



Forblad

Forsøg med Hulstensdæk

K.W. Johansen

Tidsskrifter

BSM 17-2 Bygningsstatistiske Meddelelser

1946

FORSØG MED HULSTENS DÆK

BERETNING FRA LABORATORIET FOR BYGNINGSSTATIK
VED K. W. JOHANSEN

I 1944—45 har Laboratoriet udført Forsøg med forskellige Typer af Hulstensdæk til Belysning af disses Bæreevne overfor koncentrerede Belastninger fra Skillerum o. l. virkende parallelt med Blokrækkerne. Projekteringen af Forsøgsdækkene foretoges af et Forsøgsudvalg, der var nedsat af Dansk Ingeniørforenings Udvalg til Normer for Hulstensdæk.

Forsøgenes Udførelse.

Forsøgene udførtes med Hulsten af forskellige Fabrikater, dels med Dæk uden Overplade, dels med Overplade; endvidere med Dæk fremstillet af specielle Hulsten uden Underplade.

Dækkene, der var $4,0 \times 4,2$ m, blev prøvet paa Laboratoriets Spændepan, idet de blev oplagt med Spændvidden 4,0 m paa de to 4,0 m lange

Sider, saa Ribberne blev vinkelret paa Understøtningerne. Den midterste Ribbe blev belastet med 8 Presser i 0,5 m indbyrdes Afstand, som vist skematisk i Fig. 7.

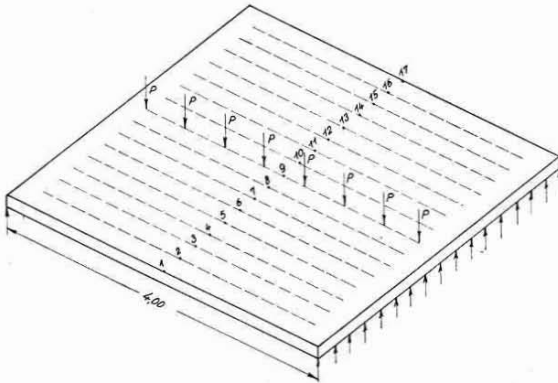


Fig. 7.

Samtlige 17 Ribbers Nedbøjninger paa Midten blev bestemt ved et Præcisionsnivelement, og Ribbernes Forkortelse i Oversiden maalt med et Berrytenso-

meter med 20 cm Maalelængde, ligeledes paa Midten. Belastningen paaførtes i passende Trin, og der blev aflastet efter hvert, saa baade blivende og elastiske Formforandringer kunde bestem-

mes. I Begyndelsen af Forsøget aflæstes efter 5 Minutters Belastning, senere efter 10 og ved Slutningen efter 15 Minutters Belastning. Ved Aflastning aflæstes efter 2—5 Minutters Aflastning.

Dækkene støbtes paa Pladsen uden for Laboratoriet og blev efter Afformningen understøttet paa en lille Boggie i hvert Hjørne og saaledes kørt paa Plads til Forsøget. I den vaade og kolde Aarstid blev Dækkene først prøvet, efter at de havde været i Hus 8—14 Døgn, saa de var godt tørre ved Forsøget.

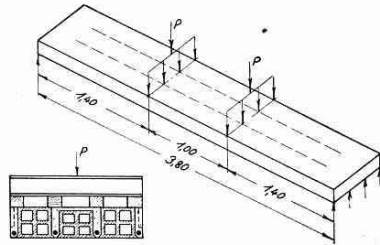


Fig. 8.

Til Ledsage- og Kontrolforsøg støbtes samtidig med hvert Dæk og af samme Betonblanding:

- 1 Bjælkestrimmel til Bøjningsforsøg 4,0 m lang
- 6 Par sammenstøbte Blokke til Bøjningsprøve
- 3 delvis udstøbte Blokke til Adhæsionsprøve
- 1 Prisme $40 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ til Elasticitetsmaaling for Beton
- 1 Tærning med 10 cm Sidelinie til Bestemmelse af Betonstyrken.

Endelig udførtes Prøver af Blokkene paa Statsprøveanstalten.

Bjælkestrimlerne havde 3 Blokrækker og var følgelig 0,75 m brede. De blev paa Prøveplanen belastet ved to Presser nær Trediedelspunkterne, idet Presserne havde 1 m indbyrdes Afstand og Spændvidden var 3,8 m. Trykket fra hver Presse blev fordelt til alle fire Ribber

(Fig. 8). De blev prøvet paa lignende Maade som Dækkene. Bøjningspilen paa de midterste 60 cm maales ved Maaleur, og Forkortelsen i Oversiden af de to midterste Ribber maales med Berrytensometer.

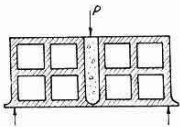


Fig. 9.

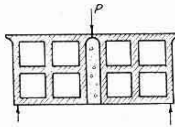


Fig. 10.

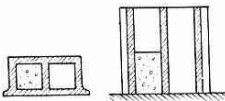


Fig. 11.

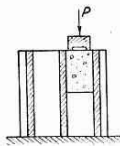


Fig. 12.

De sammenstøbte Blokpar blev i den lille Universalprøvemaschine belastet med en Enkeltkraft paa Ribben (Fig. 9) og understøttet i Enderne. Derved kunde Dækkets Bøjningsstyrke vinkelret paa Ribberne bestemmes.

Prøven blev ogsaa foretaget i omvendt Stilling, svarende til negative Momenter i Dækket (Fig. 10).

Ved *de udstøbte Blokke* blev Hulheden i den ene Ende udstøbt i en

Længde af ca. 10 cm (Fig. 11). Denne Prop blev ved Forsøget trykket løs (Fig. 12), og derved kunde Forskydningsspændingen ved Adhæsion bestemmes.

Ved *Prismerne* bestemtes Arbejdskurven nær op til Brud. Forkortelserne maalt med Huggenberger-Tensometer med 10 cm Maalelængde.

Ved Knusning af *Tærningerne* bestemtes Betonens Tærningstyrke. Ved Forsøgene paa Statsprøveanstalten bestemtes Blokkenes Elasticitetskoefficient og Trykstyrke.

