssystemer i skivebygninger

En vejledning i opstilling af konstruktionsmodeller for afstivende vægssystemer, udsat for vandret og lodret last, med henblik på beregning med forskydningslagmetoden, f. eks. i form af edb-programmet SHEWALS

---

## Analysis of Shear Wall Systems

A guide to the setting up of theoretical structural models for bracing wall systems, exposed to horizontal and vertical load, with reference to analysis by the Continuous Shear Connection Method, e. g. in the form of the computer program SHEWALS

*Danish Text with an English Summary*

**MOGENS BUHELT og KLAUS FEILBERG HANSEN**



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
SBI-RAPPORT 91 · KØBENHAVN 1974

KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

## SBI-rapporter

er beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af instituttet, referater af byggetekniske møder afholdt af instituttet m. m. Priserne er incl. moms.

- 1 Økonomisk varmeisolering. Economical Heat Insulation. Poul Becher. 1949. 2. udgave 1950. 64 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 2 Gymnastiksales akustik. Acoustics of Gymnasias. Poul Becher. 1950. 4 p. A4. Danish text with a brief English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 3 The Non-Destructive Testing of Concrete with Special Reference to the Wave-Velocity Methods. Johs. Andersen, Poul Nerenst and Niels Munk Plum. 1950. 80 p. A4. In English. (Udsolgt. Out of print).
- 4 Testing of 11 Danish Concrete Mixers. Johs. Andersen, Per Bredsdorff, Niels H. Krarup, K. Malmstedt-Andersen, Poul Nerenst and Niels Munk Plum. 1951. 236 p. A4. In English. (Udsolgt. Out of print).
- 5 Sammenlignende undersøgelse af træ- og stålstilladser til husbygning. Wooden and Steel Scaffolding for Building Construction. Niels H. Krarup. 1951. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 6 Vinterbyggeri, forsøg afholdt af Statens Byggeforskningsinstitut i årene 1947-50. Winter Construction. Experiments made by the Danish Building Research Institute in 1947-50. Niels Munk Plum. 1951. 108 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 7 Dæk og huse. Floor Constructions and Houses. Niels Munk Plum. 1952. 1. del: Tekst, 178 p. 2. del: Figurer, 46 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 8 Trinlyd i beboelsesejendomme. Impach Sound in Dwellings. Fritz Ingerslev og V. E. B. Ranfelt. 1952. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 9 Tapet, rullelængde og rapportantal. Wallpaper, the Length of Roll and Number of Matches. Philip Arctander og Henry F. Holm. 1952. 64 p. A4. Danish text, partly also in English. (Udsolgt. Out of print).
- 10 Trommelyd, undersøgelser over støj fra gulve. Drum Noise from Floors. F. Larris. 1952. 28 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 11 Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri. Mortar Admixtures for Winter Construction. Henry Dührkop. 1953. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 12 Luftlyd i beboelsesejendomme. Airborne Sound in Dwellings. Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 13 Byggetiden ved 10 eenfamiliehuse. The Construction Time of 10 Detached Houses. 1956. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 14 Prøvning af tre kontinuerlige betonblandere. Testing of Three Continuous Concrete Mixers. Per Bredsdorff, Johannes Landbo, Poul Nerenst og Niels Munk Plum. 1956. 146 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 15 Trægitterspærfag til parcel- og rækkehusbyggeri. Roof Framing for Detached and Attached Houses. 1956. 38 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 16 Nyere etageboligplaner. Plantypekatalog og forslag til planvurdering. Contemporary Plans of Flats. A Catalogue of Plans with Suggested Criteria for Comparative Evaluation. Aage Dalgas Rasmussen og Finn Vedel-Petersen. 1956. 92 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 32,20.
- 17 Projekterede spisepladser i etagehuse. Dining Areas in Flats. Grethe Meyer. 1956. 126 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 18 Økonomisk rørisolering. Economic Pipe Insulation. Poul Becher og Kristian Engelsen. 1957. 94 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 19 Problemer vedrørende installation og drift af oliefyrringsanlæg. Problems Concerning Installation and Operation of Oil-Fired Central Heating Boilers. Otto Juel Jørgensen og Frederik Olsen. 1957. 42 p. A4. Kr. 13,80.
- 20 El-installationer i boligbyggeri. Electrical Installations in House Building. H. Justesen. 1957. 26 p. A4. Kr. 9,20.
- 21 Fejl og mangler ved betonelementer i montagebyggeri. Defects and Drawbacks of Concrete Units in Prefabricated Buildings. B. J. Rambøll. 1957. 24 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 22 Økonomisk rørdimensionering ved centralvarmeanlæg. Economical Dimensioning of Pipes for Central Heating Systems. Poul W. Marke. 1957. 82 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 23 Akustiske problemer i skolebygninger. Acoustics in School Buildings. Fritz Ingerslev, Jørgen Petersen og Jørgen Kristensen. 1957. 46 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 24 Pudsfri beton. Plaster-free Concrete. V. Galløe. 1958. 34 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 9,20.
- 25 Korrosionsproblemer i byggeriet. Corrosion Problems in Building. H. H. Arup. 1958. 24 p. A4. Kr. 9,20.
- 26 Anlægsudgifter ved centraliserede og decentraliserede opvarmningsanlæg. The Investments at Centralized and Decentralized Hot-Water Heating Systems. Kristian Engelsen. 1958. 36 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 13,80.
- 27 Det lille enfamiliehus. Planeksempler og vejledning i planudformning. The Small Single-Family House. Plan Examples and Guiding Lines. Ole Dybbroe og Grethe Meyer. 1959. 152 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 28 Om tegls frostfasthed. En litteraturgennemgang. On Frost Resistance of Tiles. A Survey of Literature. Jørn Jessing og H. P. Nielsen. 1958. 12 p. A4. Bilag: 20 ark A4 med ialt 160 kartotekskort. Supplement: 20 sheets, size A4, with 160 index cards. Separate translation in German and French. Kr. 18,40.
- 29 Problemer ved licitations- og udførelsesgrundlaget for beton- og jernbetonarbejder. Problems Relating to the Conditions and Specifications for Tenders of Concrete and Reinforced Concrete Work. R. A. Larsen. 1958. 20 p. A4. Kr. 4,60.
- 30 Træskeletvæggen som ydervæg i lavt boligbyggeri. Timber Frame Walls as Load-Bearing Exterior Walls in One Storey Houses. Jørgen Bryrup. 1958. 108 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 31 Brandtekniske forsøg med entredøre. Testing of Fire-Resisting Front Doors. Gerhard Hansen og H. Winckelmann. 1959. 18 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 9,20.
- 32 Beregning af bærende konstruktioner ved hjælp af elektronisk cifferregnemaskine. 1. Plane konstruktioner sammensat af lige stænger. Analysis of Loadbearing Structures by Means of Electronic Digital Computer. 1. Two-Dimensional Structures Composed of Straight Members. V. Galløe. 1959. 68 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 33 Forsøg med større centralvarmekedel i Stationsparken. Test on a Boiler in a Central Heating Plant. P. Olufsen og Poul H. Rasmussen. 1959. 54 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).

UDK 624.072.1:624.048:681.3.01  
69.022:624.012.41.001.57

# Beregning af vægssystemer i skivebygninger

En vejledning i opstilling af konstruktionsmodeller for afstivende vægssystemer, udsat for vandret og lodret last, med henblik på beregning med forskydningslagmetoden, f. eks. i form af edb-programmet SHEWALS

## Analysis of Shear Wall Systems

A guide to the setting up of theoretical structural models for bracing wall systems, exposed to horizontal and vertical load, with reference to analysis by the Continuous Shear Connection Method, e. g. in the form of the computer program SHEWALS

Danish Text with an English Summary

MOGENS BUHELT og KLAUS FEILBERG HANSEN



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT  
SBI-RAPPORT 91 · KØBENHAVN 1974

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

## INDHOLD

1. Baggrund og formål .....	5
2. Konstruktionsmodel og beregningsmetode.....	11
3. Beskrivelse af konstruktionsmodellen .....	15
4. Beskrivelse af forskydningslagmetoden .....	17
5. Modifikationer til forskydningslagmetoden .....	23
5.1 Dørbjælkens stivheds- og indspændingsforhold ....	25
5.2 Delvægsgeometri .....	35
6. Metodens anvendelse på en bygning .....	41
6.1 Valg af konstruktionsmodel .....	41
6.2 Lave bygninger. Store udsparinger i dæk .....	47
6.3 Dørbjælker og fuger .....	57
6.4 Vægges indbyrdes samvirken .....	63
6.5 Efterkontrol .....	69
7. Litteraturhenvisninger .....	71
8. Summary .....	75

## Bilag I. Grundlaget for udarbejdelsen af diagrammerne i afsnit 5.1.

I.1	S-krumningstillæg .....	I.1
I.2	Tillæg for lokale deformationer .....	I.11
I.3	Litteratur .....	I.27

## Bilag II. Modelforsøg, udført af SBI.

II.1	Formål .....	II.1
II.2	Modelbeskrivelse .....	II.5
II.3	Forsøgsbeskrivelse .....	II.7
II.4	Forsøgsresultater .....	II.9
II.5	Vurdering og konklusion .....	II.19
II.6	Litteratur .....	II.27

## Bilag III. Oversigt over resultater af modelforsøg med plane vægge med hulrækker.

III.1	Indledning .....	III.1
III.2	Forsøgsdata og resultater .....	III.1
III.3	Oversigt over modellernes geometriske og fysiske data .....	III.26
III.4	Konklusioner .....	III.29

## Bilag IV. Udledning af forskydningslagmetodens formler for en plan væg med en hulrække og kun vandret last .....

IV.1

Eftertryk tilladt, men kun med kildeangivelsen: Beregning af vægssystemer i skivebygninger. SBI-rapport 91 (1974).

ISBN 87 563 0166 9

## 1. BAGGRUND OG FORMÅL

Denne rapport refererer til beregning med forskydningslagmetoden af snitkræfter og spændinger i afstivende vægsystemer, udsat for lodret og vandret last.

Et afstivende system defineres som den del af en bygnings bærende konstruktion, der optager den vandrette last (vindlast, massekræfter m.v.).

I en bygning med bærende tværvægge består det afstivende system således normalt af alle bærende tværvægge og en del af længdevæggene.

En afstivende væg regnes normalt indspændt i fundamentet. I simple tilfælde kan væggen betragtes som en udkraget bjælke og beregnes efter den tekniske bjælketeori. Imidlertid er tilfælde i praksis sjældent simple. Almindeligt forekommende vanskeligheder er, at en væg kan være gennemhullet af f.eks. døråbninger eller svækket af lodrette fuger, og at den enkelte væg normalt samvirker med andre vægge.

Løsningen på disse problemer er i mange tilfælde at anvende den såkaldte forskydningslagmetode (også kaldet Beck's, Rosmans eller Erikssons metode, das Lamellenverfahren, the continuous shear connection method osv.). Navnet refererer til metodens grundlæggende ide: En væg med en lodret række ens huller med ens afstand betragtes som to vægge, der er indbyrdes forbundne med en række bjælker, altså et mange gange statisk ubestemt system. Disse bjælker erstattes regningsmæssigt med et såkaldt forskydningslag, dvs. et kontinuert lag, der forbinder de to vægge og som - set over en etage - har samme stivhed som bjælkerne. Herved opnås store beregningsmæssige lettelser.

Tilsvarende er vægge i forskellige lodrette planer normalt indbyrdes forbundne ved hjælp af dækkene, igen et mange gange statisk ubestemt system. Også i denne situation opnås store beregningsmæssige lettelser ved at erstatte dækkene med et kontinuert virkende medium.

Forskydningslagmetoden er i øvrigt baseret på en antagelse om idealelastiske materialer. Dette medfører bl.a., at metoden ikke kan anvendes, hvis der forekommer trækrevner i væggene. I bygninger, hvor den lodrette last hovedsageligt føres til fundamentene gennem bjælker og søjler, mens den vandrette last optages af nogle få afstivende vægge, er den vandrette last på disse vægge ofte så stor i forhold til den lodrette, at der kommer trækspændinger. Med de i dag anvendte byggematerialer er dette - i hvert fald regningsmæssigt - ensbetydende med trækrevner. Forskydningslagmetoden kan altså ikke benyttes i disse tilfælde.

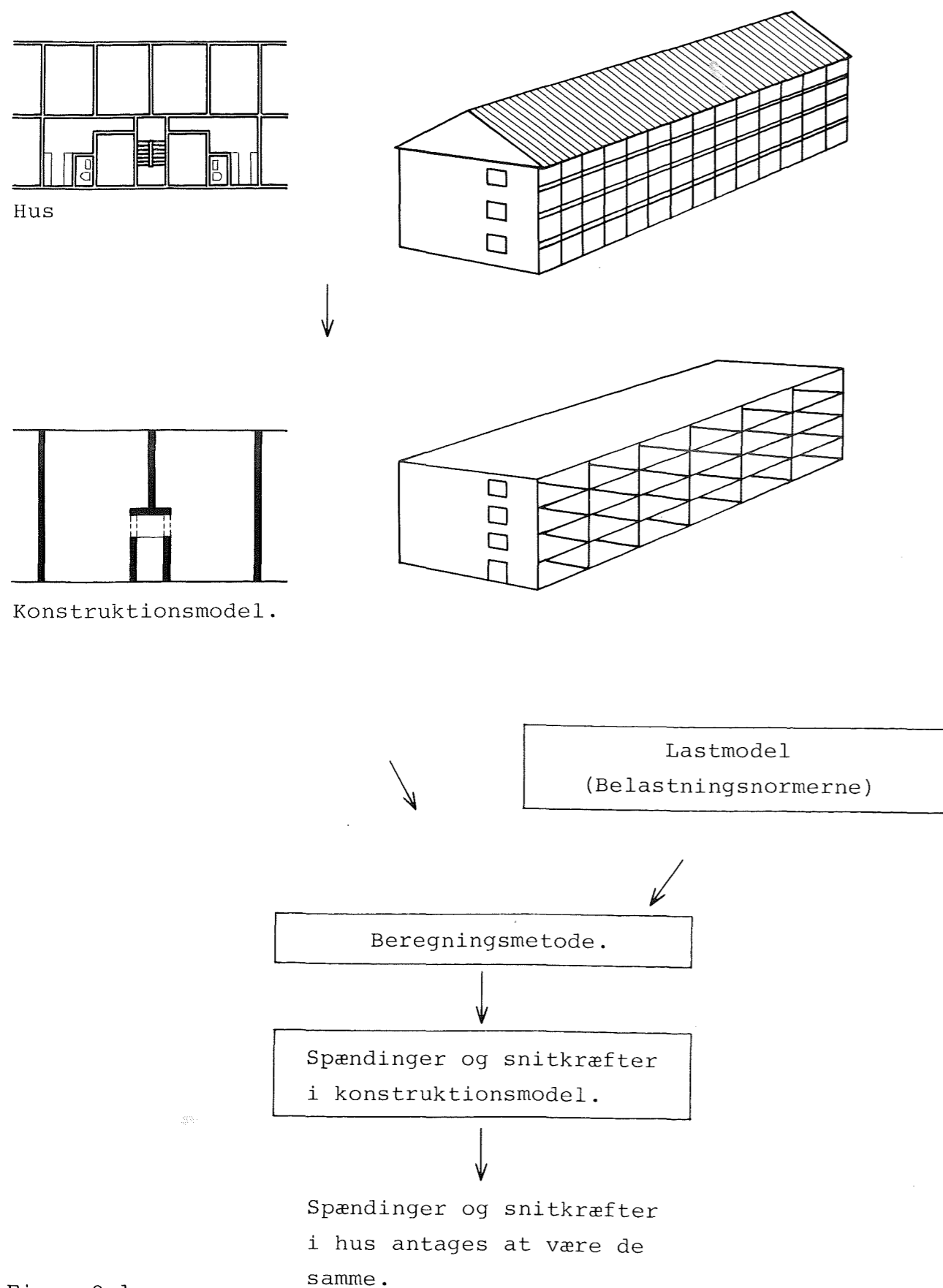
En anden begrænsning er, at metoden kun kan benyttes på bygninger, der er ens i hver etage.

Metoden er da også først og fremmest blevet anvendt til dimensionering af traditionelt udformede boligblokke og tilsvarende bygninger. Den blev bl.a. anvendt ved beregningen af de 16-etagers blokke i Høje Gladsaxe.

Så vidt vides blev metoden første gang beskrevet af L. Chitty i 1947-1948, se (1) og (2). Siden er der skrevet en mængde artikler om metoden, dens anvendelser og modifikationer. I den første tid omhandlede disse artikler kun metodens anvendelse på plane vægge med een eller flere hulrækker, idet kun dørbjælkerne erstattedes med forskydningslag. Senere kom man ind på at behandle dækkene på tilsvarende måde, således at også rumlige vægssystemer kunne behandles. Metoden introduceredes i Danmark i 1961 af Owe Eriksson se (3). Erikssons artikel omhandlede kun beregning af plane vægge med een eller flere hulrækker.

Manuel beregning ved hjælp af metoden er kun overkommelig i ganske simple tilfælde, som f.eks. plane vægge med een hulrække eller med to symmetrisk anbragte, ens hulrækker. Hvis man vil anvende metoden på andre vægge eller på vægssystemer, må man ty til elektronisk databehandling. Her kan man f.eks. anvende edb-programmet SHEWALS, som er udviklet af SBI, se (4).

Nærværende rapport henvender sig især til brugere af SHEWALS. Rapportens formål er at vejlede ved opstillingen af den konstruktionsmodel, man skal regne på, mens brugervejledningens (4) formål er at vejlede ved omsætningen fra denne konstruktionsmodel til færdighullede inddata.



Figur 2.1  
Proceduren ved statisk beregning af et hus.

## 2. KONSTRUKTIONSMODEL OG BEREGNINGSMETODE

Den statiske beregning af ethvert hus starter med, at der opstilles en konstruktionsmodel, dvs. man definerer husets bærende system, som f.eks. kan bestå af konstruktionselementer som plader, bjælker, søjler, skiver samt af forskellige former for understøtninger og samlinger. Konstruktionsmodellen er ingeniørens billede af den bærende konstruktion.

Dernæst vælger man en beregningsmetode. I sammenhæng hermed må man ofte gøre forskellige antagelser udover de, der førte frem til konstruktionsmodellen. Eksempelvis kan man antage, at visse konstruktionselementer er lineærelastiske, og at andre er helt stive, man kan antage, at plane snit forbliver plane, osv. Til enhver beregningsmetode hører der normalt et bestemt sæt af sådanne antagelser, og i valget af beregningsmetode indgår derfor en vurdering af, hvilke antagelser man vil acceptere.

Ingeniøren må altså i princippet foretage to valg, nemlig valg af konstruktionsmodel og valg af beregningsmetode med tilhørende antagelser. I praksis foretages disse to valg ofte mere eller mindre sideløbende. Beregningsmetoden begrænser ofte valgmulighederne for konstruktionsmodellen, og ofte vælges beregningsmetoden på grundlag af erfaringer fra tilsvarende projekter.

Der kan være grund til at understrege, at selvom der foreligger et konkret hus, og beregningsmetoden er valgt, så er den rimeligste konstruktionsmodel ikke dermed umiddelbart givet. For eksempel kan der for belastningstilfældet vandret last i en given retning være tvivl om, hvor store dele af de vægge, som er vinkelrette på belastningsretningen, der skal regnes med som flanger på de vægge, som er parallelle med belastningsretningen.