Efter Brud blev saavel Dæk som Bjælkestrimler ophugget, saa Brudtværsnittets Dimensioner og Jernets Placering kunde opmaales.

Endvidere blev der udtaget Trækprøver af hver Ribbes Armeringsjern. Ved denne Prøve bestemtes saavel Flydegrænse som Brudgrænse for samtlige Jern. Det anvendte Jern var Vindelstaal i Ribberne, medens eventuel Tværarmering var Rundjern.

Støbningens Udførelse.

Støbningen begyndte i Juni og sluttedes i December 1944. Til alle Forsøgsplader og tilhørende Strimler anvendtes færdigblandet Beton tilkørt i Rotertromler. Til Betonen var benyttet Portland-Cement, Strandsand og Strandærtsten. Konsistensen var flydende (Slump 20—24), og Blandingsforholdet var $1:2:2\frac{1}{2}$ med Undtagelse af de tre først støbte Plader (R1, R3 og R4), for hvilke benyttedes Blandingsforhold $1:2\frac{1}{2}:2$.

For de Plader, der støbtes i den varme Sommertid, gennemførtes Vandingen saaledes: Hulstenene var i Reglen anbragt i Forskallingen Dagen før Støbningen og blev da vandet meget stærkt med Slange ved Fyraftenstid. Paa Støbedagen vandedes meget stærkt ved 7-Tiden om Morgenen og vandedes igen (mindre stærkt) umiddelbart før Støbningen, der i Reglen udførtes midt paa Dagen (Kl. 10—14). Efter Støbningen tildækkedes med Halmmaatter, der vandedes 2—3 Gange daglig i 8 Dage.

For de Plader, der støbtes i den fugtige Efteraarstid, udførtes Vandingen paa samme Maade, blot med Anvendelse af mindre Vandmængder.

Beskrivelse af Dækkene:

Røselerdæk.

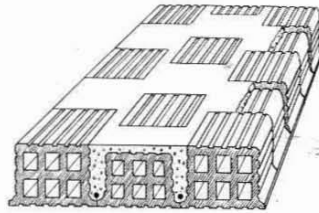
R1 10,5/12 Blokke uden Overbeton. Tykkelse af Dæk 12,5 cm, Armering 1 Vj. 17 + 3 Vj. 14 mm pr. m.

R2 som R1, men med specielle Blokke uden Underplade. Ved dette Dæk blev de ledsagende Bøjeprøver med sammenstøbte Blokke erstattet af Bøjeprøver med de specielle Blokkes Overplade.

- R3 14/16 Blokke med 3 cm uarmeret Overbeton. Tykkelse af Dæk 19,5 cm, Armering 1 Vj. 27 + 3 Vj. 24 mm pr. m.
 R4 som R3 men med Tværarmering 4 Rj. 7 mm pr. m i Overbetonen. De ledsagende Bøjeprover udførtes ogsaa med Overbeton, men uden Armering i denne.

Baumadæk.

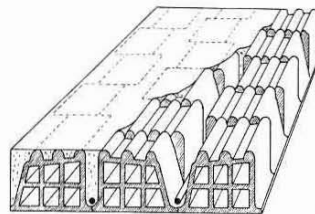
- B1 12 cm Baumablokke uden Overbeton. Tykkelse af Dæk 12 cm, Armering 4 Vj. 19 mm pr. m.
 B2 som B1.
 B3 20 cm Baumablokke uden Overbeton. Tykkelse af Dæk 20 cm, Armering 4 Vj. 24 mm pr. m.
 B4 som B3, men med specielle Blokke, der kun bestod af Overplade og Sider, saa Bundpladen, Mellemladen og Mellemvæggene manglede. De ledsagende Bøjeprover udførtes med Blokkenes Overplade som ved R2.



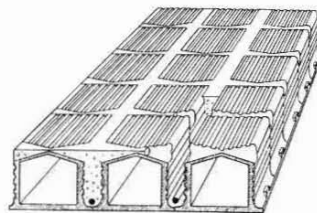
Røseler Dæk

Sperledæk.

- S1 20 cm Blokke af Klinkerbeton uden Overbeton, Tykkelse af Dæk 20 cm, Armering 2 Vj. 24 + 2 Vj. 22 mm pr. m.
 S2 som S1.
 S3 12 cm Blokke af Tegl med 2 cm uarmeret Overbeton. Tykkelse af Dæk 14 cm, Armering 2 Vj. 22 + 2 Vj. 19 mm pr. m.
 S4 Som S3, men med Tværarmering 4 Rj. 10 mm pr. m i Overbetonen. De ledsagende Bøjeprover udførtes ogsaa med Overbeton, men uden Armering.
 S5 20 cm Blokke af Klinkerbeton uden Overbeton med Tværribber for hveranden Blokrække og Tværarmering 1 Rj. 14 mm forneden i hver Tværribbe. Tykkelse af Dæk 20 cm, Armering 2 Vj. 24 + 2 Vj. 22 mm pr. m. S5 er saaledes krydsarmeret. De ledsagende Bøjeprover udførtes med en Tværribbe svarende til 9 Blokke.



Bauma Dæk



Sperle Dæk

Fig. 13.

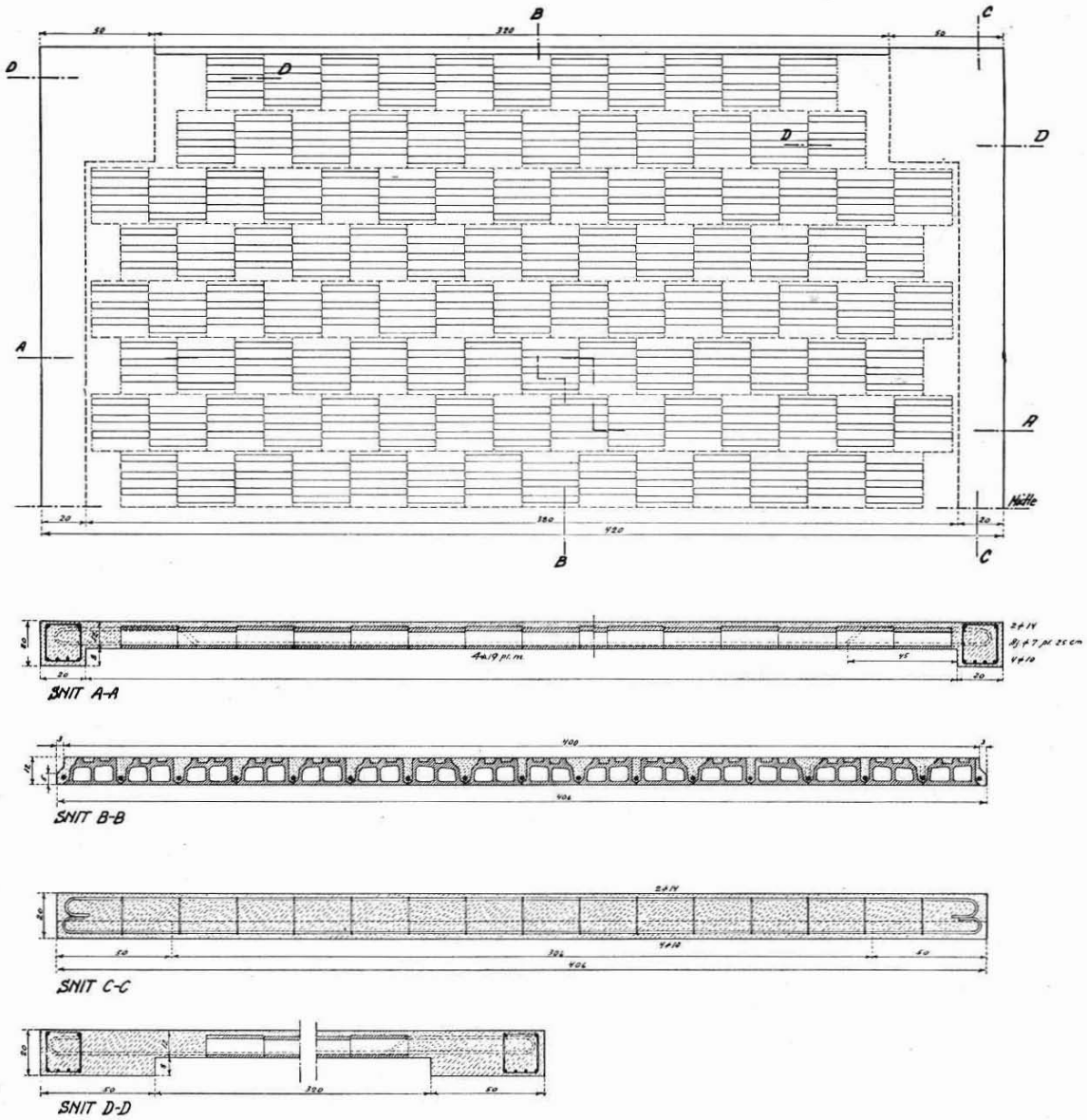


Fig. 14. B 1 og 2.

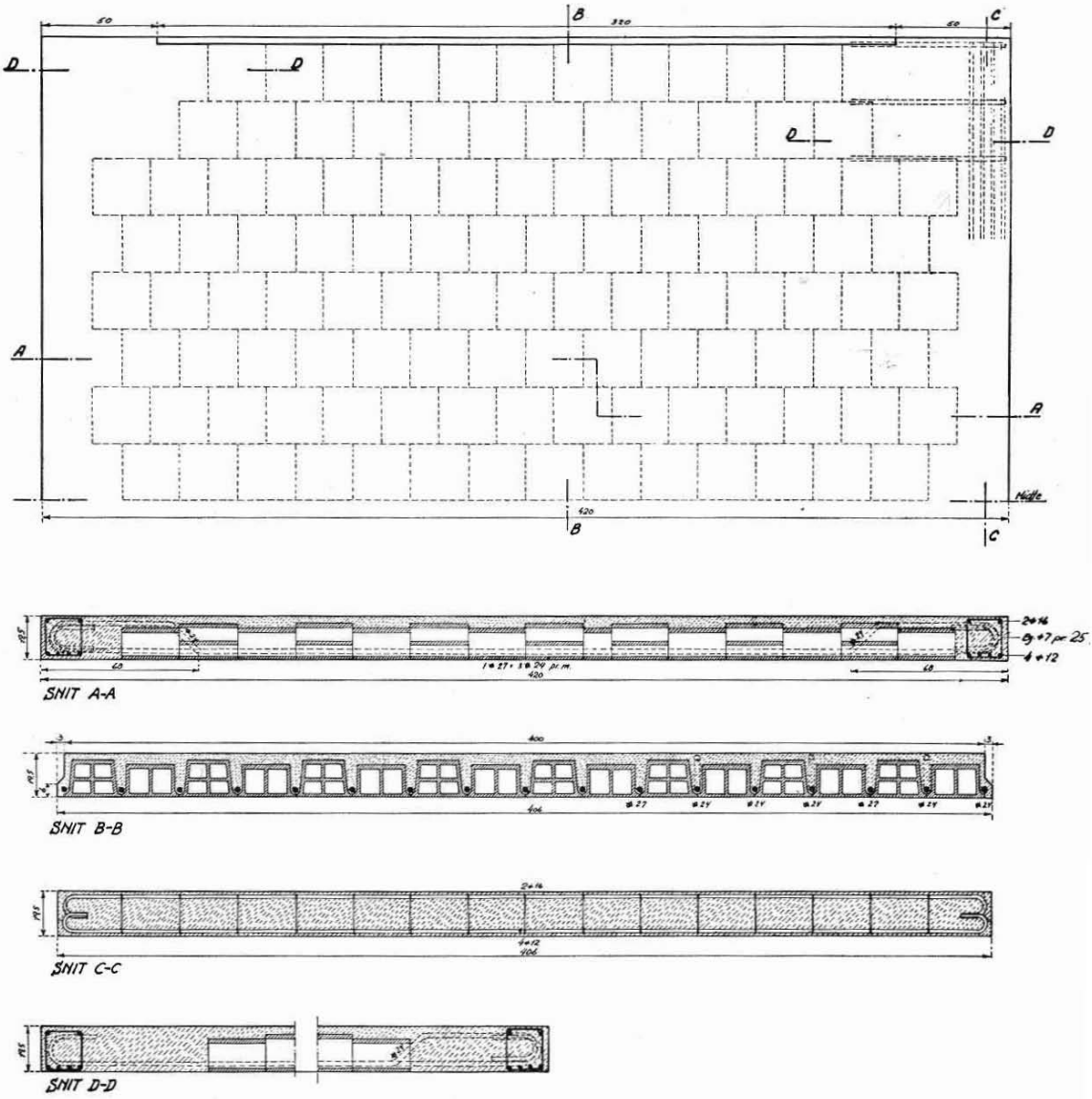


Fig. 15. R 3.