For en skivebygning består konstruktionsmodellen groft sagt af et antal lodrette og vandrette skiver (vægge og dæk), der er koblet sammen ved vinkelsamlinger og dørbjælker. Forskydnings-

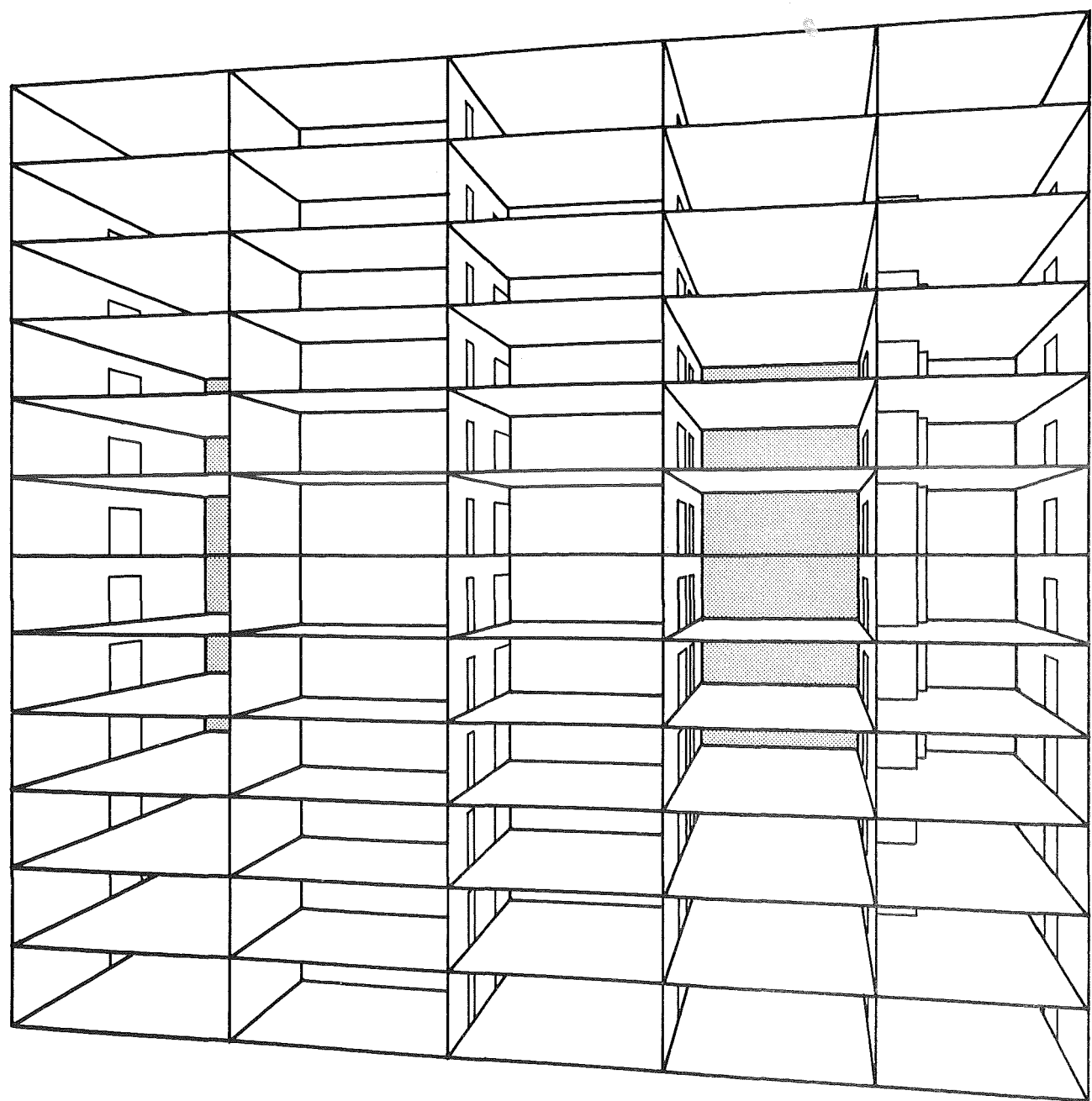
lagmetoden og det tilsvarende edb-program SHEWALS repræsenterer een af de metoder, der kan anvendes på en sådan konstruktionsmodel.

Denne rapport er af praktiske grunde opbygget således, at først beskrives forskydningslagmetoden og SHEWALS som et værktøj til bestemmelse af spændinger i en given konstruktionsmodel (kap. 3, 4 og 5), og derefter diskuteres valget af konstruktionsmodel (kap. 6) ud fra de muligheder, forskydningslagmetoden giver.

Beskrivelsen af metoden omfatter en beskrivelse af, hvilke typer konstruktionsmodeller, metoden kan anvendes på (kap. 3), en kortfattet redegørelse for metodens princip og antagelser (kap. 4), samt en anvisning på visse korrektioner, som kompenserer for virkningen af nogle af de antagelser, der knytter sig til metoden (kap. 5).

Endvidere er rapporten forsynet med 4 bilag, som indeholder supplerende dokumentation til rapportens primære del. Bilag I indeholder en udredning af de korrektionsregler, som opstilles i afsnit 5.1. Bilag II og III rapporterer nogle modelforsøg, som bekræfter forskydningslagmetodens godhed i det plane tilfælde. Bilag IV viser til orientering, hvorledes metodens formelsæt kan udledes i et meget simpelt tilfælde.





Figur 3.1  
Et eksempel på et afstivende vægssystem, som kan beregnes ved hjælp af SHEWALS.

### 3. BESKRIVELSE AF KONSTRUKTIONSMODELLEN

Forskydningslagmetoden - i den version, som repræsenteres af edb-programmet SHEWALS - kan anvendes til beregning af snitkræfter, spændinger og udbøjninger i konstruktionsmodeller, der kan karakteriseres som afstivende vægssystemer iflg. nedenstående beskrivelse.

Et eksempel på et afstivende vægssystem i denne rapport's betydning er vist på figur 3.1. Det består af et antal rektangulære, lodrette skiver (vægge) med samme højde og et antal vandrette skiver (dæk), som skal forbinde alle vægskiverne. Alle væggene skal langs deres underside være indspændt i eet og samme vandrette plan (fundamentsplanet), og deres symmetriplaner skal udgøre et ortogonalt sæt af planer. To på hinanden vinkelrette vægge som skærer hinanden i en ret linie kan være stift forbundne langs denne linie.

Hver væg kan være gennembrudt af en eller flere lodrette rækker af huller kaldet hulrækker, og af en eller flere lodrette gennemgående elastiske fuger.

De enkelte huller i en hulrække skal have form som rektangler med sider parallelle med den tilhørende vægs sider. Alle hullerne i en hulrække skal være lige store og placeret ensartet og ækvidistant i hele væggen's højde.

De vægdele, som adskiller hullerne i en hulrække kaldes dørbjælker. Alle dørbjælkerne i en hulrække har samme højde og længde, og skal også have samme tykkelse.

De plane hushøje vægdele, som afgrænses af dørrækker, fuger og vægkanter, kaldes delvægge. En delvæg er rektangulær og skal have konstant tykkelse.

Dækkene skal være placeret ækvidistant i hele vægssystemets højde.

Påvirkningen på vægssystemet kan bestå af alle former for statisk last.

#### 4. BESKRIVELSE AF FORSKYDNINGSLAGMETODEN

Når forskydningslagmetoden anvendes på et afstivende vægssystem antages følgende:

1. Delvæggens stivhed overfor kræfter virkende i deres egen plan kan beregnes efter den tekniske bjælketeorier med hensyntagen til momenter og normalkræfters bidrag til deformationerne. Overfor kræfter virkende vinkelret på delvæggens symmetriplan kan delvæggene regnes helt slappe.
2. Dørbjælkerne kan beregnes efter den tekniske bjælketeorier med hensyntagen til momenter og forskydningskræfters bidrag til deformationerne. Overfor normalkræfter kan dørbjælkerne derimod regnes helt stive.
3. Dækkene kan regnes helt stive overfor kræfter virkende i deres egen plan, og helt slappe overfor kræfter, som virker vinkelret på denne.
4. Dørbjælkerne, som er elastisk indspændte i delvæggene, kan regnes fast indspændte, idet deres regningsmæssige længde korrigeres.
5. virkningerne af dørbjælkerne og dækkene, som er placeret i bestemte niveauer, kan regnes fordelt over hele vægsystemets højde som funktioner af afstanden fra vægsystemets top.

Teorien for forskydningslagmetoden er beskrevet flere steder i litteraturen, bl.a. i (3) og (5). Som illustration er metoden beskrevet i bilag IV for en væg med en række døråbninger. Her skal blot skitseres en mulig måde at udlede metodens formler på i det generelle tilfælde.

Kraftmetodens princip anvendes. Der lægges lodrette snit i alle lodrette fuger og midt i alle hulrækker. Endvidere snittes dækket i hver etage fri af delvæggene. Efter at dørbjælker-

nes og dækkenes virkninger er fordelt som ovenfor beskrevet, er de overtallige:

- en lodret forskydningskraft pr. længdeenhed i hver fuge og hulrække.
- de vandrette forskydningskræfter, som hver delvæg påvirker dækkene med.

Hver af de overtallige er altså en linielast, hvis intensitet principielt kan udtrykkes som en funktion af højden, f.eks. i form af afstanden fra vægsystemets top.

De overtallige funktioner skal derefter afpasses således, at følgende betingelser er opfyldt:

1. Den vandrette udbøjning af delvæggene skal være sådan, at intet lag af det fiktive dækmedium, som dækkene tænkes erstattet af, deformeres i sin egen plan.
2. De vandrette forskydningskræfter, som delvæggene påvirker hvert lag af det fiktive dækmedium med, skal udgøre et kraftsystem i ligevægt. Det forudsættes her, at ydre vandrette kræfter på vægsystemet kun angriber på delvæggene.
3. Den gensidige lodrette forskydning mellem to delvægskanter, som støder op til samme fuge eller hulrække, skal være lig med fugens eller hulrækkens lodrette deformationer.
4. De lodrette forskydningskræfter i hver fuge eller hulrække skal være lig med fugens eller hulrækkens lodrette deformationer, multipliceret med dens forskydningsstivhed.

Disse fire betingelser fører til et sæt af sammenhørende differentialligninger, hvis løsning giver de overtallige funktioner.

Ved integration over hver etage findes derefter forskydningskraften i hver dørbjælke og i hver samling mellem dækket og delvæggene.

Når disse snitkræfter er fundne, kan man ved hjælp af ligevægtsligninger finde snitkræfterne overalt i konstruktionen. Herefter kan spændingsfordelingerne i egnede snit findes ved den sædvanlige fremgangsmåde for spændingsbestemmelse i bjælker (Navier's formel). Endvidere kan delvæggenes udbøjningslinier bestemmes efter den tekniske bjælketeori.

Edb-programmet SHEWALS bygger på den ovenfor beskrevne metode. Uddata indeholder følgende resultater:

- Forskydningskraften i hver dørbjælke
- Forskydningskraften pr. længdeenhed i et antal punkter af hver fuge og hver lodret vinkelsamling
- De tre snitkræfter (N, M og Q) midt i hver etage i hver delvæg
- De lodrette normalspændinger i kanterne af hver delvæg, midt i hver etage
- Udbøjningskomponenterne i vægsystemets hovedretninger for hver delvæg, midt i hver etage.

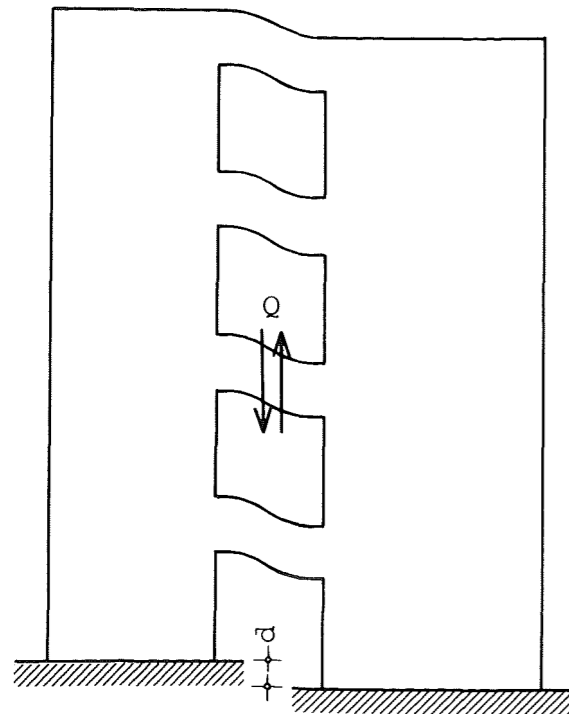
## 5. MODIFIKATIONER TIL FORSKYDNINGSLAGMETODEN

I begyndelsen af kapitel 4 er anført de antagelser, der ligger til grund for metoden.

En af disse antagelser er, at dørbjælkerne kan regnes fast indspændte i delvæggene, når der regnes med en korrigeret dørbjækelængde. I afsnit 5.1 er der givet en vejledning i fastsættelse af denne dørbjækelængde.

En anden antagelse er, at der kan ses bort fra forskydningsdeformationer i delvæggene. Denne antagelse er af vital betydning for metoden, fordi metoden baserer sig på den tekniske bjælketeori. Forskydningsdeformationer hidrørende fra vandrette kræfter på delvæggene kunne godt medtages indenfor den tekniske bjælketeori's rammer (jf. dørbjælkernes beregning), men forskydningsdeformationer hidrørende fra lodrette kræfter på delvæggene er ofte i modstrid med antagelsen om, at plane snit forbliver plane. Disse deformationer kan derfor ikke indpasses i den tekniske bjælketeori.

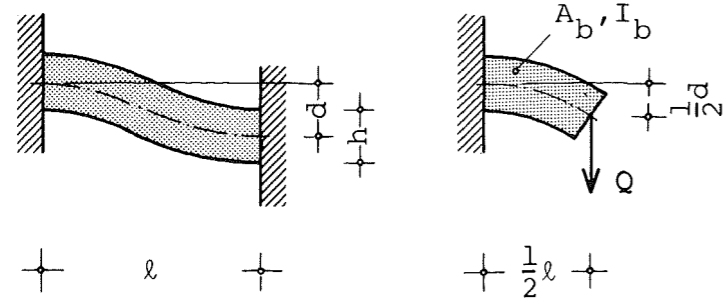
Imidlertid har det vist sig, at man med udmærket resultat kan medtage virkningen af forskydningsdeformationerne fra både lodrette og vandrette kræfter ved at indlægge fiktive lodrette fuger i delvæggene med passende afstande. Denne fremgangsmåde er nærmere omtalt i afsnit 5.2.



Figur 5.1

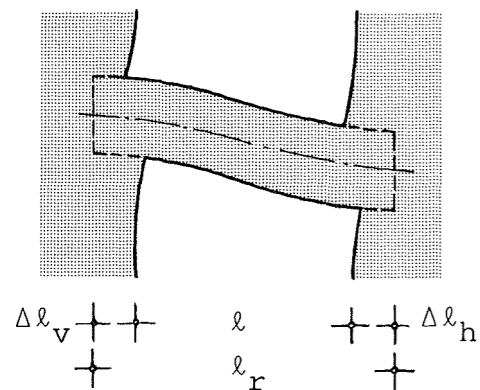
En dørbjælkes forskydningsstivhed defineres som:

$$K = \frac{Q}{d}$$



Figur 5.2

Dørbjælke, der er geometrisk indspændt i begge ender, og model til bestemmelse af sammenhængen mellem  $d$  og  $Q$ .



Figur 5.3

En opfattelse af dørbjælketillæget.

### 5.1 Dørbjælkers stivheds- og indspændingsforhold.

En hulrækkes stivhed bestemmes som en dørbjælkes forskydningsstivhed  $K$ , divideret med etagehøjden  $e$ , hvor en dørbjælkes forskydningsstivhed er den forskydningskraft, der kommer i dørbjælken, når de tilstødende delvægge påtvinges en indbyrdes lodret forskydning af størrelsen  $1$ , se figur 5.1.

Bestemmelsen af en dørbjælkes forskydningsstivhed er behæftet med en ret stor usikkerhed. Dertil kommer, at hulrækkes stivhed ofte har stor betydning for hele vægsystemets spændings- og deformationsforhold. Det er derfor vigtigt at få en så korrekt bestemmelse af dørbjælkestivheden som muligt.

I den almindelige anvendelse af forskydningslagmetoden behandles dørbjælkerne efter den tekniske bjælketeori under hensyntagen til bøjnings- og forskydningsdeformationer. Den lodrette endeforskydning af en dørbjælke med rektangulært tværsnit og længden  $l$ , geometrisk indspændt i begge ender og påvirket med en konstant forskydningskraft  $Q$ , bestemmes da efter følgende formel, jf. figur 5.2:

$$d = \frac{Ql^3}{12EI_b} + \frac{6}{5} \frac{Ql}{GA_b} = \frac{Ql^3}{12EI_b} \left( 1 + 1,2 \cdot \frac{h^2}{l^2} \cdot \frac{E}{G} \right) \quad (5.1)$$

I formel (5.1) betyder  $E$  og  $G$  dørbjælke materialets elasticitets- og glidningsmoduler,  $I_b$  er bjælkets tværsnittets inertimoment, og  $A_b = 12I_b/h^2$  er bjælkens tværsnitsareal. For beton kan man antage  $E/G = 2,4$ .

Ved omskrivning af (5.1) kan dørbjælkes stivhed bestemmes som:

$$K = \frac{Q}{d} = \frac{12EI_b}{l^3} \cdot \frac{1}{1 + 1,2(h/l)^2(E/G)} \quad (5.2)$$

I forbindelse med forskydningslagmetoden angives normalt denne formel til bestemmelse af dørbjælkerne - og dermed forskydningslagets - stivhed. Endvidere er den indbygget i SHEWALS.

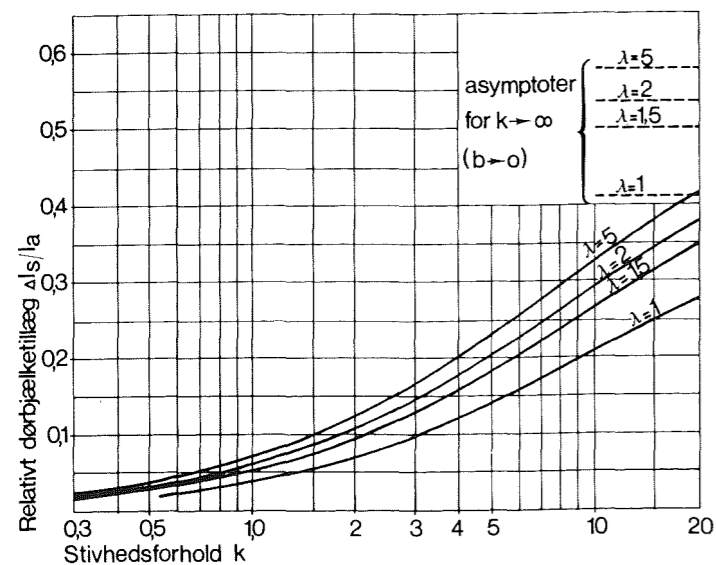
Den må formodes at give en rigeligt god tilnærmelse til elasticitetsteoriens resultater for alle de højde/længdeforhold, der i praksis vil forekomme.