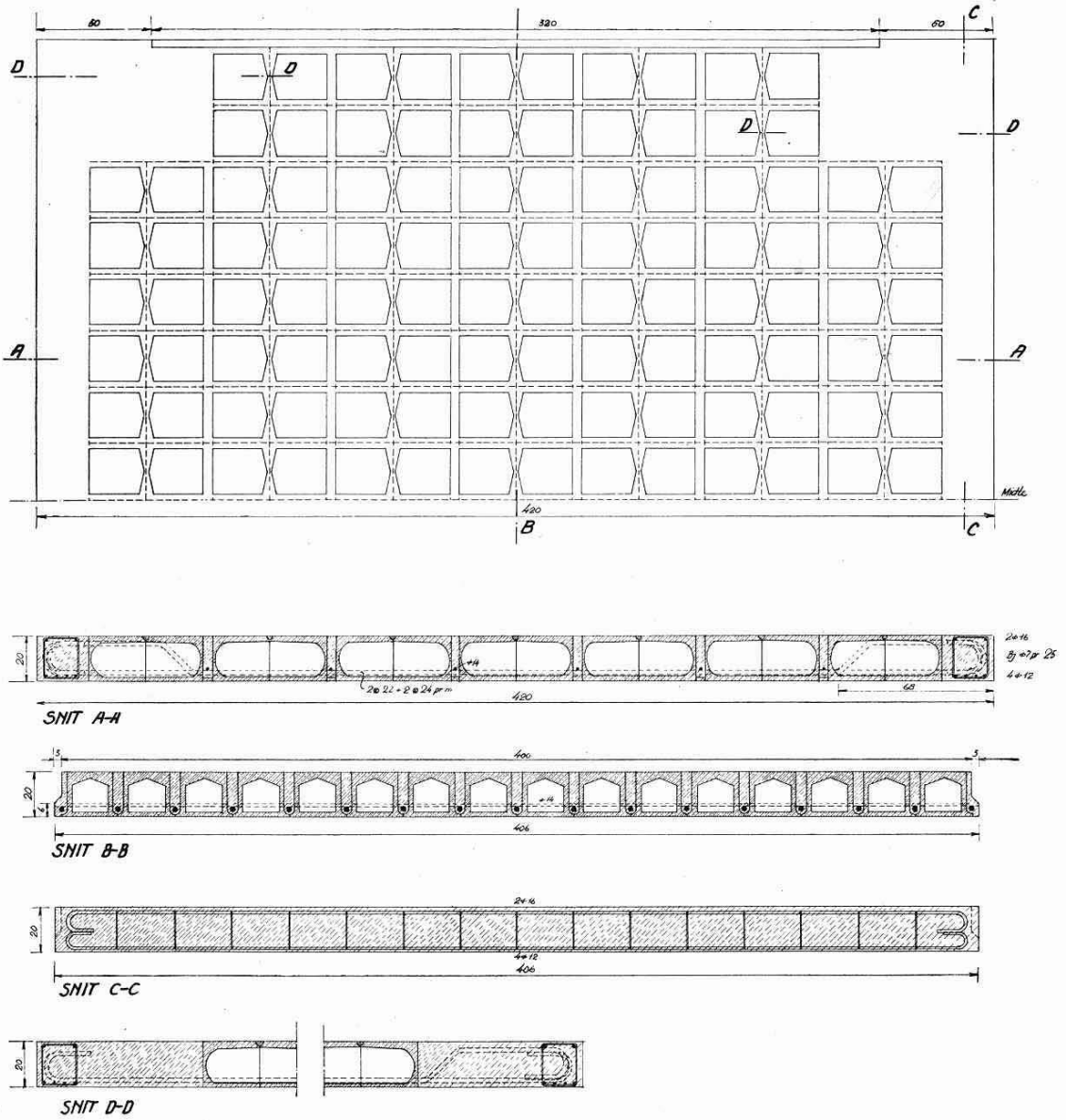


Fig. 16. S 5.

| Dæk-tykkelse i cm | Dæk uden Overplade | | | Dæk med Overplade | | Fabrikat |
|-------------------|--------------------|----------------|---------------|--------------------|-------------------|----------------------------|
| | uden Underplade | med Underplade | kryds-armeret | Overplade uarmeret | Overplade armeret | |
| 12—14 | R 2 | R 1 B 1 B 2 | | S 3 | S 4 | Røseler Bauma Sperle |
| ca. 20 | B 4 | B 3 S 1 S 2 | S 5 | R 3 | R 4 | Røseler Bauma Sperle |

I ovenstaaende Oversigt er Dækkene opdelt i Grupper efter Fabrikat, Tykkelse og Udførelse.

Systemet i de anvendte tre Fabrikater er vist i Fig. 13, der gælder for Dæk uden Overplade. I Fig. 14—16 er vist tre karakteristiske Prøvedæk.