Imidlertid er dørbjælkerne ikke geometrisk indspændte i delvæggene, idet delvæggene deformeres omkring dørbjælkeindspændingerne, hvorved stivheden reduceres væsentligt. F.eks. er en reduktion på 50% ikke usædvanlig. Denne eftergivelse kan mest bekvemt tages i regning ved, at man indsætter en regningsmæssig længde  $l_r$ , der er større end lysvidden  $l$ , i formel (5.2). Forskellen mellem  $l_r$  og  $l$  kaldes det samlede dørbjælketillæg  $\Delta l$ ; det kan opfattes som bestående af et tillæg i hver ende af dørbjælken, således at dørbjælken begynder  $\Delta l_v$ , henholdsvis  $\Delta l_h$  inde i hver delvæg, se figur 5.3.

Delvæggenes aksers lodrette indbyrdes forskydning  $d$  for kraften  $Q$  kan opfattes, som om den består af tre bidrag, svarende til:

- dørbjælakens bøjning og forskydning
- delvæggenes eventuelle S-krumning, som giver anledning til vinkeldrejning af dørbjælakens ende
- lokale deformationer i områderne omkring dørbjælakens indspændinger. Disse deformationer medfører forskydning og vinkeldrejning af dørbjælakens akse i indspændingstværsnittet i forhold til delvæggenes akse ud for dørbjælken.

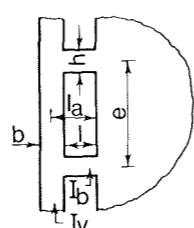
Hvis forskydningen  $d$  skal bestemmes efter formel (5.1) ved indsættelse af en passende regningsmæssig dørbjælkelængde  $l_r$ , fås det først nævnte bidrag ved, at lysvidden  $l$  indsættes, mens hvert af de to andre bidrag kan medtages ved at forøge længden med et tilsvarende dørbjælketillæg. Opdelingen af det samlede dørbjælketillæg i bidrag fra S-krumning og bidrag fra lokale deformationer muliggør en simpel og overskuelig angivelse af det samlede tillægs størrelse, som er en funktion af mange parametre.



Figur 5.4  
Dørbjæketillæg for  
s-krumning.

Dørbjælken får kun tillæg i den ende, der støder op til smal delvæg.

Regningsmæssig dørbjækelængde:  $\ell_r = \ell + \Delta\ell_s$

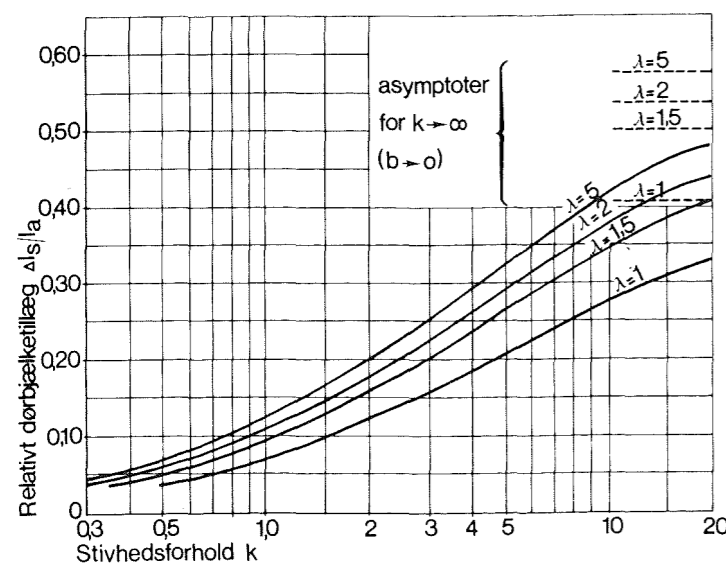


$$k = \frac{I_b e}{I_v \ell_a} = \left(\frac{h}{b}\right)^3 \frac{e}{\ell_a}$$

(for plan væg).

$$\lambda = \frac{\ell_a}{h}$$

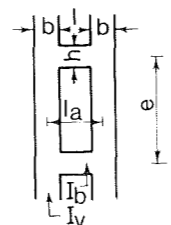
(for plan dørbjælke).



Figur 5.5  
Dørbjæketillæg for  
s-krumning.

Dørbjælken får et tillæg i hver ende.

Regningsmæssig dørbjækelængde:  $\ell_r = \ell + 2\Delta\ell_s$

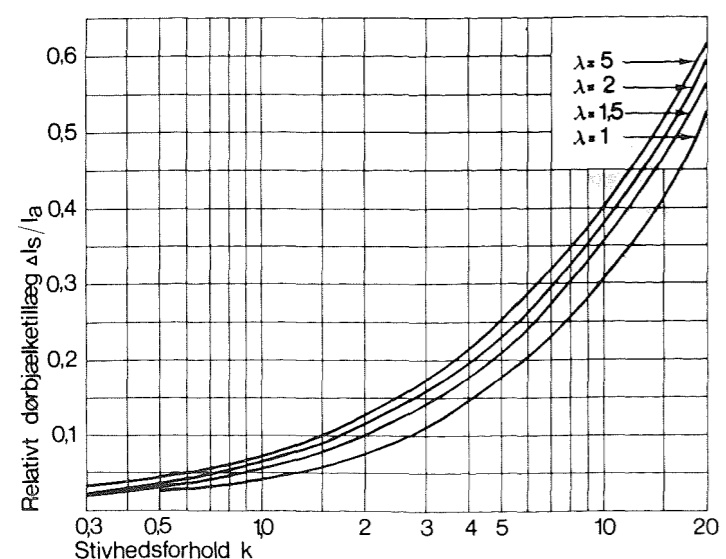


$$k = \frac{I_b e}{I_v \ell_a} = \left(\frac{h}{b}\right)^3 \frac{e}{\ell_a}$$

(for plan væg).

$$\lambda = \frac{\ell_a}{h}$$

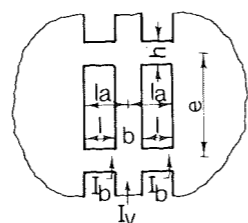
(for plan dørbjælke).



Figur 5.6  
Dørbjæketillæg for  
s-krumning.

Hver dørbjælke får et tillæg i den ende, der støder op til den smalle delvæg.

Regningsmæssig dørbjækelængde:  $\ell_r = \ell + \Delta\ell_s$



$$k = \frac{I_b e}{I_v \ell_a} = \left(\frac{h}{b}\right)^3 \frac{e}{\ell_a}$$

(for plan væg).

$$\lambda = \frac{\ell_a}{h}$$

(for plan dørbjælke).

Bestemmelsen af dørbjæketillæggene i forskellige tilfælde er beskrevet i bilag I, og resultatet heraf, kurver til brug for praksis, er gengivet i figur 5.4 .... 5.7.

Ved hjælp af kurvebladene i figur 5.4 ... 5.6 kan man finde dørbjæketillægget for S-krumning,  $\Delta\ell_s$ , som er angivet på dimensionsløs form som en funktion af stivhedsforholdet  $k$  og slankhedstallet  $\lambda$ . Som det fremgår af forklaringerne til figurerne, er  $k$  forholdet mellem dørbjælkens og delvæggens bøjningsstivhed (inertimoment divideret med længde), og  $\lambda$  er dørbjælkens længde/højde-forhold. Stivhedsforholdet  $k$  refererer til, at væggen opfattes som en rammekonstruktion, hvor både dørbjælker og smalle delvægge får bøjningsdeformationer. Gennem indførelse af slankhedstallet  $\lambda$  er det muligt at sætte dørbjælkens forskydningsdeformation i relation til dens bøjningsdeformation og således medtage også denne. Delvæggens "vandrette" forskydningsdeformationer har kun ringe indflydelse på dørbjælkens lodrette forskydningsstivhed, og er derfor ikke medtaget i udledningerne.

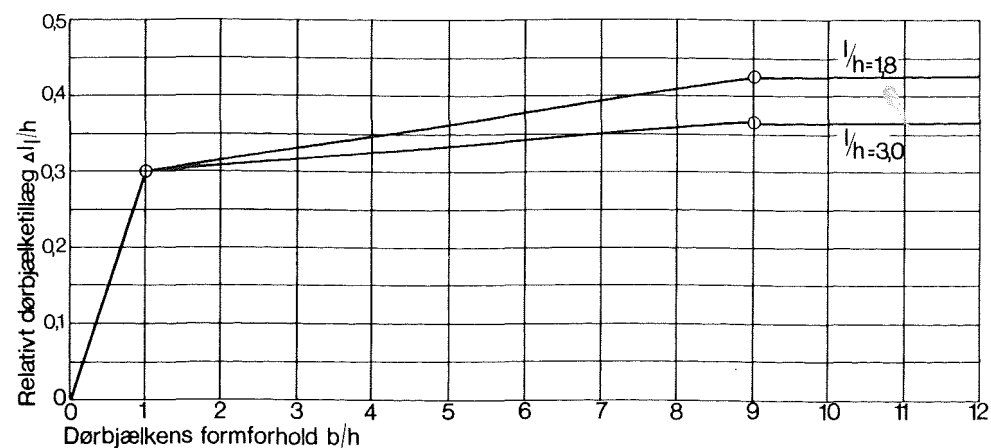
Kurverne gælder principielt for vilkårligt delvægstværsnit, således både for plane delvægge og for delvægge med flanger. Endvidere gælder de med tilnærmelse for vilkårligt dørbjælketværsnit, således både for plane dørbjælker og for dørbjælker, hvor en del af dækket virker som overflange. I det sidste tilfælde skal  $\lambda$  ændres til:

$$\lambda = \ell_a \sqrt{A_k} / \sqrt{12 \cdot I_b}$$

hvor  $A_k$  er kroparealet (selve dørbjælkens areal) og  $I_b$  er hele T-profilets inertimoment.

S-krumningstillægget får kun praktisk betydning, når en delvægs bøjningsstivhed er lille i forhold til dørbjælkens. For en plan delvæg og en plan dørbjælke med en højde på 40-50 cm og en længde på 80-100 cm, bliver s-krumningstillægget således kun aktuelt, når delvægsbredden er ca. 60 cm og derunder.





Figur 5.7

## Dørbjæketillæg for lokale deformationer.

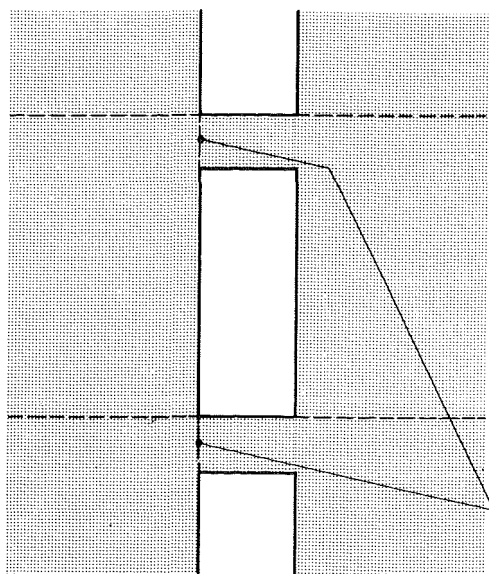
Diagrammet er empirisk og baseret på et ret lille talmateriale, jf. bilag I.

$\Delta l_l$  = dørbjæketillæg i een ende af en dørbjælke.

$b$  = bredden af den tilstødende delvæg, forudsat, at der ikke er dørbjælker på den anden side af delvæggen.

$h$  = dørbjælkehøjden.

$l$  = dørbjækelængden (lysvidden).



Figur 5.8

De viste dørbjælker må antages at være forbundne med venstre delvæg ved hjælp af charnier.

Dørbjæketillæggene findes af figur 5.4 og 5.7 ved at sætte  $b = 0$ . Der kommer altså kun et formelt s-krumningstillæg svarende til  $k \rightarrow \infty$ , og et tillæg for lokale deformationer i dørbjælkernes højre ende, men intet tillæg for lokale deformationer i venstre ende.

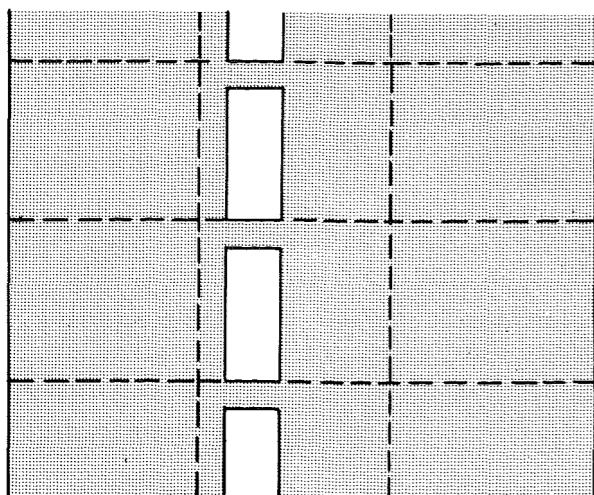
Samlinger der ikke kan overføre momenter

Figur 5.7 viser dørbjæketillægget for lokale deformationer,  $\Delta l_l$ , som er angivet på dimensionsløs form som en funktion af forholdet mellem delvæggen og dørbjælkens bjælkehøjder samt af dørbjælkens slankhedstal. I modsætning til de foregående figurer indgår dog lysvidden i stedet for akselængden i slankhedstallet.

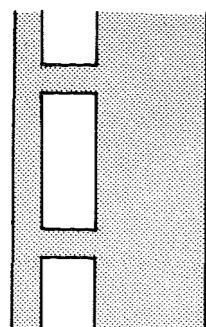
Som det ses af diagrammet, er dørbjæketillægget for lokale deformationer altid 0,3 ... 0,4 gange den mindste af tværsnitshøjderne  $h$  og  $b$ . Når  $b$  går mod 0, går dette tillæg altså mod 0, hvilket kan forklares ved, at arealet af det område, hvori de lokale deformationer sker, går mod 0. Samtidig vokser imidlertid s-krumningstillægget, fordi  $k$  går mod  $\infty$ . Situationen  $b = 0$ , dvs.  $k = \infty$ , svarer til, at dørbjælken er forbundet med delvæggen ved et charnier. Denne situation opstår i praksis, når en dørbjælke ender i en tværgående væg eller forbindes til en delvæg gennem en ikke-momentoverførende montagesamling, som vist i figur 5.8.

Diagrammet i figur 5.7 er udarbejdet på grundlag af beregninger efter elementmetoden af et lille antal plane vægudsnit. Det har ikke samme generelle gyldighed som figur 5.4 ... 5.6, dels fordi det kun gælder for plane vægge, dels fordi dørbjæketillæggets afhængighed af slankhedstallet er temmelig ubestemt. På den anden side er den her nedfældede regel i nogle henseender mere differentieret end den ofte anvendte Michaels regel, som principielt også kun gælder i det plane tilfælde. Se herom i bilag I.

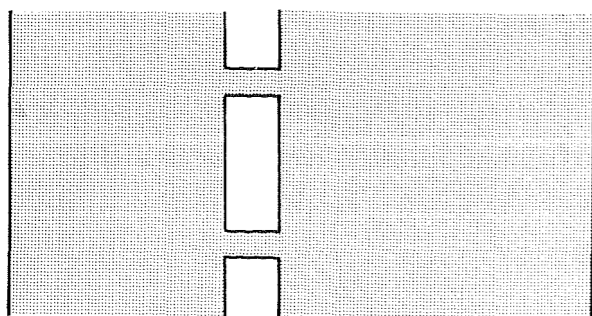
Ligeledes gælder diagrammet kun for delvægge, som har dørbjælker på den ene side, men er frie på den anden side. For en delvæg, der har dørbjælker på begge sider, presses dørbjælken i den ene side normalt opad i forhold til væggen, mens dørbjælken i den anden side presses nedad. De lokale deformationer, der kommer til udtryk som rotationer omkring aksernes skæringspunkt, forstærker da hinanden, mens de deformationer, der kommer til udtryk som rene lodrette flytninger, vil modvirke hinanden. Da endvidere dørbjæketillægget i størstedelen af området er temme-



Figur 5.9 a  
Væg opbygget af betonelementer.  
Delvægsbredderne har betydning  
for dørbjælketillæggets størrelse,  
men hvor brede er delvæggene?



Figur 5.9 b  
Det ene grænsetilfælde er, at de  
lodrette samlinger hverken kan  
overføre træk eller tryk i vandret  
retning.



Figur 5.9 c  
Det andet grænsetilfælde er, at  
væggen er homogen.

lig ufølsomt overfor ændringer i delvægsbredden, må det formodes, at der normalt kun indføres betydningsløse fejl ved at anvende diagrammet på delvægge med tosidigt anbragte dørbjælker, idet der ved bestemmelse af hvert af de to dørbjælketillæg indsættes den fulde delvægsbredde i udtrykket for abscissen.

En anden situation, hvor der er tvivl om, hvilken delvægsbredde, der skal indsættes, opstår i montagebyggeriet som følge af de lodrette samlinger (fuger). Disse samlings styrke overfor vandret træk afhænger stærkt af forskellige ukontrollable faktorer. Hvis elementerne f.eks. lagres udendørs, kan regn skylle et tyndt lag cementslam af overfladerne mod fugen, hvorved fugebetonens adhæsion til elementerne forbedres ganske væsentligt. Omvendt kan svindrevner nedsætte den vandrette trækstyrke af betonforbindelsen til praktisk taget nul.

Betragtes nu en væg med huller i et betonelementhus, jf. figur 5.9a, hvor de lodrette fuger nærmest dørrækken har trækstyrken 0, kan der ske en s-krumning af vægdelene mellem hulrækken og fugerne, uden at den øvrige del af væggen yder fuld modstand herimod, ligesom de lokale deformationer også kan tænkes at være påvirket af den manglende sammenhæng. I et sådant tilfælde ligger dørbjælkens effektive længde et sted imellem de effektive længder der kan udledes af modellerne i figur 5.9b og 5.9c.

En vis eksperimentel dokumentation for, at de her givne regler fører til rimelige resultater, findes i bilag III. Her er resultater fra 33 modelforsøg med plane vægge med en eller flere hulrækker sammenlignet med resultater af tilsvarende SHEWALS-beregninger, hvor der er indsat dørbjælketillæg ifølge reglerne i dette afsnit. Bortset fra enkelte forklarlige undtagelser er der god overensstemmelse mellem forsøgsresultater og SHEWALS-resultater, jf. de afsluttende bemærkninger i bilag III.

## 5.2 Delvægsgeometri.

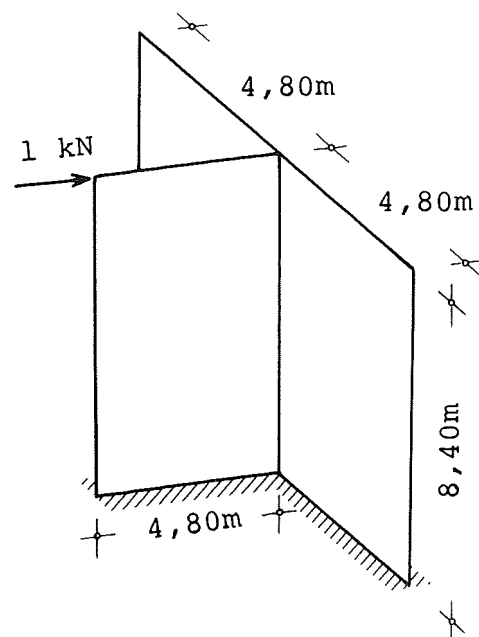
I forskydningslagmetoden beregnes delvæggene som indspændte bjælker efter den tekniske bøjningsteori med hensyntagen til momenter og normalkræfters bidrag til deformationerne.

Denne beregningsmodel forudsætter en bestemt deformationsmekanisme for delvæggen, som går ud på, at normaltøjningsfordelingen i ethvert vandret snit i delvæggen er retlinet, at normaltøjningerne i lodrette snit er nul og at forskydningstøjningerne er nul overalt i delvæggen. Eksperimentelle undersøgelser og finite element beregninger af vægge har vist, at denne antagelse ikke er korrekt, men at den for slanke delvægge i passende afstand fra de ydre påvirkningers angrebepunkter giver resultater, som er i god overensstemmelse med, hvad de ovennævnte metoder forudsiger. Ved en slank delvæg forstås her en delvæg, hvis højde er mindst 3-4 gange så stor som dens bredde. For en delvæg med et mindre højde/bredde-forhold begynder deformationerne hidrørende fra forskydningsspændingerne at få væsentlig indflydelse på delvæggens opførsel, og for en ekstremt bred delvæg er man også nødt til at tage hensyn til deformationerne hidrørende fra normalspændingerne i delvæggens lodrette snit.

Det er muligt at anvende SHEWALS på en sådan måde, at delvæggene beregnes efter en deformationsmekanisme, som indeholder flere deformationsmuligheder end den tekniske bjælketeoris deformationsmekanisme. Man kan opnå dette ved, at man i den pågældende delvæg indlægger fiktive fuger, hvis stivhed udregnes efter formlen

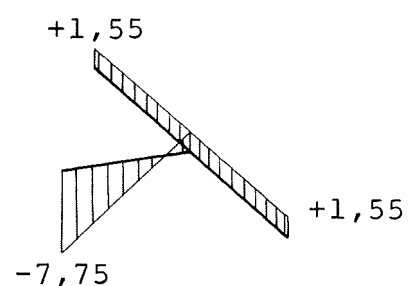
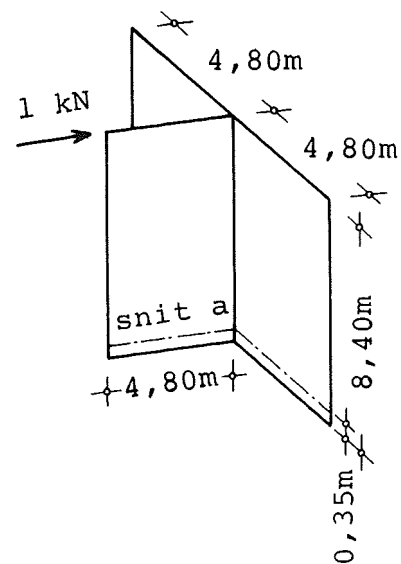
$$g_i = \frac{G \cdot t}{a}$$

hvor  $G$  er delvæggens forskydningsmodul, som for beton kan sættes til  $E/2,4$ ,  $t$  er tykkelsen af delvæggen og  $a$  er afstanden mellem de fiktive fuger. De deformationer, som sker i de fiktive fuger, svarer til forskydningsdeformationerne i en virkelig delvæg forstået på den måde, at de i hele den virkelige delvæg forekomende forskydningstøjninger i beregningsmodellen er simuleret ved koncentrerede forskydningstøjninger i de fiktive fuger. Derimod



Figur 5.10  
Afstivende vægssystem, udført  
som udkraget T-bjælke.

Dækkene er ikke vist.  
Foruden de påskrevne mål er følgende data  
forudsat:  
Vægtykkelse  $t = 0,15$  m.  
Elasticitetsmodul  $E = 21000$  MN/m<sup>2</sup>  
Forskydningsmodul  $G = 8750$  MN/m<sup>2</sup>



Figur 5.11 a  
Normalspændinger i kN/m<sup>2</sup> i  
et vandret snit 0,35m over  
fundament.

Konstruktionsmodel uden fuger, beregnet med  
SHEWALS eller teknisk bjælketeori (Naviers  
formel).

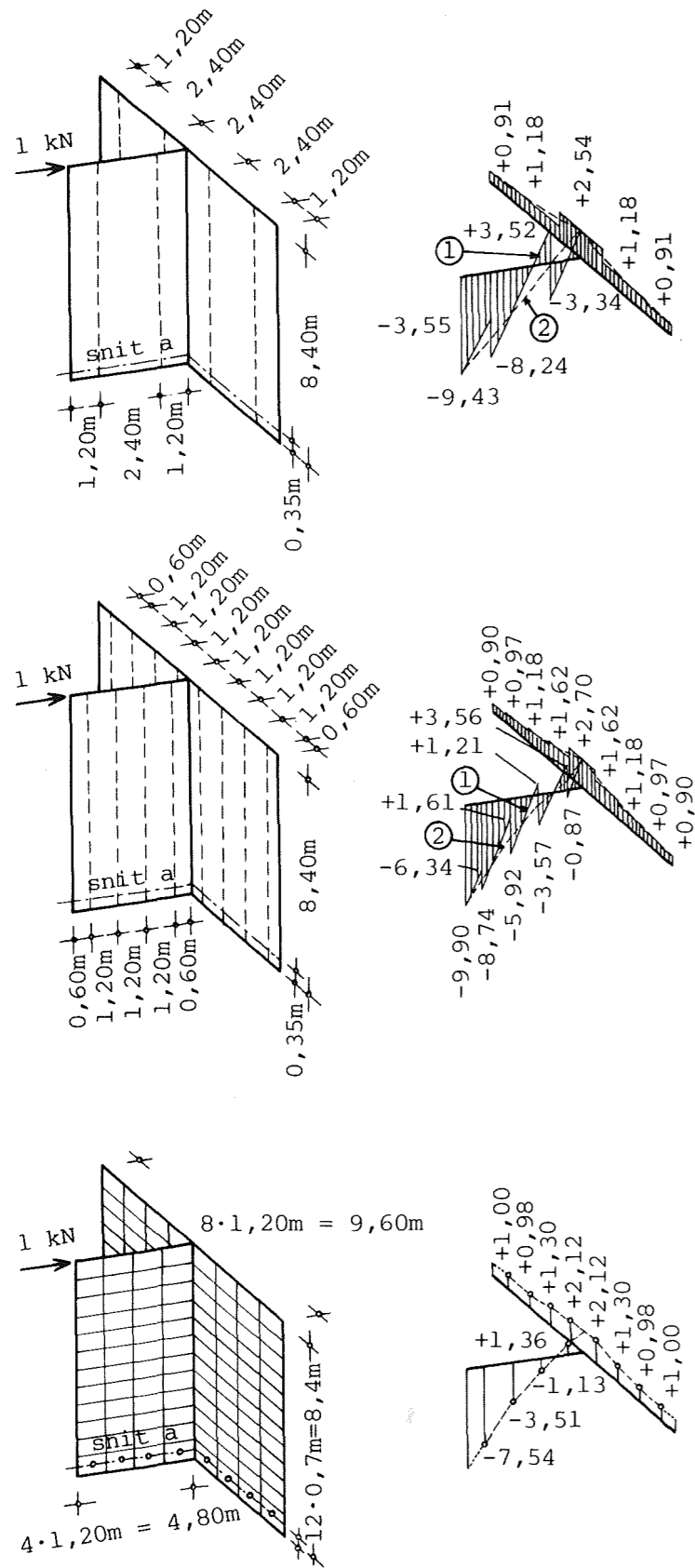
kan de fiktive fuger ikke simulere deformationerne hidrørende fra normalspændingerne i delvæggens lodrette snit.

Virksomheden af at indlægge fiktive fuger i delvægge for at tage hensyn til forskydningsdeformationerne i disse vil her blive vist ved et eksempel. Der betragtes et vægssystem opbygget som et T-profil, påvirket af en vandret enkeltkraft i dets frie ende i kroppens plan, se figur 5.10.

På figur 5.11 og 5.12 er resultaterne af beregninger af vægprofilen ved hjælp af SHEWALS med forskelligt antal fiktive fuger sammenlignet med resultatet af en beregning af profilet med NARC-SLISTRUC (6).

I denne forbindelse opfattes NARC-beregningens resultater som korrekte. Det ses på figurerne, at man allerede ved at indlægge 6 fuger i SHEWALS-beregningen får en ganske udmærket overensstemmelse med NARC-resultaterne, og at indlæggelse af 12 fuger i stedet for 6 ikke giver nogen væsentlig ekstra gevinst.

Figur 5.11 viser normalspændingsfordelingen i nærheden af indspændingen. For fuldstændighedens skyld må bemærkes, at for denne lidt specielle belastning, bestående af en enkeltkraft i toppen, er overensstemmelsen mellem SHEWALS- og NARC-resultaterne temmelig dårlig i et snit i nærheden af væggen top. Dette skyldes, at deformationstilstanden, og dermed spændingerne, i nærheden af angrebepunktet for den vandrette kraft afhænger af kroppens stivhed overfor vandret sammentrykning. Denne stivhed forudsættes i forskydningslagmetoden (SHEWALS) at være uendeligt stor.



Figur 5.11

Normalspændinger i  $\text{kN/m}^2$  i et vandret snit 0,35m over fundament.

Figur 5.11 b

Konstruktionsmodel med 6 fuger, beregnet med SHEWALS:

$$\text{Fugestivhed } g_1 = \frac{8750 \cdot 0,15}{2,40} = 546 \text{ MN/m}^2$$

Spændingsfordelingen iflg. SHEWALS (mærket ①) har spring, hvor en fiktiv fuges passer. Da en fiktiv fuges skal repræsentere jævnt fordelte forskydningsdeformationer, bør normalspændingerne udjævnes. Den punkterede fordeling (mærket ②) svarer til, at normalspændingen ved en fuges er gennemsnittet af de beregnede spændinger på hver side af fuges. Denne fordeling er dog ikke i ligevægt med belastningen.

Figur 5.11 c

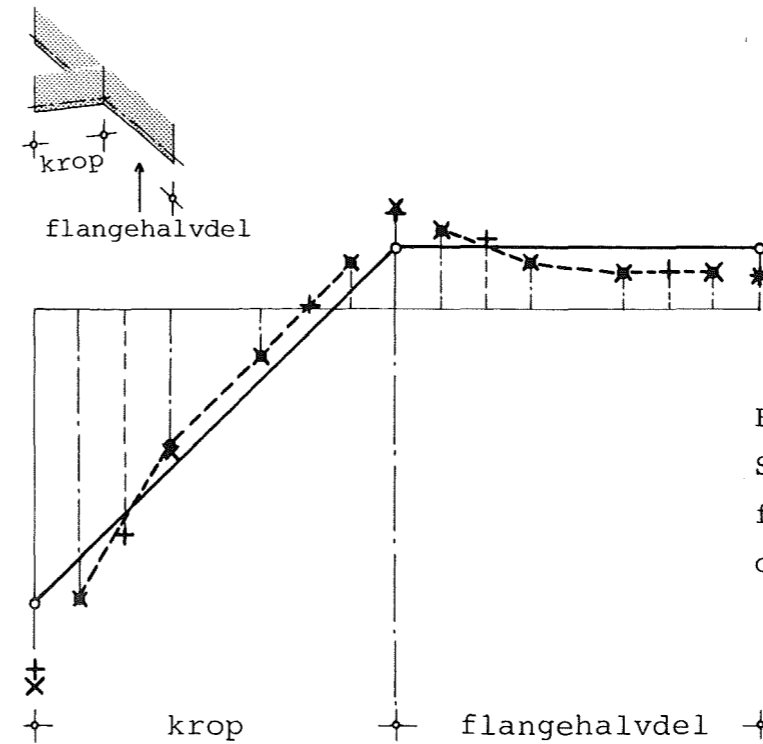
Konstruktionsmodel med 12 fuger, beregnet med SHEWALS.

$$\text{Fugestivhed } g_1 = \frac{8750 \cdot 0,15}{1,20} = 1092 \text{ MN/m}^2$$

I øvrigt som b.

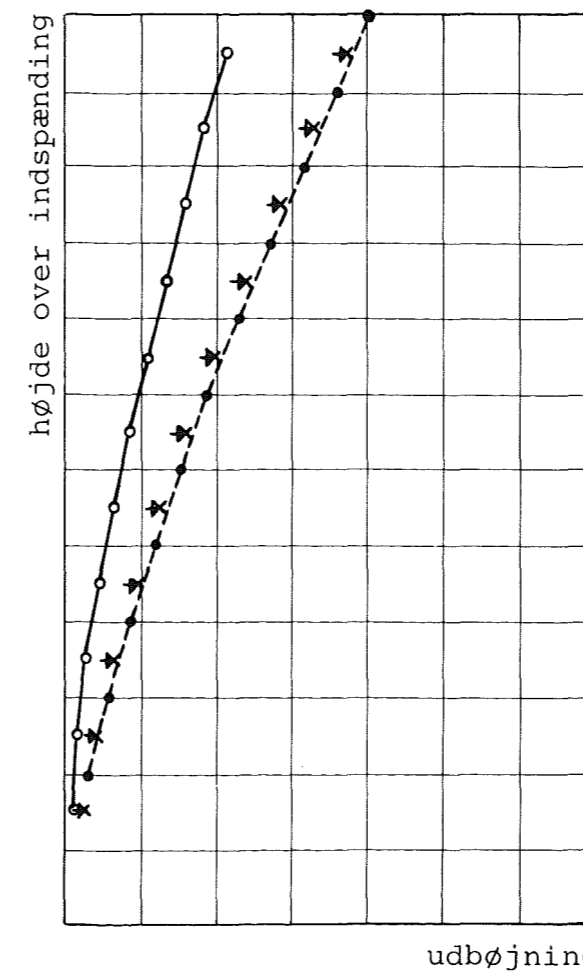
Figur 5.11 d

Konstruktionsmodel, beregnet med NARC-SLISTRUC (elementmetoden) med  $12 \times 12$  elementer. Må formodes at ligge nærmere den korrekte spændingsfordeling end a, b og c.



Figur 5.11 e

Sammenligning af spændingsfordelingerne a, b 2, c 2 og d.



Figur 5.12

Udbøjningskurver for de fire konstruktionsmodeller, som er vist i figur 5.11.

## 6. METODENS ANVENDELSE PÅ EN BYGNING

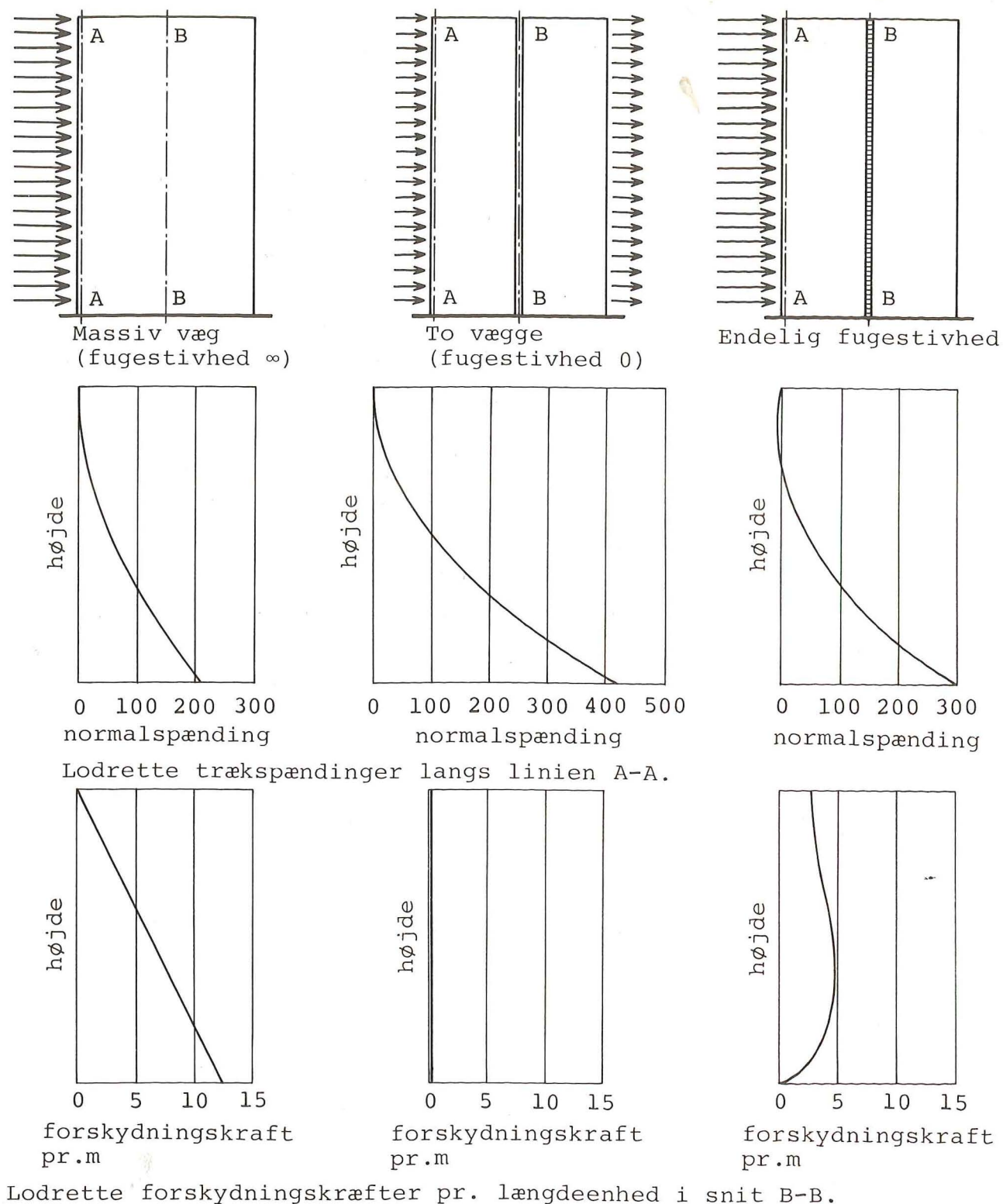
### 6.1 Valg af konstruktionsmodel.

De foregående 3 kapitler omhandlede anvendelse af forskydningslagmetoden på en given konstruktionsmodel, nemlig et idealelastisk vægsystem, bestående af et ganske bestemt antal vægge med veldefineret bredde og placering, koblet sammen af et veldefineret sæt af vinkelsamlinger, og opdelt af et veldefineret sæt af hulrækker med givne dørbjælke dimensioner og fuger med givne stivheder.

Der er imidlertid ikke altid på forhånd givet, hvorledes konstruktionsmodellen for en forelagt bygning bør se ud; ligegyldigthvilken beregningsmetode, der anvendes, må ingeniøren her træffe et valg under hensyntagen til den ønskede nøjagtighed og disponible beregningsmetoders muligheder. I dette kapitel anføres nogle synspunkter vedrørende dette valg, især med sigte mod konstruktionsmodeller, der kan beregnes ved hjælp af SHEWALS.

Modifikationer af beregningsmetoden er omtalt sideløbende med ændringer af konstruktionsmodellen, idet en skarp skelnen ikke er særligt formålstjenlig.

Det er en meget almindelig fremgangsmåde at regne "på den sikre side", når man er i tvivl om, hvilken konstruktionsmodel man bør vælge, eller når den beregningsmetode, man vælger, ikke kan behandle den konstruktionsmodel, man anser for den rigtigste. At regne "på den sikre side" betyder ofte - især i forbindelse med metoder, der forudsætter idealelastisk materiale - at man regner "nøjagtigt" på en konstruktionsmodel, der er "på den sikre side", hvilket normalt vil sige, at man ser bort fra konstruktionslementer, der virker til gunst for bygningens samlede styrke eller stivhed, eller at man indsætter en tilpas lav værdi for stivheden af visse elementer, f.eks. lodrette fuger eller dørbjælker.



Figur 6.1

Tre forskellige konstruktionsmodeller for en vandret belastet væg med en lodret fuge.