Samtlige Dæk var over begge Understøtninger forsynet med en Jernbetonbjælke med 20 × 20 cm Tværsnit og armeret med 4 Rj. 10 mm i Undersiden og 2 Rj. 14 mm i Oversiden ved de tynde Dæk, medens de tykke Dæk havde henholdsvis 4 Rj. 12 mm og 2 Rj. 16 mm. Disse Bjælker var nødvendige af Hensyn til Dækkenes Transport, men da saadanne Bjælker i Reglen ogsaa maa anordnes i Praksis af Hensyn til Vindafstivningen, kommer Prøvedækkene derfor ikke i Strid med Praksis. Da Bjælkernes Indflydelse hovedsagelig maa søges i deres Hindring af Hjørnernes Letten fra Understøtningen, vil en Indmuring have den samme eller snarere kraftigere Virkning end en Bjælke; Dæk med Indmuring er derfor ikke daarligere stillet end Dæk med Bjælker.

Forsøgsresultater.

I Tabellerne I—III er Dækkenes Brudmomenter og Resultaterne af de ledsagende Prøver angivet. Ved Bøjepøverne er rent formelt beregnet en Bøjningsspænding svarende til et rektangulært Tværsnit med samme Højde som Prøvestykkets totale Højde. Samtlige Elasticitetskoefficienter gælder for Intervallet 0—50 kg/cm². En Del typiske Resultater fra Nedbøjnings- og Forkortelsesmaalingerne er vist i Fig. 17—21, hvor Fig. a viser Nedbøjningernes Fordeling i Midtertværsnittet, Fig. b Forkortelsernes Fordeling samme Steds og Fig. c Arbejdskurverne for den midterste Ribbe. Da Betonens Arbejdslinie er krum, bliver Spændingsfordelingen ikke helt som Forkortelserne angiver, men noget jævnere, da de store Forkortelser svarer til relativt mindre Spændinger. Det ret uregelmæssige Forløb af Kurverne i Figurerne b kan for en stor Del skyldes Dækkets uregelmæssige Overflade, der medfører, at de forskellige

Tabel I.

| Røslerdæk | | R 1 | R 2 | R 3 | R 4 | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---|---------|---------------------|-------|
| Forsøg med Dæk | Alder ved Prøve i Døgn. | 45 | 106 | 49 | 54 | |
| | Brudmoment M kgm ... | 5040 | 3780 | 13920 | 14320 | |
| | $\Sigma h_n P_F$ kg | 1840 | 1830 | 8630 | 8200 | |
| Bøjningsforsøg med Dækstrimler | Brudmoment m_B kg | — | — | 8230 | 8140 | |
| | Flydemoment m_F - | 1920 | 1920 | 7430 | 7120 | |
| | $\Sigma h_n P_F$ - | 1610 | 2000 | 8640 | 8280 | |
| Bøjeprøver med sammenstøbte Blokke | positivt Moment m_T kg | 208 | Blokke uden Underplader 28 Prøver m. følgende Resultat | 598 | } 380 | |
| | | 150 | | 382 | | |
| | | 82 | | 282 | | |
| | Bøjningsspænding kg/cm ² | 10,3 | | 9,4 | } 6,0 | |
| | | 5,8 | | 6,0 | | |
| | | 5,4 | | 4,5 | | |
| negativt Moment m'_T kg | 62 | 89 kg | 765 | } 666 | beregnes til 843 kg | |
| | 100 | Middel-værdi 56 kg | 690 | | | |
| | | Mindste Værdi 35 kg | 635 | | | |
| Bøjningsspænding kg/cm ² | 4,1 | 12,0 | 624 | } 10,5 | | |
| | 4,0 | 10,9 | 617 | | | |
| | | 10,0 | 9,8 | | | |
| Adhæsionsprøve | τ kg/cm ² | 13,5 | — | 20,7 | } 13,7 | } 7,1 |
| | | 6,2 | | 11,9 | | |
| | | 5,0 | | 8,5 | | |
| Prøver med Beton | Tærningstyrke ... kg/cm ² | 236 | 310 | 152 | 211 | |
| | Prismestyrke — | 216 | 230 | 142 | 175 | |
| | Elasticitetskoeff. — | 184.000 | 220.000 | 138.000 | 177.000 | |
| Prøver med 20 cm Blokke | Trykstyrke kg/cm ² | $\frac{1}{6} (192 + 220 + 267 + 286 + 305 + 458) = 288$ | | | | |
| | Elasticitetskoeff. — | $\frac{1000}{6} (126 + 163 + 156 + 171 + 164 + 235) = 1,69 \cdot 10^5$ | | | | |
| Prøver med 14 cm Blokke | Trykstyrke kg/cm ² | $\frac{1}{6} (338 + 365 + 381 + 417 + 418 + 464) = 397$ | | | | |
| | Elasticitetskoeff. — | $\frac{1000}{6} (241 + 190 + 209 + 209 + 291 + 236) = 2,29 \cdot 10^5$ | | | | |

Tabel II.

| Baumadæk | | B 1 | B 2 | B 3 | B 4 |
|------------------------------------|---------------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| Forsøg med Dæk | Alder ved Prøve i Døgn | 46 | 43 | 52 | 62 |
| | Brudmoment M ... kgm | 6800 | 8000 | 13860 | 7640 |
| | $\Sigma h_n P_F$ kg | 2465 | 3375 | 7290 | 6610 |
| Bøjningsforsøg med Dækstrimler | Brudmoment m_B kg | 2980 | — | 7150 | 7800 |
| | Flydemoment m_F - | 2700 | 2730 | 6300 | 7380 |
| | $\Sigma h_n P_F$ - | 3370 | 3260 | 7150 | 8630 |
| Bøjeprøver med sammenstøbte Blokke | positivt Moment m_T kg | 230 } 196 | 239 } 166 | 530 } 515 | Blokke uden Underplader 15 Prøver Største Værdi 58 kg Middelværdi 48 kg Mindste Værdi 38 kg |
| | | 203 } 155 } | 187 } 71 } | 510 } 505 } | |
| | | 9,7 } 8,9 } 8,4 | 10,6 } 7,5 } 7,0 | 7,8 } 7,5 } 7,5 | |
| | Bøjningsspænding kg/cm ² | 6,7 } 189 } 185 | 3,0 } 131 } 125 | 7,1 } 462 } 413 | |
| | | 7,9 } 176 } 7,7 } 7,7 | 5,7 } 122 } 5,3 } 5,4 | 7,1 } 413 } 6,3 } 6,3 | |
| | | 7,4 } 7,9 } 7,7 } 7,7 | 5,1 } 5,7 } 5,3 } 5,4 | 5,6 } 7,1 } 6,3 } 6,3 | |
| Adhæsionsprøve | τ kg/cm ² | 21,6 } 15,7 } 17,7 | 28,0 } 18,8 } 20,0 | 29,7 } 25,2 } 21,8 | |
| | | 15,7 } 15,7 } | 13,2 } 13,2 } | 22,2 } 19,8 } 16,9 } 16,8 } | |
| | | 15,7 } 15,7 } | 13,2 } 13,2 } | 19,8 } 16,9 } 16,8 } | |
| Prøver med Beton | Tærningstyrke ... kg/cm ² | 208 | 313 | 207 | 198 |
| | Prismestyrke — | 182 | 251 | 183 | 175 |
| | Elasticitetskoeff. kg/cm ² | 176.000 | 218.000 | 181.000 | 184.000 |
| Prøver med 12 cm Blokke | Trykstyrke kg/cm ² | $\frac{1}{6} (505 + 559 + 572 + 578 + 696 + 769) = 613$ | | | |
| | Elasticitetskoeff. — | $\frac{1000}{6} (214 + 220 + 218 + 189 + 253 + 331) = 2,38 \cdot 10^5$ | | | |