De anførte resultater refererer til følgende data for væggen: Højde 10 m, bredde 6 m, tykkelse 0,2 m, fugestivheder  $\infty$ , 0 og 200 MN/m<sup>2</sup>, elasticitetsmodul  $2 \cdot 10^4$  MN/m<sup>2</sup>, vandret last 5 kN/m. Normalspændinger er kN/m<sup>2</sup>, og forskydningskræfter pr. længdeenhed er kN/m.

Man må imidlertid gøre sig klart, at en sådan beregning af en elastisk model er på den usikre side i nogle henseender, f.eks. for påvirkningerne på de konstruktionselementer, der er set bort fra, eller som har fået tildelt for lille stivhed. For disse elementer, og i mange tilfælde for deres nærmeste omgivelser, kan påvirkningerne bestemmes på den sikre side ved beregning på en ny konstruktionsmodel, hvor de pågældende elementer medtages, evt. i forbindelse med, at andre elementer udelades, hhv. på en model, hvor de pågældende elementer tildeles en tilpas stor stivhed.

Anvendelsen af det beskrevne princip kan karakteriseres ved, at man opstiller og beregner to eller flere konstruktionsmodeller for den samme bærende konstruktion, idet man indsætter hhv. en øvre og en nedre grænse for stivheden af "tvivlsomme" elementer (udeladelse af et element kan opfattes som indsættelse af værdien 0 for stivheden). Herved får man i princippet dels værdier, der er på den sikre side for påvirkningerne på alle elementer, dels en vis følsomhedsanalyse.

Desværre giver heller ikke en sådan udvidet beregning på den sikre side fuld sikkerhed i alle tilfælde. Et simpelt eksempel herpå er vist i figur 6.1. Man ønsker at finde spændingerne i en vandret belastet væg med en lodret fuge. I det ene tilfælde er det antaget, at væggen ikke svækkes af fugen; der er da tale om en homogen væg. I det andet tilfælde er det antaget, at fugens forskydningsstivhed er 0; der er da tale om to homogene vægge, som hver optager halvdelen af belastningen. Endelig er som referencetilfælde antaget, at fugen har en vis forskydningsstivhed. Det ses på figuren, at både referencetilfældets normalspændinger og forskydningsspændinger i visse områder ligger uden for grænsetilfældenes interval, dog ikke i de områder, hvor spændingerne numerisk er størst.

Det er normalt ikke rimeligt at indsætte grænseværdier for alle de parametre, der er tvivl om, i alle mulige kombinationer. I et konkret tilfælde er man ofte på et tidligt tidspunkt klar over, i hvilke punkter spændingerne er kritiske, og for en del

af de tvivlsomme parametres vedkommende vil det være oplagt, hvilke grænseværdier der giver de største spændinger i de kritiske punkter. Også den omtalte følsomhedsanalyse kan i mange tilfælde være en hjælp i arbejdet med at indkredse de interessante kombinationer.

Grænsetilfældebetragtninger er naturligvis ikke mere nyttige i forbindelse med forskydningslagmetoden end i forbindelse med enhver anden beregningsmetode, men anvendelse af en edb-metode indebærer ofte muligheden for at gennemregne flere grænsetilfælde med en meget lille ekstra indsats. Endelig må det fremhæves, at hvis man vil forbedre sine forudsigelser om spændingerne i den færdige bygning for at kunne dimensionere mere rationelt, er det ikke nok at forfine beregningsmetoden ved overgang til edb; det er mindst lige så vigtigt at interessere sig for usikkerhederne på overgangen fra den virkelige bygning til konstruktionsmodellen.



## 6.2 Lave bygninger. Store udsparinger i dæk.

Ved beregning af lave bygninger er der en del af forskydningslagmetodens grundlæggende antagelser, der er mindre godt opfyldt. Det drejer sig om følgende antagelser:

- at dækkene kan regnes uendeligt stive
- at der kan ses bort fra forskydningsdeformationer i delvæggene
- at dørbjælker og dæk kan betragtes som kontinuerte medier.

Trappeskakter og lignende udsparinger, som går helt ud til kanten af dækskiven, medfører ofte en alvorlig svækkelse af dækkenes stivhed mod bøjning om en lodret akse, idet facaden normalt ikke kan overføre vandrette kræfter i sin egen plan. Dette problem, som også kan være at problem i høje bygninger, er stærkt beslægtet med problemet om dækkenes stivhed generelt i lave bygninger, og behandles derfor også her.

I det følgende beskrives, hvorledes man gennem passende valg af konstruktionsmodel, eller om man vil, modifikationer af forskydningslagmetoden, kan løse problemerne vedrørende dækkenes stivhed og forskydningsdeformationerne i delvæggene. Endelig er spørgsmålet om erstatningen af dæk og dørbjælker med kontinuerte medier ved lille etageantal kommenteret.

Antagelsen om, at dækkene kan regnes helt stive, bygger på, at dækkenes deformationer er meget små i forhold til væggenes ud-bøjninger. Antagelsen indebærer, at den samlede vandrette last på bygningen fordeles på de enkelte vægge svarende til deres stivheder. En antagelse om, at dækkene er helt slappe i forhold til væggene medfører derimod, at den vandrette last, hvis der er tale om ensformigt fordelt vindlast, fordeles sig på de enkelte vægge svarende til deres facadeandele.

Ved beregning af lave bygninger (f.eks. under 4 etager) er det nok mere rimeligt at antage helt slappe dæk end at antage helt stive dæk. Man opdeler da bygningen i en række vægge eller små

vægssystemer, som hver belastes svarende til sin facadeandel. Hver af disse vægge og vægssystemer kan derefter beregnes, f.eks. med SHEWALS eller manuelt efter den tekniske bjælketeori. Hvilken metode der vælges, afhænger bl.a. af, om der er hulrækker, hvis virkning skal medtages, og om forskydningsdeformationernes indflydelse på spændingerne skal medtages. Disse emner tages op igen senere i dette afsnit.

Ved beregning af enkelte vægge eller små vægssystemer ved hjælp af SHEWALS kan man komme ud i formelle vanskeligheder, idet SHEWALS kun kan behandle stabile vægssystemer. Et stabilt vægssystem består af mindst tre vægge, som ikke alle er parallelle, og som ikke skærer hinanden i samme lodrette linie. Ved behandlingen af f.eks. en enkelt væg kan man da tilføje to fiktive vægge, som står vinkelret på den vandrette lasts retning, som ikke belastes, og som ikke via vinkelsamlinger forbindes med den faktiske væg.

For bygninger med moderat højde er ingen af antagelserne helt stive dæk og helt slappe dæk særligt rigtige. Noget tilsvarende gælder, hvor der er store udsparringer i dækkene, som f.eks. trappeskakter. Mange bygninger er dog således udformet, at der ikke er nogen større forskel på fordeling efter stivheder og fordeling efter facadeandele. Dette medfører, at antagelsen om helt stive dæk fører til næsten rigtige resultater. For de tilfælde, hvor dette ikke slår til, er nedenfor skitseret en mulighed for at foretage en skønsmæssig korrektion af fordelingen af den vandrette last.

En beregning med SHEWALS (under antagelsen helt stive dæk) giver som uddata bl.a. den vandrette forskydningskraft midt i hver etage i hver delvæg. I inddata er anført den ydre last, som påføres hver enkelt delvæg; ydre last kan i SHEWALS kun påføres delvægge, ikke dæk. For hver delvæg beregnes resultanten af den ydre last over et valgt niveau; forskellen mellem denne resultant og forskydningskraften i det valgte niveau er resultanten af de kræfter, som overføres til andre delvægge gennem dækkene, dvs. som vedkommende delvæg påvirker dækkene over det

valgte niveau med. På denne måde kan det kraftsystem, som et enkelt dæk eller en gruppe dæk påvirkes af, bestemmes. Dette kraftsystem, som altid vil være i ligevægt, kan man ændre skøns- mæssigt, f.eks. således, at momenterne i dækkene i de snit, der indeholder trappeskakter, reduceres. Ved at sammenholde det nye kraftsystem (som også bør være i ligevægt) med den ydre last på delvæggene kan en endelig lastfordeling på delvæggene, og her- med på vægge eller små vægssystemer, bestemmes. Med denne last- fordeling kan endelig de enkelte vægge eller små vægssystemer gennemregnes som tidligere omtalt.

Når et vægssystem har en sådan geometrisk udformning, at man øn- sker at tage hensyn til forskydningsdeformationer, kan det gø- res ved at indlægge fiktive fuger som beskrevet i afsnit 5.2. Fremgangsmåden kan dels være aktuel, når en væg i belastnings retning er så bred, at forskydningsdeformationernes bidrag til væggenes vandrette udbøjning - og dermed til dens reciprokke stivhed - er så stort, at det må medtages af hensyn til lastfor- delingen, dels kan den være aktuel, når en væg, der er vinkel- ret på belastningen og virker som flange for en væg i belast- ningens retning, er så bred, at den ikke kan regnes fuldt effek- tiv i hele sin bredde. Endelig kan det, når normalspændingerne i en bred væg i belastnings retning er kritiske, være nødven- digt at tage et vist hensyn til, at normalspændingsfordelingen er krum.

Det ses af eksemplet i pkt. 5.2, at blot et ganske lille antal fuger medfører betydeligt mere korrekte værdier for både vægpro- filets stivhed (vandret last/vandret udbøjning) og for de lod- rette normalspændinger i vægprofilet. Dette hænger bl.a. sam- men med at normalspændingsfordelingens krumme forløb kan gen- gives væsentligt bedre af blot 2-3 parallelforskudte, rette linier end af en enkelt ret linie.

Oftest vil det derfor være tilstrækkeligt at indlægge en eller to fiktive fuger i hver delvæg, idet vinkelsamlinger med til- stødende vægge i denne forbindelse regnes delvægsopdelende. I lange delvægge bør fugeafstanden dog nok ikke overstige  $1/4$

til 1/3 af husets højde. I kritiske tilfælde kan man foretage gennemregninger med flere forskellige fugeinddelinger. Ved at betragte ændringerne af nogle karakteristiske resultater for hver ny inddeling kan man vurdere, hvor tæt man er på det korrekte resultat, svarende til uendeligt mange fiktive fuger.

I øvrigt vil det ofte være naturligt at kombinere de fiktive og de faktiske fuger ved, at de faktiske fuger blot tildeles en regningsmæssig stivhed  $g_r$ , som tager hensyn til både fugens og væggenes forskydningsdeformationer. Hvis fugens faktiske stivhed betegnes  $g_a$ , og den fiktive fuges stivhed  $g_i$ , kan  $g_r$  beregnes efter formlen:

$$\frac{1}{g_r} = \frac{1}{g_a} + \frac{1}{g_i}$$

Vedr. bestemmelse af  $g_a$  og  $g_i$ , se side 61, hhv. side 35.

Når etageantallet er lille, må man nok sætte spørgsmålstejn ved antagelsen om, at dørbjælker og dæk kan betragtes som kontinuerede medier, altså kan spredes ud over hele etagens højde i stedet for at være koncentrerede i en snæver zone i hver etage. Blandt andet er dørbjælkerne placeret øverst i hver etage og ikke midt i hver etage, hvilket medfører, at dørbjælken ved væggenes top kun repræsenteres med sin halve stivhed af forskydningslaget, eller at forskydningslaget repræsenterer den virkning, dørbjælkerne ville have, hvis de alle var rykket  $\frac{1}{2}$  etage ned.

Hvis der er 5 eller flere etager, formodes det, at antagelsen medfører en helt negligabel fejl på vægssystemets stivhed, dørbjælkeforskydningskræfterne og normalspændingerne i delvæggene. Når der er 4 eller 3 etager, begynder fejlen at blive mærkbar, først og fremmest på fordelingen af dørbjælkekræfterne, og i mindre grad på størrelserne af den maksimale dørbjælkekraft og de lodrette normalspændinger i delvæggene. Resultaterne af beregningen må derfor anvendes med en vis forsigtighed i dette

område. For helt lave bygninger (1 og 2 etager), er antagelsen ikke rimelig, og det må frarådes at anvende SHEWALS til bestemmelse af dørbjælkekrafterne og af væggenes virkemåde under hensyntagen til dørbjælkerne virkning.

Imidlertid er forskydningskræfterne i dørbjælkerne i en sådan bygning ofte så små, at de dels ikke er kritiske for dørbjælkerne, dels ikke har nogen væsentlig reducerende virkning på normalspændingerne forinden i væggene. Man kan derfor ofte se bort fra dørbjælkerne ved opstillingen af konstruktionsmodellen. Med den tidligere beskrevne fordeling efter facadeandele er også spørgsmålet om dækkenes virkning ude af billedet. Berettigelsen af at bruge SHEWALS ligger nu i muligheden for, gennem indlæggelse af fiktive fuger, at tage hensyn til forskydningsdeformationer, især i vægprofilers flanger.

Endelig må man, især ved lave bygninger, være opmærksom på, at montagetaktens indflydelse, fundamentssætninger og krybning kan gøre en SHEWALS-beregning af langtidslastens virkninger (egenvægt, nyttelast) illusorisk. Derimod har de nævnte forhold ingen indflydelse på spændingerne fra korttidslast (f.eks. vindlast). Problemet er yderligere behandlet i afsnit 6.4.

### 6.3 Dørbjælker og fuger.

Med hensyn til dørbjælkernes stivhed må det erindres, at den regningsmæssige dørbjælkelængde bør være større end døråbningernes lysvidde. I afsnit 5.1 er beskrevet, hvorledes den regningsmæssige dørbjælkelængde kan findes. I slutningen af afsnittet er endvidere omtalt, hvorledes en lodret vægfuge i nærheden af en hulrække kan nedsætte dørbjælkernes stivhed, og hvorledes man kan tage dette forhold i regning.

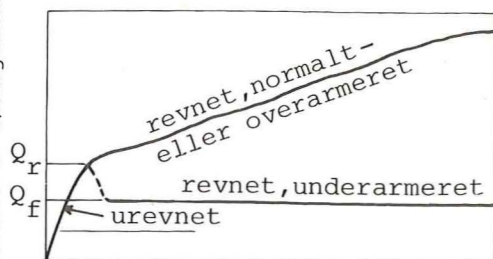
I forbindelse med omtalen af s-krumningstillægget er den situation berørt, at dækket virker som overflange, således at dørbjælken bliver en T-bjælke. I de almindeligt kendte montagebyggesystemer er der ingen effektiv forbindelse (armering) mellem dørbjælken og dækket, og da de lodrette normalspændinger i samlingen er små, kan der heller ikke påregnes friktionskræfter af større betydning. Beregning af dørbjælkerne som T-bjælker bliver derfor normalt kun aktuelt for bygninger, som støbes på stedet.

Det er en forudsætning for gyldigheden af den i afsnit 5.1 beskrevne fremgangsmåde, at dørbjælkerne kan antages at være idealelastiske. Denne forudsætning er kun opfyldt, når bjælkerne er urevne. Hvis en dørbjælke revner, formindskes dens stivhed, hvilket medfører, at den aflastes i forhold til de øvrige dørbjælker i samme dørrække. Samtidig bliver væggen krumning for vandret last - og dermed delvæggenes bøjningsspændinger - lidt større.

Der kan både tænkes at opstå bøjningsrevner (i dørbjælkens ender) og forskydningsrevner (diagonalt). Begge revnetyper behandles i flæng, idet virkningen på vægsystemet er den samme. I de fleste tilfælde vil bøjningsrevnerne opstå først, bl.a. på grund af kærsvirkning (jf. (7)).

I det følgende beskrives virkemåden af underarmerede dørbjælker, hhv. normalt- eller overarmerede dørbjælker. I en underarmeret dørbjælke er revnelasten  $Q_r$  (den forskydningskraft, som fremkalder bøjnings- eller forskydningsrevner i betonen)

Lodret forskydningskraft i dørbjælken

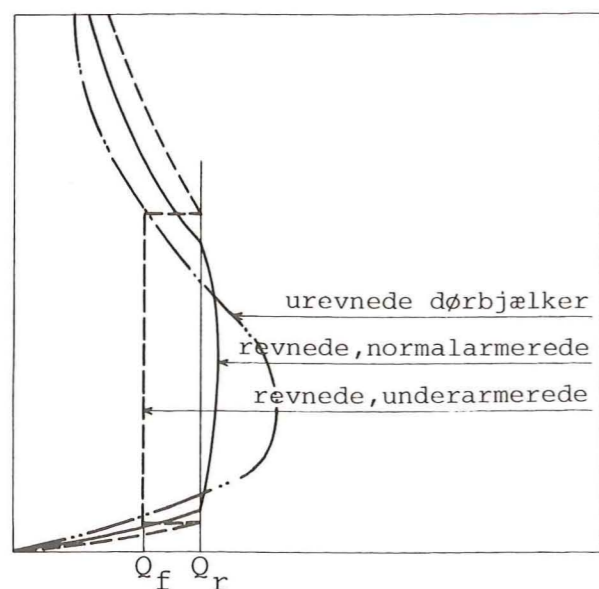


Figur 6.2  
Forskydningsarbejdslinier for dørbjælker med forskellige armeringsgrader.

Indbyrdes lodret forskydning af dørbjælken ender

Størrelsen af bruddeformationen ( forskydningen af dørbjælkeenderne lige før brud ) afhænger bl.a. af, om bjælken er normalt- eller overarmeret, og om bruddet sker som forankrings- eller trykbrud.

Højde over fundament



Figur 6.3  
Dørbjælkekræfternes fordeling for en vandret belastet væg.

Lodret forskydningskraft i dørbjælke

Der er dels vist fordelingen under forudsætning af, at dørbjælkerne ikke revner, men har konstant og ens stivhed, svarende til de normale beregningsantagelser, dels fordelingen under forudsætning af arbejdslinien i figur 6.2 for normalt- ( eller over- ) armerede dørbjælker, dels fordelingen under forudsætning af underarmede dørbjælker.

større end flydelasten  $Q_f$  (den forskydningskraft, der kan overføres af bjælken, når enten bøjnings- eller forskydningsarmeringen flyder). I en normalt armeret bjælke er flydelasten større end revnelasten, og bjælkens deformationer er større ved brud end ved flydningens begyndelse. I en overarmeret bjælke sker bruddet ved knusning af betonen, inden armeringen begynder at flyde.

I figur 6.2 er skitseret forskydningsarbejdslinier for en underarmeret og for en normalt- eller overarmeret dørbjælke. I begge tilfælde nedsættes stivheden (arbejdsliniens sekantthældning), når revnelasten nås, men en direkte aflastning sker kun for den underarmede dørbjælkes vedkommende. I figur 6.3 er skitseret dørbjælkeforskydningskræfternes fordeling i en væg, som er påvirket af en ensformigt fordelt vandret last. Disse dørbjælkekræfter kan principielt udledes af delvæggenes indbyrdes lodrette forskydning sammenholdt med den pågældende dørbjælkes forskydningsarbejdslinie.

Underarmede dørbjælker formodes at være sjældent forekommende. For normalt- eller overarmede dørbjælker med passende forankring af armeringen, kan man af figur 6.3 slutte, at en revnedannelse i nogle af dørbjælkerne har en ret begrænset indflydelse på andre snitkræfter i vægssystemet end lige netop dørbjælkekræfterne.

For fuldstændighedens skyld bør nævnes, at dørbjælkeforskydningskræfterne er hyppigt vekslende både i størrelse og fortegn. Hvis dørbjælkerne er normalt- eller overarmede, og armeringen i øvrigt er dimensioneret til at optage de forekommende dørbjælkekræfter, er der dog næppe grund til at forvente væsentlige ændringer i arbejdskurven for en belastningsretning efter den første overskridelse af revnelasten i modsat retning. Problematikken omkring dørbjælker med lastafhængig stivhed er yderligere behandlet i (7), (8) og (9).

I visse tilfælde vil man være interesseret i at tage hensyn til de lodrette vægfugers indflydelse. Denne indflydelse er lige som indflydelsen af andre forskydningsdeformationer, se

afsnit 6.2 - mest aktuel ved lave, brede vægge, mens den ved blot nogenlunde slanke vægge uden videre kan negligeres. Grænsen ligger ikke ved noget bestemt slankhedstal, men afhænger bl.a. af belastningens retning og fordeling og af vægsystemets udformning, jf. afsnit 6.2. Spørgsmålet om, hvornår vægfuger bør tages i regning, behandles endvidere i (10), som nok kan være en god hjælp på dette område i beregningsarbejdets indledende fase.

Hvis man ønsker at tage hensyn til de lodrette vægfuger, må man kende deres stivhed. Årsagerne til fugens deformationer er ikke, at selve fugebetonen har en lav elasticitetskoefficient for forskydning. Deformationerne skyldes derimod bl.a. svindrevner i og spændingskoncentrationer ved støbeskellene mellem vægelementer og fugebeton. Dette medfører, at fugestivheden i praksis må formodes at udvise meget store variationer. Selv for fuger udstøbt under laboratorieforhold under så ensartede betingelser som muligt, kan fugestivheden variere over en hel dekade. Vægfugers stivhed og bæreevne behandles i detaljer i (11).

Når der i en beregning skal tages hensyn til en vægfuges stivhed, vil man normalt vælge en værdi for stivheden, der ligger i den lave ende af variationsområdet. For en fortandet fuge med en fortandingsbredde (målt i væggen tykkelsesretning) på ca. 70 mm, f.eks. som fugen mellem 150 mm tykke standardvæg-elementer, kan det således foreslås at indsætte værdien  $g_a = 250 \text{ MN/m}^2$ , altså 250 MN pr. m fuge pr. m lodret deformation. Hvis støbeskellet er perfekt, således at der kun er tale om forskydningsdeformationer i fugebetonen, er stivheden vel 20-50 gange så stor. For fuger med en anden fortandingsbredde kan stivheden ændres proportionalt med fortandingsbredden.



#### 6.4 Vægges indbyrdes samvirken.

Et andet problem ved huse af præfabrikerede betonelementer knytter sig til omfordelingen af den lodrette last. I denne type huse anvendes ofte enkeltspændte dæk, det vil sige at kun væggene i den ene retning (i det følgende kaldet tværvæggene) regnes belastet af dækkene. I praksis belastes også længdevæggene i nogen grad direkte af dækkene, men dette tages normalt ikke i regning. Endvidere overføres normalt en del af lasten fra dækkene til længdevæggene via vinkelsamlingerne mellem tvær- og længdevægge, og dette tages normalt i regning i fuldt omfang, dvs. således, at de lodrette normalspændinger bliver ens i længde- og tværvæg ved vinkelsamlingen. Denne antagelse giver normalt en regningsmæssig overførsel af lodret last til længdevæggen, som er for stor i forhold til virkeligheden, idet de virkelige forskydningsspændinger i fugen fra den hvilende, og tildels den bevægelige, lodrette last reduceres på grund af montagetakten (fugerne udstøbes sideløbende med forøgelsen af den hvilende last) og på grund af krybning.

Det er ikke muligt at bestemme den korrekte fordeling af den lodrette last, men man kan eventuelt gennemregne de to nedennævnte grænsetilfælde. Det ene tilfælde er fuld samvirken, svarende til, at vinkelsamlingen er etableret, således at normalspændingerne på begge sider af samlingen bliver ens. Det andet tilfælde er ingen samvirken, svarende til, at vinkelsamlingen ikke er etableret. Der er ikke i øjeblikket i SHEWALS indbygget mulighed for at betragte selve vinkelsamlingen som en fuge med endelig stivhed, men man kan naturligvis placere en fuge i nærheden af vinkelsamlingen, om det ønskes.

Et tilsvarende problem er differenssætninger af fundamentene. I SHEWALS er der indbygget mulighed for at tage hensyn til sådanne sætninger. Derimod kan differensvinkeldrejninger ikke tages i regning, idet en af metodens grundlæggende antagelser er, at alle delvægge "følges ad", dvs., at de er parallelle i alle niveauer. På grund af vanskelighederne ved at forudsige jordens sætninger kan man tænke sig, at muligheden for hensyntagen til

differenssætninger især vil blive anvendt i forbindelse med grænsetilfældebetragtninger og til følsomhedsanalyser.

En mere speciel anvendelse af denne facilitet kan blive aktuel i forbindelse med beregning af en bygning med åben underetage: et vægssystem på søjler. En mulig fremgangsmåde i et sådant tilfælde er følgende iterative proces: Først antages det, at vægsystemet er fast indspændt i niveau med undersiden af den regulære, øverste del af vægsystemet, og systemet gennemregnes på normal vis med SHEWALS, som bl.a. giver snitkræfterne i hver delvæg midt i nederste etage. Herefter er det en simpel sag at finde snitkræfterne i indspændingsniveauet. Nu betragtes underbygningen, som vel normalt vil bestå af et antal høje bjælker, understøttet på søjler, og af nogle stabiliserende vægskiver. Belastningen på dette system er de netop fundne snitkræfter, og systemets deformationer kan herefter beregnes, f.eks. ved hjælp af elementprogrammet NARC-SLISTRUC, se (6).

Disse deformationer kan udtrykkes som sætninger og vinkeldrejninger af hver enkelt delvægs indspændingssnit. De fundne vinkeldrejninger vil normalt ikke opfylde SHEWALS betingelse om, at alle delvægges indspændingsplaner skal være parallelle. Imidlertid må betingelsen være nogenlunde opfyldt i virkeligheden, idet delvæggene er koblet sammen af dæk i hver etage. Virkningen af differensvinkeldrejningerne må derfor hurtigt klinge ud via spændings- og tøjningstilvækster i et område af begrænset højde, således at delvæggenes nedre regioner indtager en slags gennemsnitshældning. Virkningerne af differenssætningerne over hulrækkerne kan derimod forplante sig længere væk, populært sagt fordi hulrækkerne ikke er så stive mod lodret forskydning som dækkene er mod vandret forskydning og sammentrykning/udvidelse.

Man må derfor skønne en slags gennemsnitsvinkeldrejning for alle delvæggene og derefter beregne en differenssætning for hver hulrække og fuge på grundlag af de beregnede lodrette sætninger og gennemsnitsvinkeldrejningen. Herefter kan en SHEWALS-beregning med hensyntagen til disse nye differenssætninger gennemføres, og hele den øvrige procedure kan evt. gentages.

Et principielt bedre alternativ end den ovenfor beskrevne fremgangsmåde er en beregning af hele det kombinerede vægssystem under eet ved hjælp af NARC-SLISTRUC. Men i praksis vil man hurtigt løbe ind i vanskeligheder med at skaffe tilstrækkelig datamatkapacitet til et hus af en blot nogenlunde størrelse med en rimelig elementinddeling, med mindre bygningen kan opdeles i vægssystemer, der hvert kun består af ganske få vægge.

### 6.5 Efterkontrol.

Når en beregning med SHEWALS (og i øvrigt med en hvilken som helst beregningsmetode) er gennemført, bør man altid studere de fundne spændinger og vurdere, om de grundlæggende antagelser (her især antagelserne om homogent, lineærelastisk materiale) er rimelige på de spændingsniveauer, der er tale om. Her er især trækspændinger i beton ubehagelige. I afsnit 6.3 er problemet med revner i dørbjælkerne behandlet. Tilfældet trækrevner i delvæggene (s vandrette fuger) åbner for en stor problemkreds, som ikke kan behandles i denne rapport. Denne rapport dækker altså kun det tilfælde, at eventuelle lodrette trækspændinger er så små, at delvæggene ikke revner. I montagebyggeriet, hvor delvæggene normalt forbindes med fundamentet (kælderkonstruktionen) via en understopningsfuge, vil det sige, at rapporten ikke dækker de tilfælde, hvor der overhovedet forekommer lodrette trækspændinger i delvæggene.

## 7. LITTERATURHENVISNINGER

- (1) Chitty, L.:  
On the Cantilever Composed of a Number of Parallel Beams Interconnected by Cross-Bars. Philosophical Magazine (London), Series 7, Vol. 38, 1947, side 685-699.
- (2) Chitty, L., & Wen-Juh Wan:  
Tall Building Structures under Wind Load. Proceedings of 7th. International Conference for Applied Mechanics, Vol. 1, 1948, side 254-268.
- (3) Eriksson, Owe:  
Statisk beregning af vindafstivende vægge i højhuse. Ingeniøren 1961, side 453-462.  
Engelsk udgave i:  
Ingeniøren, International Edition, Vol. 5, No. 4, 1961, side 116-124.
- (4) Brugervejledning for SHEWALS. Et edb-program til beregning af afstivende vægsystemer. Statens Byggeforskningsinstitut.
- (5) Rosman, Riko:  
Analysis of concrete shear wall system. International Symposium on Bearing Walls, Warsaw, june 1969.
- (6) Brugervejledning for NARC Statens Byggeforskningsinstitut.
- (7) Cholewicki, Andrzej & Prestrud, Ole L.:  
Shear Walls. Model tests on prefabricated concrete elements. Norges Byggeforskningsinstitut, Rapport 70, Oslo 1971.
- (8) Cholewicki, Andrzej:  
Behaviour of prefabricated stiffening walls subjected to action of horizontal forces. CIB-symposium on Tall Buildings, Moscow, october 1971. CIB-Report No. 21, Moscow 1972

- (9) Paulay, Thomas:  
Coupling Beams of Reinforced Concrete Shear Walls.  
Journal of the Structural Division, ASCE, March 1971,,  
side 7984 f.f.
- (10) Hansen, Klaus og S. Øivind Olesen:  
Diagrammer til tilnærmet beregning af afstivende vægge.  
SBI-rapport 92, København 1974.
- (11) Hansen, Klaus og S. Øivind Olesen:  
Design of Vertical, Keyed Shear Joints in Large  
Panel Buildings.  
Påregnes udsendt som SBI-rapport.
- (12) Coull, Alexander & B. Stafford Smith (editors):  
Tall Buildings.  
Proceedings of a Symposium in Southampton, April 1966.  
Pergamon Press, Oxford 1967.

## 8. SUMMARY

In analysis of wind bracing wall systems, the walls are normally regarded as beams cantilevered from the ground level. Compared with simple beam theory the analysis of such walls is complicated by a variety of special circumstances. The walls are acting together, as they are interconnected, partly directly, partly through the floor diaphragms. The walls may be perforated by vertical rows of identical openings, and the individual parts of the walls may be connected by means of elastic joints. The width to height ratio of the walls is often so large, that the shear deformations are significant.

It is possible to account for most of these complications by analysing the wall systems by means of the so called continuous shear connection method. This method has - in various versions - formed the base of several computer programs, e.g. SHEWALS, which is developed at the Danish Building Research Institute. The method - and especially SHEWALS - is demanding very little computer time and thus results in inexpensive analyses.

Use of this method demands - like the use of any other method - the setting up of a structural model, i.e. a simplified picture of the construction. This model must of course satisfy the specific limitations of the method of analysis concerned. As the design of the structural model often has a considerable effect on the results of the analysis, one should design or choose the structural model with great care.

The main purpose of this report is to assist the user of SHEWALS in the setting up of the structural model, while the SHEWALS user's manual describes how this structural model is transferred into input data for the program. This report and the user's manual thus are supplementary to one another. A great part of the report however may be used also in cases, where SHEWALS is not used.

Firstly the report describes the continuous shear connection method and the type of structural models, on which the method can be used.

Secondly a number of detail problems in connection with the structural models are discussed. The stiffness of lintels against vertical displacement depends among other things on the effectiveness of their fixing to the walls. This report gives - in the form of graphs, see figure 5.4 - 5.7 - some correction factors, which account for the degree of fixing, provided that the walls and the lintels consist of an ideal elastic material. The consequences of the lintels consisting of reinforced concrete in stead of an elastic medium are discussed in section 6.3. The method of analysis normally neglects a large part of the shear deformations of the structural model. Most of these deformations may however be taken into account rather simply. Sections 5.2 and 6.2 show how to account for shear deformations in wide walls by application of fictive joints, and section 6.3 tells how to account for the shear deformations of the real joints. Normally it is assumed, that the deformations of the floors in their own planes are insignificant compared to the deformations of the walls. In certain types of buildings, especially low rise buildings, this assumption is rather incorrect, and section 6.2 describes, how other assumptions may be incorporated in the analysis.

Finally, appendices II and III give some information on the accuracy of the method of analysis and of the indicated correction procedures, as a comparison is made between the results from 33 model tests and the results of the corresponding analysis by SHEWALS. The comparisons are limited to include narrow, plane wall systems. Hence they cover neither the whole field of application, nor all the correction procedures. In the covered field however, the agreement between test and calculation is good.



## III.3 Oversigt over modellernes geometriske og fysiske data.

Væg nr (bilag III)	101	102	103	201	601	602	605
Væg nr (kildeartiklen)	1	2	5	-	-	-	-
Væghøjde H	21"	21"	22"	25,00 m	36,6"	36,6"	36,6"
Etagehøjde e	1"	1"	2"	2,50 m	1,664"	1,664"	1,664"
Dørbjælkehøjde (sub. dæktykkelse) h	0,25"	0,25"	1,25"	0,70 m	0,125"	0,125"	0,125"
Delvæg A's bredde $b_A$	4"	2,5"	2,75"	2,60 m	4"	4"	4"
Delvæg B's bredde $b_B$	4"	3"	2,75"	2,60 m	4"	4"	4"
Hulrækkens lysvidde $l$	2"	1,5"	1,5"	1,30 m	1"	1"	1"
Dørbjælketillæg (iflg. afsnit 5.1) $\Delta l$	0,15"	0,16"	0,82"	0,48 m	0,08"	0,19"	0,13"
Vægtykkelse t	0,625"	0,625"	0,625"	0,30 m	0,25"	0,25"	0,25"
Dækbredde	-	-	-	-	4"	2,25"	0,81"
$\alpha H$	1,60	2,86	10,7	7,77	7,38	4,80	3,11
Elasticitetsmodul E	452000 psi	464000 psi	464000 psi	-	525000 psi	525000 psi	525000 psi
Poissons forhold $\nu$	0,36	0,36	0,36	$\approx 0,33$	$\approx 0,31$	$\approx 0,31$	$\approx 0,31$

Væg nr (bilag III)	701	702	703	704	705	706	707
Væg nr (kildeartiklen)	A1	A2	A3	A4	C	B1a	B1b
Væghøjde H	31,5"	31,5"	31,5"	31,5"	31,5"	31,5"	31,5"
Etagehøjde e	2,25"	2,25"	2,25"	2,25"	2,25"	4,50"	4,50"
Dørbjælkehøjde h	0,375"	0,375"	0,375"	0,375"	1,125"	2,625"	2,125"
Delvæg A's bredde $b_A$	4,375"	4,06"	3,75"	6,25"	4,375"	3,75"	3,75"
Delvæg B's bredde $b_B$	4,375"	4,06"	3,75"	1,25"	4,375"	3,75"	3,75"
Hulrækkens lysvidde $l$	1,25"	1,88"	2,50"	2,50"	1,25"	2,50"	2,50"
Dørbjælketillæg (iflg. afsnit 5.1) $\Delta l$	0,27"	0,25"	0,24"	0,23"	0,81"	1,87"	1,50"
Vægtykkelse t	0,063"	0,063"	0,063"	0,063"	0,063"	0,063"	0,063"
$\alpha H$	3,88	2,83	2,30	1,76	10,0	10,5	9,29
Elasticitetsmodul E	$9,85 \cdot 10^5$ psi	$9,85 \cdot 10^6$ psi	$9,85 \cdot 10^6$ psi	$10,0 \cdot 10^6$ psi	$9,85 \cdot 10^6$ psi	$9,85 \cdot 10^5$ psi	$9,85 \cdot 10^5$ psi
Poissons forhold $\nu$	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34

## III.3 (fortsat)

Væg nr (bilag III)	708	709	710	711	801	802	1101
Væg nr (kildeartiklen)	B1c	B1d	B1e	B2	801	802	-
Væghøjde H	31,5"	31,5"	31,5"	31,5"	90,54 cm	90,00 cm	51,70 cm
Etagehøjde e	4,50"	4,50"	4,50"	4,50"	10,06 cm	1,25 cm	5,17 cm
Dørbjælkehøjde h	1,625"	1,125"	0,625"	2,625"	1,53 cm	0,76 cm	1,00 cm
Delvæg A's bredde $b_A$	3,75"	3,75"	3,75"	6,25"	3,98 cm	4,00 cm	5,17 cm
Delvæg B's bredde $b_B$	3,75"	3,75"	3,75"	1,25"	4,52 cm	4,50 cm	5,17 cm
Hulrækkens lysvidde $l$	2,50"	2,50"	2,50"	2,50"	7,49 cm	7,47 cm	3,45 cm
Dørbjælketillæg (iflg. afsnit 5.1) $\Delta l$	1,08"	0,74"	0,40"	2,04"	0,90 cm	0,45 cm	0,65 cm
Vægtykkelse t	0,063"	0,063"	0,063"	0,063"	0,50 cm	0,50 cm	1,00 cm
Fodnote	-	-	-	-	a)	a)	-
$\alpha H$	7,86	5,76	3,09	7,67	5,80	6,47	4,77
Elasticitetsmodul E	$9,85 \cdot 10^6$ psi	$9,85 \cdot 10^6$ psi	$9,85 \cdot 10^6$ psi	$10,0 \cdot 10^6$ psi	34400 kp/cm <sup>2</sup>	34400 kp/cm <sup>2</sup>	-
Poissons forhold $\nu$	0,34	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	$\approx 0,33$

a) Delvæggene var forsynet med flanger, jf. bilag II.