Forkortelser ikke maales i samme Højde over den neutrale Akse, og da denne maa regnes at ligge ret nær Oversiden under Forsøgets sidste Fase, faar disse Højdeforskelle en ikke uvæsentlig Betydning.

Figurerne a viser, at paa et vist Stadium af Forsøget opstaar der et

Tabel III.

| Sperledæk | | S 1 | S 2 | S 3 | S 4 | S 5 |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------|-------------------|------------|--|
| Forsøg med Dæk | Alder ved Prøve i Døgn | 53 | 66 | 60 | 94 | 72 |
| | Brudmoment M ... kgm | 11440 | 11160 | 7760 | 10160 | 19000 |
| | $\Sigma h_n P_F$ kg | 6960 | 6800 | 3900 | 4130 | 6915 |
| Bøjningsforsøg med Dækstrimler | Brudmoment m_B kg | 6010 | 6730 | 3720 | — | 8350 |
| | Flydemoment m_F - | 5640 | 6200 | 3510 | 4300 | 6800 |
| | $\Sigma h_n P_F$ - | 6250 | 6750 | 4200 | 4615 | 7790 |
| Bøjeprøver med sammenstøbte Blokke | positivt Moment m_T kg | 419 } 415 | 619 } 609 | 551 } 428 | 324 } 169 | Bøjeprøve med Armering: m_B 1510 kg m_F 1330 kg $\Sigma h_n P_F$ 1290 kg |
| | | 410 } 6,3 | 617 } 8,8 | 304 } 13,6 | 168 } 4,4 | |
| | Bøjningsspænding kg/cm ² | 6,4 } 6,3 | 8,9 } 8,8 | 17,8 } 13,6 | 4,7 } 4,4 | |
| | | 6,1 } 3,3 | 8,6 } 3,3 | 9,4 } 2,3 | 3,3 } 2,3 | |
| negativt Moment m'_T kg | 311 } 289 | 528 } 485 | 372 } 338 | beregnes til 1290 | | |
| | 266 } 4,3 | 442 } 7,2 | 304 } 10,5 | | | |
| Bøjningsspænding kg/cm ² | 4,6 } 3,9 | 7,7 } 6,7 | 11,3 } 9,7 | | | |
| | 3,9 } 21,1 | 7,7 } 23,6 | 11,3 } 25,6 | | | |
| Adhæsionsprøve | τ kg/cm ² | 23,0 } 21,1 | 27,8 } 23,6 | 38,0 } 25,6 | 16,7 } 9,3 | |
| | | 21,0 } 19,4 | 25,6 } 17,5 | 32,0 } 6,7 | 15,0 } 7,2 | |
| | | 19,4 } 7,0 | 17,5 } 5,5 | 6,7 } 4,6 | 7,0 } 4,6 | |
| Prøver med Beton | Tærningstyrke ... kg/cm ² | 197 | — | 175 | 213 | 316 |
| | Prismestyrke — | 166 | 190 | 147 | 249 | 248 |
| | Elasticitetskoeff. kg/cm ² | 186.000 | 222.000 | 144.000 | 236.000 | 240.000 |
| Prøver med 20 cm Betonblokke | Trykstyrke kg/cm ² | $\frac{1}{6} (168 + 262 + 262 + 289 + 299 + 300) = 263$ | | | | |
| | Elasticitetskoeff. — | $\frac{1000}{6} (227 + 249 + 196 + 227 + 262 + 265) = 2,38 \cdot 10^5$ | | | | |
| Prøver med 12 cm Teglblokke | Trykstyrke kg/cm ² | $\frac{1}{6} (159 + 161 + 171 + 193 + 203 + 293) = 197$ | | | | |
| | Elasticitetskoeff. — | $\frac{1000}{6} (142 + 135 + 214 + 152 + 141 + 213) = 1,66 \cdot 10^5$ | | | | |

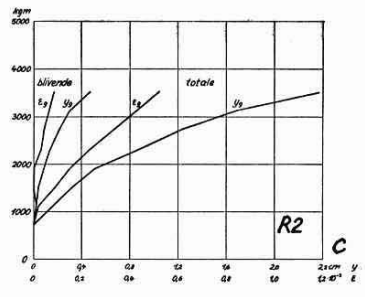
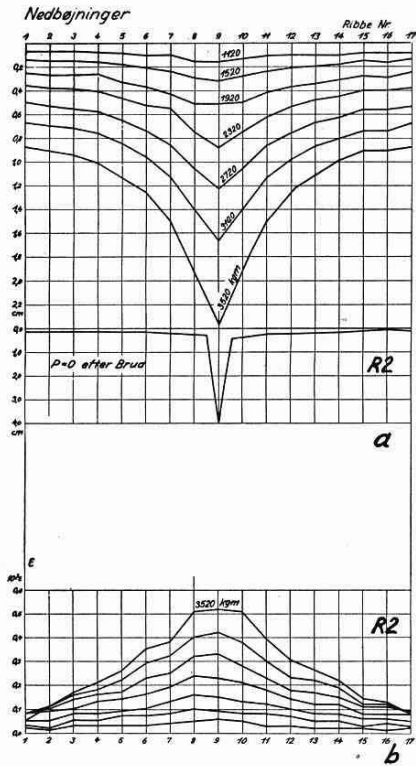


Fig. 17.