Væg nr (bilag III)	1201	1202	1401	1402	1501	1502	1602	1603
Væg nr (kildeartiklen)	3	4	A5	B3	A1	B1	Example 4	-
Væghøjde H	21"	21"	31,5"	31,5"	72,8 cm	72,8 cm	30"	54,78"
Etagehøjde e	1"	1"	2,25"	4,50"	5,6 cm	5,6 cm	1,20"	2,49"
Dørbjælkehøjde h	0,25"	0,25"	0,375"	2,625"	1,6 cm	1,6 cm	0,18"	0,376"
Delvæg A's bredde $b_A$	3"	2"	1,625"	1,625"	7,6 cm	9,4 cm	0,20"	4,55"
Delvæg B's bredde $b_B$	2"	2"	1,75"	1,75"	5,6 cm	2,0 cm	0,20"	0,56"
Delvæg C's bredde $b_C$	3"	2"	1,625"	1,625"	7,6 cm	9,4 cm	1,80"	0,56"
Delvæg D's bredde $b_D$	-	-	-	-	-	-	0,20"	4,55"
Hulrækkernes lysvidde $l$	2"	2"	2,5"	2,5"	1,6 cm	1,6 cm	b) 1,70"	d) 0,845"
Dørbjælketillæg $\Delta l$	0,15"	0,15"	0,22"	3,00"	1,15cm	1,40cm	c)	e)
Vægtykkelse t	0,625"	0,625"	0,063"	0,063"	0,3 cm	0,3 cm	0,282"	0,38"
Elasticitetsmodul E	464000 psi	464000 psi	$10,0 \cdot 10^6$ psi	$10,0 \cdot 10^6$ psi	-	-	620000 psi	442000 psi
Poissons forhold $\nu$	0,36	0,36	0,34	0,34	$\approx 0,33$	$\approx 0,33$	0,36	0,37

b): 1. hulrække dog:  $l = 1,60"$

d): 2. hulrække dog:  $l = 1,50"$

c): 1. hulrække 0,30", 2. hulrække 0,22", 3. hulrække 0,17"

e): 1. hulrække 0,35", 2. hulrække 0,45", 3. hulrække 0,35"

## III.4 Konklusioner.

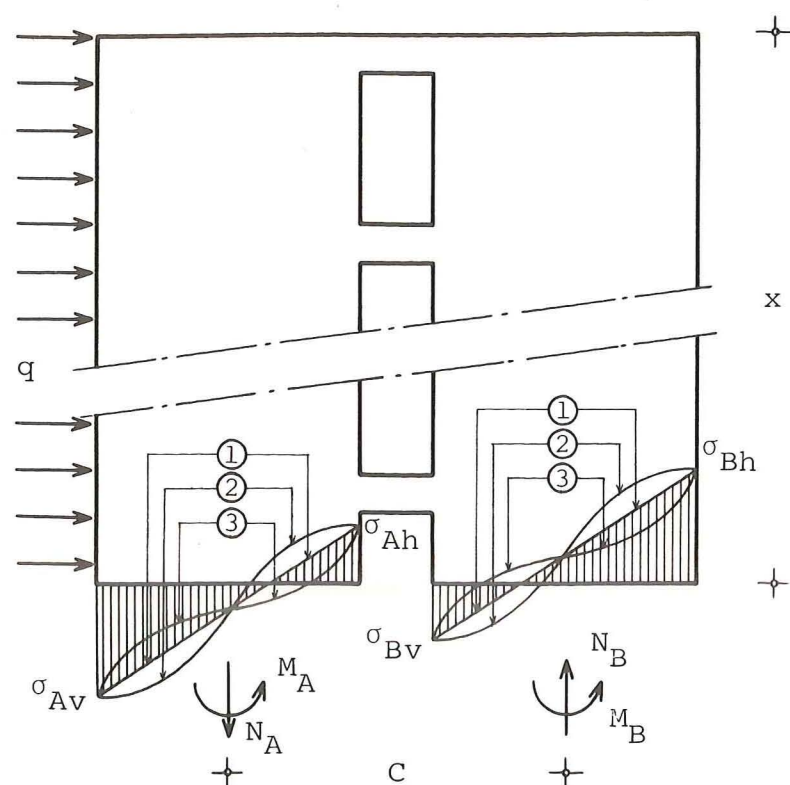
Undersøgelsens område er afgrænset gennem visse fælles træk ved de undersøgte vægge. Først og fremmest var der udelukkende tale om plane vægge, således at den omfordeling af kræfter, der sker gennem dækkene i et rumligt vægssystem, var elimineret. I denne henseende kunne også modellerne 601, 602, 605, 801 og 802 betragtes som plane vægge. Dernæst var der i alle tilfælde tale om slanke delvægge ( $b/H \leq 0,20$ ), således at også spørgsmålet om forskydningsdeformationer i delvæggene var uden betydning.

Til gengæld var der store variationer i udformningen af dørbjælkerne ( $0,10 \leq h/l \leq 1,05$ ) og i forholdet mellem dørbjælkerens og delvæggenes bøjningsstivheder ( $33 \cdot 10^{-6} \leq k \leq 13,1$ ; angående betydningen af  $k$ , se bilag I, formel (I.3) og figur I.1).

Forsøgene kan derfor især give oplysninger om forskydningslagets (hulrækkens) stivhed ved forskellige geometriske udformninger, og om godheden af beregningsmetoden og især dørbjælkertilægsreglerne i disse forskellige situationer.

Forskydningslagets stivhed kommer bl.a. til udtryk i hele væggen stivhed, som normalt er meget følsom over for ændringer i forskydningslagets stivhed. Væggen stivhed kan bestemmes ret sikkert og ret nøjagtigt ved måling af dens udbøjning for en kendt vandret last. De beregnede udbøjninger viste sig i alle situationer at være i god overensstemmelse med de målte, hvilket tyder på, at dørbjælkertilægsreglerne i afsnit 5.1 er rimelige.

Dørbjælkekræfterne er kun målt i tre vægge, som i øvrigt var ret ensartede, idet alle tre havde een hulrække, to lige stive delvægge,  $\alpha H$  mellem 5,8 og 7,8 samt ensformigt fordelt belastning. Her var overensstemmelsen mellem forsøg og beregning ikke så god som for udbøjningernes vedkommende, men trods modellernes ensartethed er det vanskeligt at uddrage nogen gene-



Figur III.2

Ligevægtsbetingelser for væg med een hulrække, snittet løs  $\frac{1}{2}$  etage over fundament.

På figuren er vist belastningen  $q$ , de målte spændinger  $\sigma_{Av}$ ,  $\sigma_{Ah}$ ,  $\sigma_{Bv}$  og  $\sigma_{Bh}$ , samt 3 forskellige spændingsfordelinger, hvori de målte spændinger indgår. Til hver af de viste spændingsfordelinger svarer der et sæt snitkræfter  $M_A$ ,  $N_A$ ,  $M_B$ ,  $N_B$ . Ligevægtsbetingelserne for den betragtede vægdel lyder da:

$$N_A = N_B = N$$

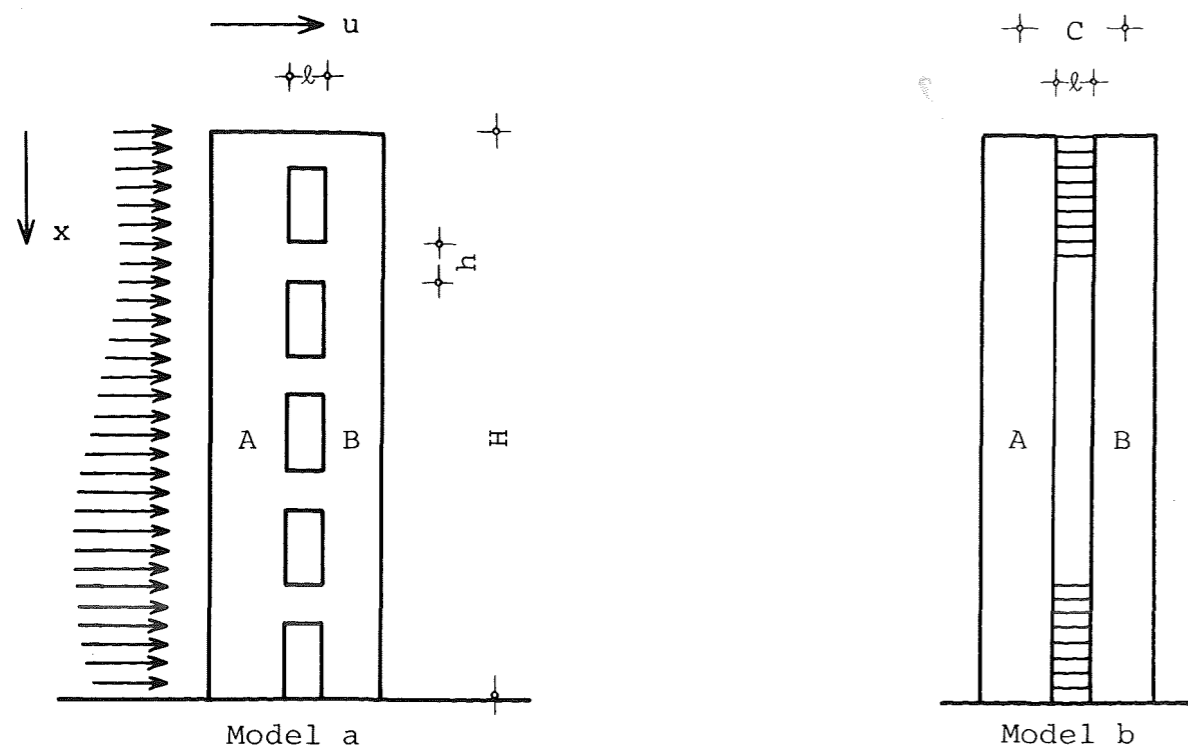
$$M_A + M_B + N \cdot C = \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$$

For mange vægge gjaldt det, at den retlinede spændingsfordeling ① medførte  $M_A + M_B + N \cdot C < \frac{1}{2} \cdot q \cdot x^2$ , således at spændingsfordelingen skulle være som ②, for at ligevægtsbetingelsen var tilfredsstillende.

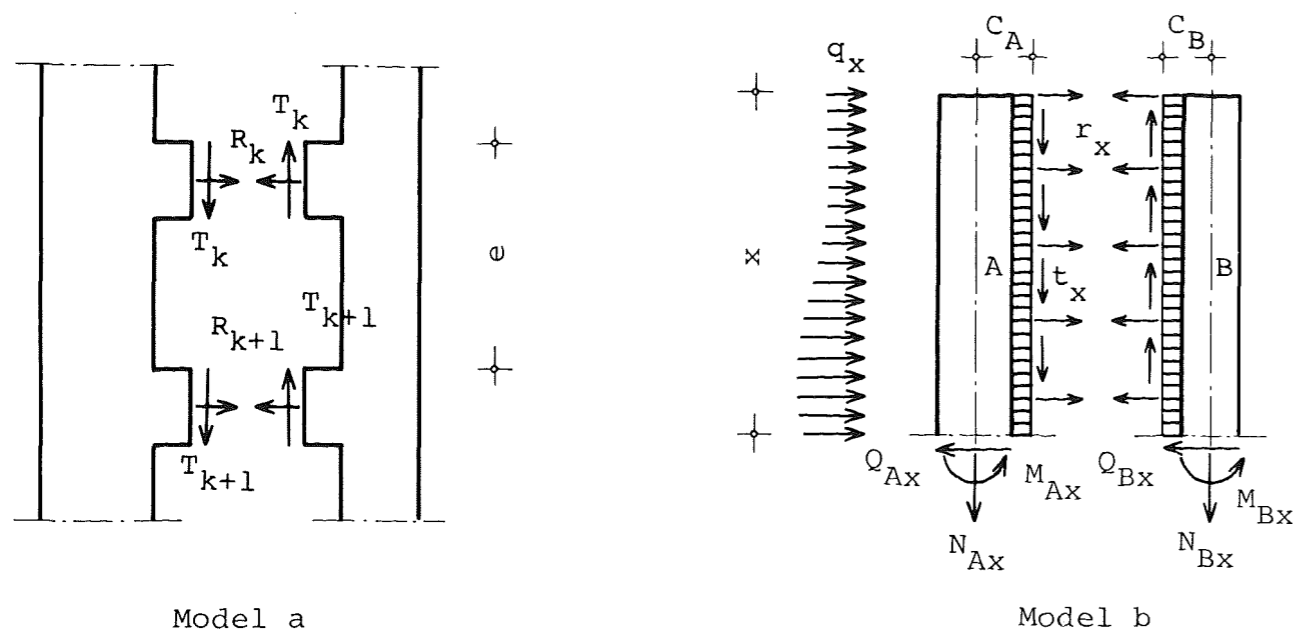
Det er dog almindeligt kendt, at spændingsfordelingen nær indspændingen snarere har form som kurve ③. Dette tyder på, at de målte spændinger var mindre end de virkelige.

rel tendens. Blandt andet er det uvist, om beregningen undervurderer eller overvurderer største dørbjælkekraft. Afvigelserne er dog ikke større end den usikkerhed, der i praksis generelt accepteres på en beregningsmetode.

For kantspændingernes vedkommende var der gennemgående god overensstemmelse. De steder, hvor overensstemmelsen var dårligst, tydede opstilling af ligevægtsbetingelser på, at de målte spændinger var for små, jf. figur III.2, således at der snarere var tale om fejl ved målemetoden og -udførelsen end ved beregningsmetoden.



Figur IV.1  
Beregningsmodeller for en plan væg med en hulrække.



Figur IV.2  
Udsnit af hovedsystemer for modellerne i figur IV.1.

BILAG IV. UDLEDNING AF FORSKYDNINGSLAGMETODENS FORMLER FOR EN PLAN VÆG MED EEN HULRÆKKE OG KUN VANDRET LAST.

IV.1 Beregningsmodel og forudsætninger.

Der betragtes en væg som vist i figur IV.1, model a. Væggen er idealelastisk for træk og tryk, og kun vandret belastet. Delvæggene A og B har tværsnitsarealer  $A_A$  og  $A_B$  og inertimomenter  $I_A$  og  $I_B$ . Afstanden mellem delvæggens tyngdepunkter er  $C$ . De øvrige antagelser (forudsætninger) er anført i kap. 4.

Ved at erstatte dørbjælkerne med et forskydningslag fremkommer den i figuren viste model b.

Idet kraftmetodens princip skal anvendes, opstilles de tilsvarende hovedsystemer ved at lægge lodrette snit gennem dørbjælkernes midter, hhv forskydningslagets midte, se figur IV.2. Antagelsen om, at dørbjælkerne er fast indspændte i delvæggene medfører, at snitmomenterne er nul i dørbjælkernes midter. De overtallige i model b er forskydningskræfter pr. længdeenhed,  $t_x$ , og normalkræfter pr. længdeenhed,  $r_x$ .

IV.2 Fysiske betingelser.

Forskydningslagets forskydningsstivhed defineres ved:

$$g = \frac{t_x}{d} \tag{IV.1}$$

hvor  $d$  er den indbyrdes lodrette flytning af delvæggens kanter, der medfører forskydningskraften  $t_x$  det pågældende sted.

For model a gælder tilsvarende, jf. formel (5.2):

$$K = \frac{T_k}{d} = \frac{12 EI_b}{\ell^3} \cdot \frac{1}{1+1,2(h/\ell)^2 (E/G)} \tag{IV.2}$$

Da de to modeller skal svare til hinanden, må  $T_k$  være lig med  $e \cdot t_x$  for samme lodrette forskydning. (IV.1) og (IV.2) medfører da:

$$g = \frac{T_k}{e \cdot d} = \frac{12 EI_b}{el^3} \cdot \frac{1}{1+1,2(h/l)^2 (E/G)} \quad (\text{IV.3})$$

### IV.3 Geometriske betingelser.

Til det valgte hovedsystem svarer de geometriske betingelser:

$$\delta_{rx} = 0 \quad (\text{IV.4})$$

$$\delta_{tx} = 0 \quad (\text{IV.5})$$

hvilket betyder, at de indbyrdes vandrette og lodrette flytninger af sammenhørende punkter på hver side af snittet skal være nul.

Da dørbjælkerne regnes udeformerbare i vandret retning, medfører (IV.4), at delvæggens udbøjningslinier er ens:

$$u_{Ax} = u_{Bx} \quad (\text{IV.6})$$

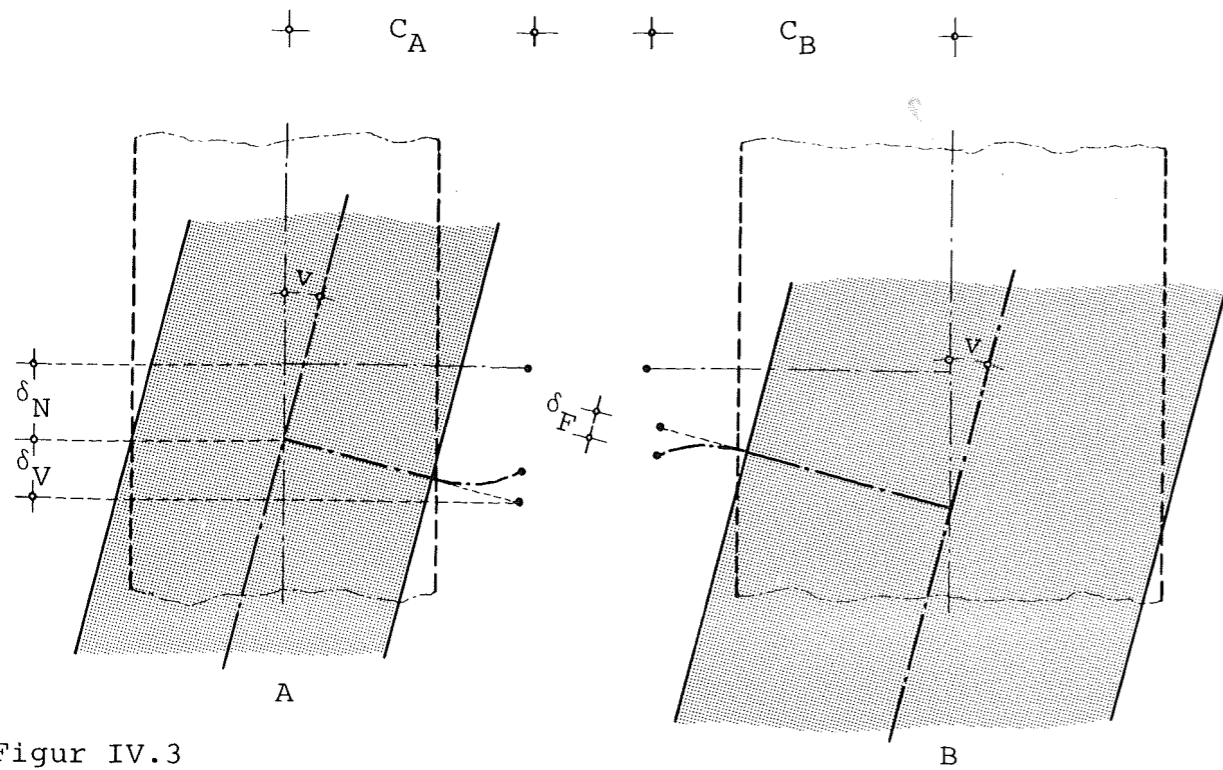
hvilket igen medfører:

$$\frac{d^2 u_{Ax}}{dx^2} = \frac{d^2 u_{Bx}}{dx^2} \quad (\text{IV.7})$$

Med de valgte fortegnsgdefinitioner for  $u$ ,  $x$ ,  $M_{Ax}$  og  $M_{Bx}$ , se figur IV.1 og IV.2, medfører antagelsen om den tekniske bjælketeoris anvendelighed på delvæggene:

$$\frac{d^2 u_{Ax}}{dx^2} = \frac{M_{Ax}}{EI_A} \quad (\text{IV.8})$$

$$\frac{d^2 u_{Bx}}{dx^2} = \frac{M_{Bx}}{EI_B} \quad (\text{IV.9})$$



Figur IV.3  
Mekanismen for lodrette flytninger af punkter på forskydningslagets lodrette midtlinie.

hvilket indsat i (IV.7) giver:

$$\frac{M_{Ax}}{I_A} = \frac{M_{Bx}}{I_B} = \frac{M_{Ax} + M_{Bx}}{I_A + I_B} \quad (\text{IV.10})$$

Den anden geometriske betingelse vedrører de lodrette flytninger  $\delta_A$  og  $\delta_B$  af to sammenhørende punkter på hver side af det lodrette snit i model b, se figur IV.3.

Hvert af punkternes lodrette flytning består af bidrag fra:

- delvæggens lodrette sammentrykning eller forlængelse:  $\delta_N$
- delvæggens vinkeldrejning:  $\delta_V$
- forskydningslagets deformation:  $\delta_F$

Disse bidrag regnes alle positive nedad.

$$\delta_{NA} = - \frac{1}{EA_A} \int_x^H N_{Ax} dx$$

$$\delta_{NB} = - \frac{1}{EA_B} \int_x^H N_{Bx} dx$$

$$\delta_{VA} = C_A \cdot v = - C_A \cdot \frac{du}{dx}$$

$$\delta_{VB} = - C_B \cdot v = C_B \cdot \frac{du}{dx}$$

} jf. fortegnsdefinitioner for u og x, figur IV.1.

$$\delta_{FA} = \frac{t_x}{2g}$$

$$\delta_{FB} = - \frac{t_x}{2g}$$

} jf. (IV.1) og fortegnsdefinitionen for  $t_x$ , figur IV.2

(IV.5) kan derfor skrives:

$$\delta_A - \delta_B = 0 \quad \Rightarrow$$

$$-\frac{1}{EA_A} \int_x^H N_{Ax} dx - C \frac{du}{dx} + \frac{t_x}{2g} - \left( -\frac{1}{EA_B} \int_x^H N_{Bx} dx + C_B \frac{du}{dx} - \frac{t_x}{2g} \right) = 0$$

eller, da  $N_{Ax} = -N_{Bx}$  og  $C_A + C_B = C$ :

$$\left( \frac{1}{EA_A} + \frac{1}{EA_B} \right) \int_x^H N_{Bx} dx - C \frac{du}{dx} + \frac{t_x}{g} = 0 \quad (\text{IV.11})$$

#### IV.4 Statiske betingelser.

Idet den resulterende forskydningskraft på strækningen  $x$  skrives:

$$T_x = \int_0^x t_x dx \quad (\text{IV.12})$$

kan følgende ligevægtsbetingelser opstilles, jf. figur IV.2:

$$N_{Ax} = -T_x \quad (\text{IV.13})$$

$$N_{Bx} = T_x \quad (\text{IV.14})$$

$$M_{Ax} + M_{Bx} = M_{qx} + C \cdot T_x \quad (\text{IV.15})$$

hvor  $M_{qx}$  er momentet af den vandrette last omkring et punkt i afstanden  $x$  fra væggen top.

## IV.5 Reduktion af ligningssystemet.

Ved indsætning af (IV.14) i (IV.11) og ombytning af integrationsgrænser fås:

$$-\frac{1}{E} \left( \frac{1}{A_A} + \frac{1}{A_B} \right) \int_H^x T_x dx - C \frac{du}{dx} + \frac{1}{g} \cdot \frac{dT_x}{dx} = 0 \quad (\text{IV.16})$$

Dette udtryk differentieres m.h.t.  $x$  og multipliceres med  $g$ :

$$-\frac{g}{E} \left( \frac{1}{A_A} + \frac{1}{A_B} \right) T_x - g C \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2T_x}{dx^2} = 0 \quad (\text{IV.17})$$

Udtrykkene (IV.8)....(IV.10) og (IV.15) medfører:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = \frac{1}{E} \cdot \frac{M_{Ax} + M_{Bx}}{I_A + I_B} = \frac{1}{E} \cdot \frac{M_{qx} + C \cdot T_x}{I_A + I_B} \quad (\text{IV.18})$$

(IV.18) indsættes i (IV.17), som derefter ordnes:

$$\frac{d^2T_x}{dx^2} - \alpha^2 T_x - \beta M_{qx} = 0 \quad (\text{IV.19})$$

hvor

$$\alpha^2 = \frac{g}{E} \left( \frac{1}{A_A} + \frac{1}{A_B} + \frac{C^2}{I_A + I_B} \right) \quad (\text{IV.20})$$

$$\beta = \frac{g}{E} \cdot \frac{C}{I_A + I_B} \quad (\text{IV.21})$$

Hvis man indfører  $I_S$  = hele vægtværsnittets inertimoment om tværsnittets tyngdepunkt og  $I_O = I_A + I_B$  = summen af delvægenes tværsnits inertimomenter om deltværsnittenes tyngdepunkter, kan (IV.20) i øvrigt omformes til:

$$\alpha^2 = \frac{g}{E} \left( \frac{1}{A_A} + \frac{1}{A_B} \right) \frac{I_S}{I_O} \quad (\text{IV.22})$$



## IV.6 Løsning af ligningssystemet.

Udtrykket (IV.19) er en inhomogen, 2-ordens differentiaalligning med konstante koefficienter. Det fuldstændige integral hertil er:

$$T_x = A \sinh(\alpha x) + B \cosh(\alpha x) - \frac{\beta}{\alpha^2} M_{qx} - \frac{\beta}{\alpha^4} M_{qx}'' - \dots \quad (\text{IV.23})$$

hvor A og B er arbitrære konstanter, som bestemmes ved randbetingelserne:

$$T_x = 0 \text{ for } x = 0 \quad (\text{IV.24})$$

$$\frac{dT_x}{dx} = t_x = g \cdot d = 0 \text{ for } x = H \quad (\text{IV.25})$$

(IV.25) forudsætter, at væggen er geometrisk indspændt i fundamentet, og at forskydningsdeformationerne i delvæggene kan negligeres.

Ved differentiation m.h.t. x af (IV.23) fås.

$$t_x = \alpha A \cosh(\alpha x) + \alpha B \sinh(\alpha x) - \frac{\beta}{\alpha^2} M_{qx}' - \frac{\beta}{\alpha^4} M_{qx}''' - \dots \quad (\text{IV.26})$$

## IV.7 Fremgangsmåde ved løsning af konkret opgave.

1) g bestemmes: (IV.3)

2)  $\alpha^2$  og  $\beta$  bestemmes: (IV.20) og (IV.21)

3) Konstanterne A og B findes: (IV.23) ... (IV.26)

Nu kendes  $T_x$  og  $t_x$  som funktioner af x: (IV.23) og (IV.26)

4) Dørbjælkeforskydningskræfter findes som  $t_x \cdot e$  eller som

$$\int_x^{x+e} t_x dx$$

- 5) Snitkræfterne  $N$  og  $M$  i delvæggene bestemmes som funktioner af  $x$ : (IV.13), (IV.14), (IV.15) og (IV.10). Forskydningskraften  $Q_{Ax}$  kan bestemmes som differentialkvotienten af den del af snitmomentet, som ikke stammer fra  $t_x$ :  $Q_{Ax} = \frac{d}{dx}(M_{Ax} - M_{At_x})$ .  $Q_{Bx}$  bestemmes analogt hermed.
- 6) Spændingerne i delvæggene bestemmes efter Naviers formel og evt. Grashofs formel.
- 7) Væggens udbøjningslinie bestemmes: (IV.8) med grænsebetingelserne  $\frac{du}{dx} = 0$  for  $x = H$  og  $u = 0$  for  $x = H$ .

## SBI-rapporter

fortsat fra omslagets anden inderside

- 34 **Virkningen af byggetekniske fejl og mangler på vedligeholdelsesomkostningerne.** The Effect of Faults in Building Techniques on Maintenance Costs. Erik Allin. 1959. 46 p. A4. Kr. 13,80.
- 35 **Afløbsledninger og dræn.** Waste Pipes and Drains. Ove Hyllested. 1959. 22 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 36 **Røgundersøgelser ved større centralvarmeanlæg.** Smoke Problems at Big Heating Plants. Knud Hansen. 1960. 60 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 37 **Om rengøringsudgifter – deres afhængighed af bygningsmaterialer og udformning.** Cleaning Expenses – how they are Affected by the Materials and Planning of a Building. Alfred Born. 1960. 36 p. A4. Kr. 9,20.
- 38 **Samlingsproblemer i montagebyggeri.** Problems of Joining Room-Sized Building Units. Johs. F. Munch Petersen og Ove Eriksson. 1960. 2. reviderede udgave. 1963. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 11,50.
- 39 **Lydisolation i boligbyggeri.** Sound Insulation of Dwellings. Fritz Ingerslev og Jørgen Kristensen. 1960. 114 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 40 **Bestrygningsmidler til fugtige ydervægge.** Water Repellents for Exterior Brickwork. H. Dührkop og C. Falk. 1960. 48 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 41 **Bedre arbejdstegninger – et svensk forslag udarbejdet af HALTH-gruppen.** Better Working Drawings – a Swedish Proposal presented by the HALTH-committee. Sven A. Tyrén. 1960. 32 p. A4. Kr. 9,20.
- 42 **Facadebeklædningslementer.** Facing Elements. Knud E. C. Nielsen. 1961. 28 p. A4. (Udsolgt. Out of print).
- 43 **Projektmaterialets rationalisering.** Rationalization of Contract Documents. Bjørn Bindslev. 1961. 80 p. A4. Kr. 17,25.
- 44 **Boligventilation.** Ventilation of Houses. Poul Becher og L. Evensen. 1961. 84 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 45 **Villakvarterets udformning.** Planning of Garden Suburbs. Peter Bredsdorff. 1962. 22 p. A4. Kr. 11,50.
- 46 **Bibliography on Building Documentation 1938–1962.** R. Mølgaard Hansen. 1962. 40 p. A5. In English. Kr. 9,20.
- 47 **Dagophold og sovesteder i etageboligen. En undersøgelse af rummenes brug i 3- og 4-rums lejligheder.** Living Areas and Sleeping Places in Flats. A Study of the Utilization of the Rooms in 3- and 4-Room Flats. Aage Dalgas Rasmussen. 1963. 48 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 20,70.
- 48 **Vejledning i bedømmelse af kvaliteten af den ældre bygningsbestand til brug ved kondemnering efter lov om boligtilsyn.** Manual in Appraisal of the Quality of the Older Housing Stock According to the Rules for Condemnation Established by the Danish Building Inspection Act. Troels Smith. 1963. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 49 **Spredningen på radiatorventilers strømningsmodstand.** A Study of the Dispersion Displayed by Radiator Valves. Sven Mandorff, Kaj Ovesen og Hanne Spøhr. 1963. 82 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 50 **Fukt og fukttransport i porøse materialer.** Moisture and Migration of Moisture in Porous Materials. Annanias Tveit. 1964. 20 p. A4. Norsk tekst med engelsk resumé. Norwegian text with an English summary. Samtidig udsendt som rapport 39 fra Norges Byggeforskningsinstitutt. Kr. 9,20.
- 51 **Fjernvarmens økonomiske og juridiske problemer.** Economical and Legal Problems of District Heating. Frederik E. Olsen. 1964. 2. reviderede udgave 1971. 36 p. A4. Kr. 21,00.
- 52 **Sammenligning af varme- og lydtekniske forhold ved koblede vinduer og hermetikruder.** A Comparison between Double Windows and Sealed Double-Glazed Windows from a Thermal and Acoustic Point of View. Georg Christensen. 1965. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 17,25.
- 53 **Et forsøgsapparat til bedømmelse af ydervægges frostbestandighed.** A Test Apparatus for Evaluation of the Frost Resistance of Outer Wall Constructions. Georg Christensen. 1965. 22 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 17,25.
- 54 **Malings holdbarhed. Forsøg med maling af vinduer i nybygninger. Forsøg med maling af jernpladetage. En sammenligning af bygningsmalings holdbarhed uden dørs og i weather-Ometre.** The Durability of Paint. The Durability of Paint on Windows of New Houses. Testing the Paint of Galvanized Roofing Sheets. Correlation of the Durabilities of House Paints after Out-Door Exposure and after Testing in Weather-Ometers. Poul Becher, Karl Otto Juel Rasmussen og H. K. Raaschou Nielsen. 1965. 50 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 55 **Undersøgelse af et mindre fjernvarmeanlæg.** Investigation of a Small District Heating Plant. Peter Olufsen. 1965. 2. oplag 1967. 44 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 28,75.
- 56 **Måltypisering. Preferred Dimensions.** 1966. 112 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 57 **Indendørsklima i skoler.** Indoor Climate in Schools. Ib Andersen og G. R. Lundquist. 1966. 100 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 52,35.
- 58 **Charlottehøj. Erfaringer fra opførelsen af et muret højhus.** Charlottehøj. Experience Gained in the Erection of a Multi-Story Brickwork Building. 1967. 24 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 15,90.
- 59 **Full Scale Fire Tests. The Spread of Fire from a Chamber to a Corridor.** 1967. 56 p + Enclosure. A4. In English. Kr. 52,35.
- 60 **Boligundersøgelse i bebyggelsen Værebros Park.** User Study in the Housing Estate: "Værebros Park". Ingrid Gehl og Finn Vedel-Petersen. 1969. 54 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 61 **Elektrisk opvarmning ved vinterstøbning af beton.** Electric Heating by Winter-Concreting. Alice Kjær. 1969. 2. oplag 1969. 38 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 62 **Styrkeforsøg med dansk gran samt en vurdering af styrkesorteringens virkninger.** Strength Tests Applied to Danish Grown Spruce and an Evaluation of the Results of the Grading. Marius Johansen, T. Feldborg Nielsen og Hanne Spøhr. 1969. 22 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 18,40.
- 63 **Klargøring af ventilationsanlæg. Fire artikler.** Commissioning Air Distribution Systems. Four Articles. 1969. 44 p. A4. Danish text with an English summary. (Udsolgt. Out of print).
- 64 **Undersøgelse af lydisolation mellem boliger i rækkehuse og lignende bebyggelser.** Sound Transmission Between Individual Dwellings in Terrace Houses and Houses of Similar Types. Jørgen Kristensen. 1970. 40 p. + 3 tvlr. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 65 **Styrke- og stivhedsforsøg med brædder og plader til tage og gulve.** Strength and Rigidity of Boards and Sheets for Roofs and Floors. T. Feldborg Nielsen og Marius Johansen. 1970. 62 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 27,60.

# SBI-rapporter

fortsat fra omslagets indersider

- 66 **A Method to Determine the Dimensions of a Structural Element Corresponding to a Given Probability of Failure.** Eero Paloheimo. 1970. 26 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 67 **Forsøg med træforbindelser med bolte og mellemlæg.** Investigation of Timber Joints with Bolts and Connectors. T. Feldborg Nielsen og Marius Johansen. 1970. 46 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 68 **Sources of Error by Strain Gage Measurements on Models Made of Plexiglas. A Theoretical and Experimental Analysis of Uncertainty and a Proposal for Principles of Testing.** Mogens Buhelt. 1971. 46 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 69 **Proposal for a Data Language. Second Report.** Olaf Kayser. 1970. 76 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 70 **Design of Interacting Systems for Production and Distribution of Ready Mixed Concrete. An OR-Study of a Multiple-Channel Queueing System with Erlang (Constant) Distributed Servicetime.** Erik Maaløe. 1971. 64 p. A4. In English. Kr. 36,80.
- 71 **Bo-miljø.** Living Environment. Ingrid Gehl. 1971. 2. oplag. 1973. 176 p. A5. Danish text with an English summary. Kr. 19,50.
- 72 **Rationalisering af el-installationer i montagebyggeri.** Rationalization of Electric Installations in Prefabricated Constructions. 1970. 64 p. A5. Danish text with an English summary. Kr. 21,00.
- 73 **Udviklingen i boligbyggeri og boligudgifter 1967 til 1985.** Development in Housing Construction and Housing Expenditure 1967 to 1985. Dan Ove Pedersen og Hanne Spøhr. 1971. 64 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 74 **Meninger om mennesker og miljø. En debatbog.** 20 Views on the Urban Environment. 1971. 172 p. A5. Kr. 19,50.
- 75 **Tæt lav – en boligform: Eksempelsamling.** Low-Rise High-Density Housing: 83 Examples. 1971. 182 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 76 **Tæt lav – en boligform: Bo-miljøundersøgelse i 11 bebyggelser.** Low-Rise High-Density Housing: User Reactions in 11 Projects around Copenhagen. 1971. 3. oplag 1971. 192 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 77 **Tæt lav – en boligform: Planlægning.** Low-Rise High-Density Housing: Planning. 1971. 2. oplag 1974. 160 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 78 **BIM 70. SBI's indeklimatiske undersøgelser.** SBI's Indoor Climate Measurements. Poul Becher, Ole Valbjørn og Erik Christophersen. 1971. 36 p. A4. Kr. 23,00.
- 79 **Measurement of Moisture Transfer in Building Materials.** Alice Kjær og Georg Christensen. 1971. 18 p. A4. In English. Kr. 23,00.
- 80 **BIM 71. SBI's indeklimatiske undersøgelser.** SBI's Indoor Climate Measurements. Poul Becher, Peter Olufsen, Ole Valbjørn, Bo Andersen og Erik Christophersen. 1972. 40 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 23,00.
- 81 **Tolerances and Accuracy in Building. Colloquium Organized by CIB Working Commission W49 in Collaboration with FIG.** CIB Report No. 16. 1972. 142 p. A4. English text with a French summary, partly also in French with an English summary. Kr. 74,75.
- 82 **Tæt lav – en boligform: Idékonkurrence om byggesystemer og bebyggelsessystemer.** Low-Rise High-Density Housing: Ideas Competition on Building Systems and Housing Systems. 1972. 304 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 59,80.
- 83 **Tæt lav – en boligform: Realisering.** Low-Rise High-Density Housing: Implementation. Under forberedelse.
- 84 **Forsøg med søms udtræksstyrke.** Withdrawal Resistance of Nails. T. Feldborg og Marius Johansen. 1972. 54 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 46,00.
- 85 **Forskning for fremtiden. Metodesamling om fremtidsorientering med eksempler især fra byggeri og teknologi.** Future Research. Collection of Methods on Futurology with Examples mainly from Housing and Technological Development. Erik Maaløe. 1972. 174 p. A5. Danish text with an English summary. Kr. 46,00.
- 86 **BIM 72. SBI's indeklimatiske undersøgelser.** SBI's Indoor Climate Measurements. Poul Becher, Ole Valbjørn, Niels Jonassen, Svein Myklebost, Peter Olufsen, E. Christophersen, Al. Christea og T. Teretean. 1973. 42 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 26,10.
- 87 **Enliges boligproblemer.** Housing Problems for Single Persons. Poul Poulin Nielsen. 1973. 72 s. A4. Danish text with an English summary. Kr. 46,00.
- 88 **Vagtdordning for el-installationer – en forbrugerservice.** Service Organizations for Electrical Installations – A Consumer Service. Søren Skibstrup Eriksen og Kaj Ovesen. 1973. 24 s. A5. Danish text with an English summary. Kr. 14,60.
- 89 **Vejrdata for VVS-tekniske beregninger. Referenceår.** Meteorological Data for Design of Building and Installation: A Reference Year. Bo Andersen, Stig Eidorff, Hans Lund, Erik Pedersen, Stig Rosenørn og Ole Valbjørn. 1974. 70 s. A4. Danish Text with an English Summary. Kr. 59,00.
- 90 **BIM 73. SBI's indeklimatiske undersøgelser.** SBI's Indoor Climate Measurements. Poul Becher, Ove Nielsen, Ole Valbjørn og Erik Christophersen. 1974. 28 p. A4. Danish text with an English summary. Kr. 26,10.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUTS publikationer er udsendt i følgende udgivelsesrækker: *SBI-anvisninger*, *SBI-rapporter*, *SBI-landbrugsbyggeri*, *SBI-byplanlægning*, *SBI-lydpjecer*, *SBI-fugtpjecer*, *SBI-ydeevnebeskrivelser*, *SBI-nomogrammer for tryktab i rør*, *SBI-særtryk*, *SBI-notater*, *Progress Reports vedrørende alkalireaktioner i beton*, *Alkali-udvalgets vejledninger*, *SBI-studier*, *SBI-interne studier*, *Nyt skolebyggeri*. Alle SBI-publikationer fås gennem boghandelen eller hos Teknisk Forlag, Skelbækgade 4, 1717 København V. Telefon (01) 21 68 01. – Er De interesseret i at blive holdt orienteret om nye publikationer fra SBI, er der en fordelagtig abonnementsordning. – Rekvirér SBI's publikationsfortegnelser.