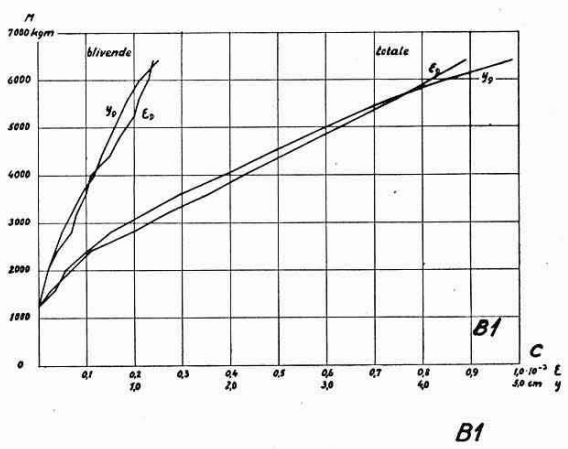
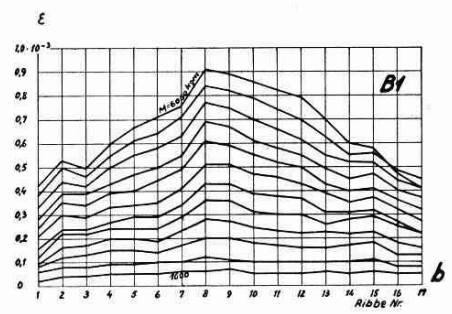
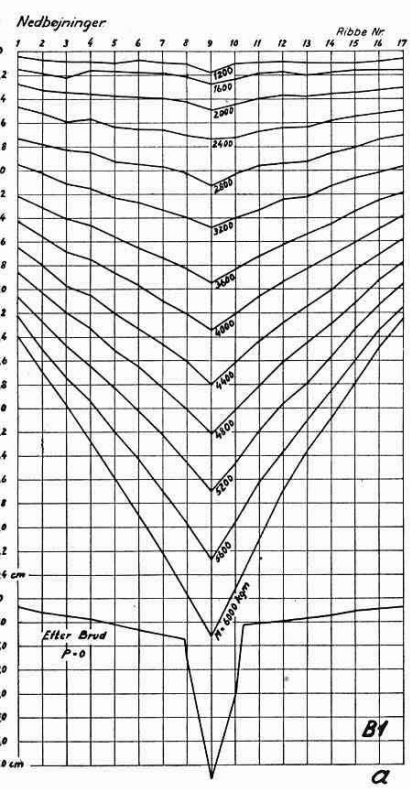


Fig. 18.

Nedbøjninger

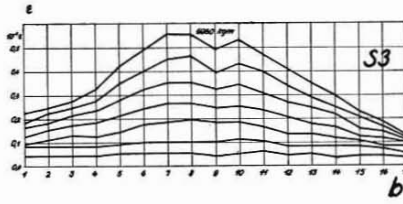
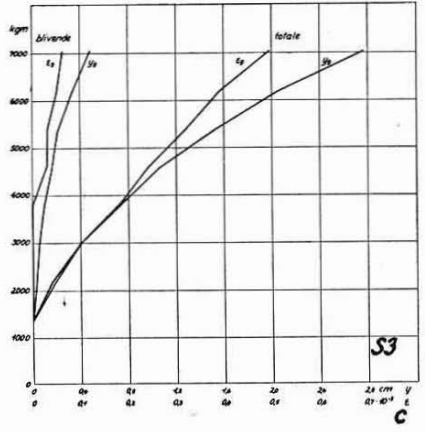
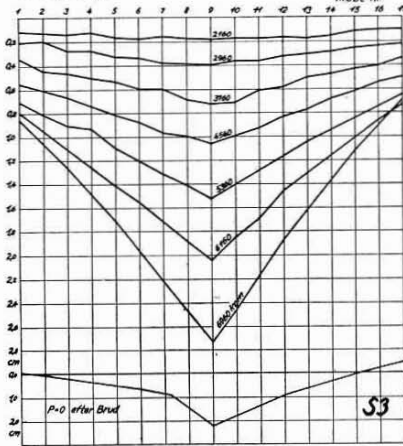


Fig. 19.

Nedbøjninger

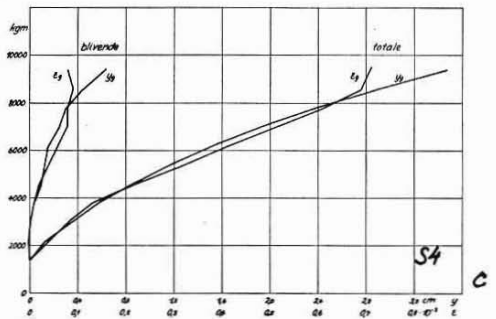
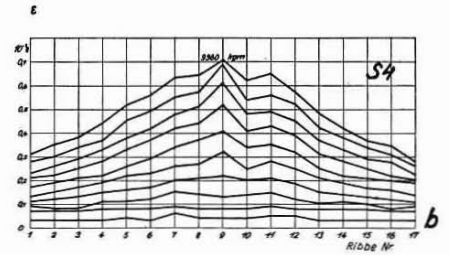
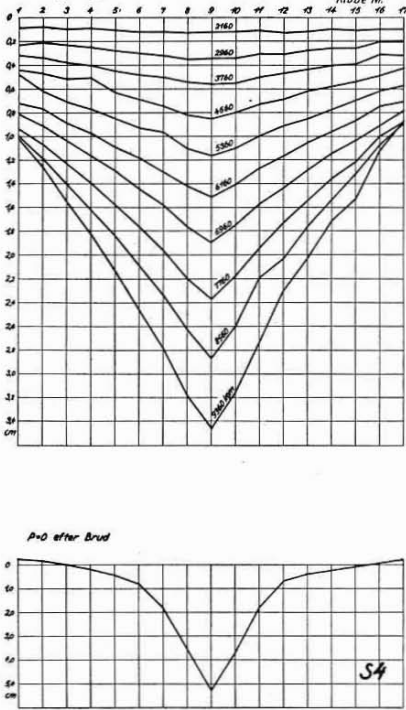


Fig. 20.

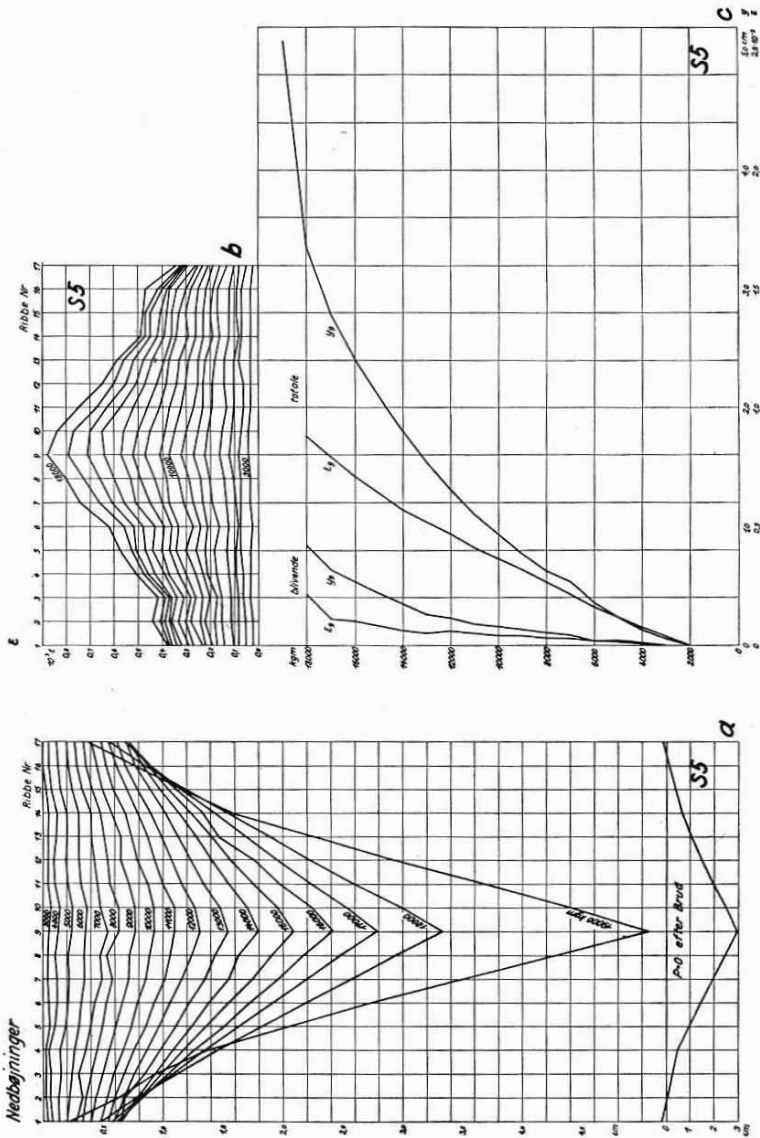


Fig. 21.

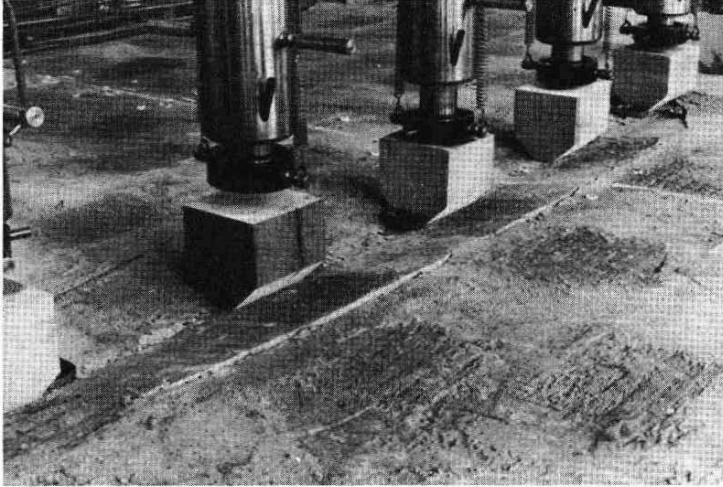


Fig. 22. Brud i R 1. Man ser Trækrevner mellem Blok og Ribbe og Knusningsbrud i Midten.

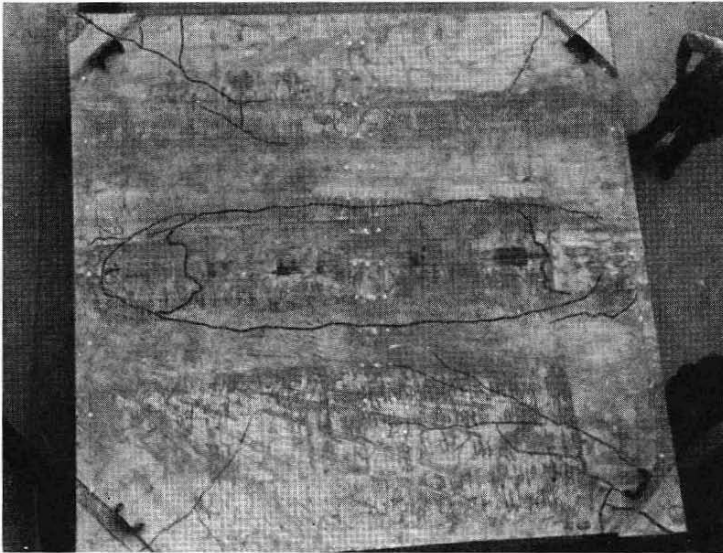


Fig. 23. Brud i R 3. Revnerne er trukket op med sort Farve.

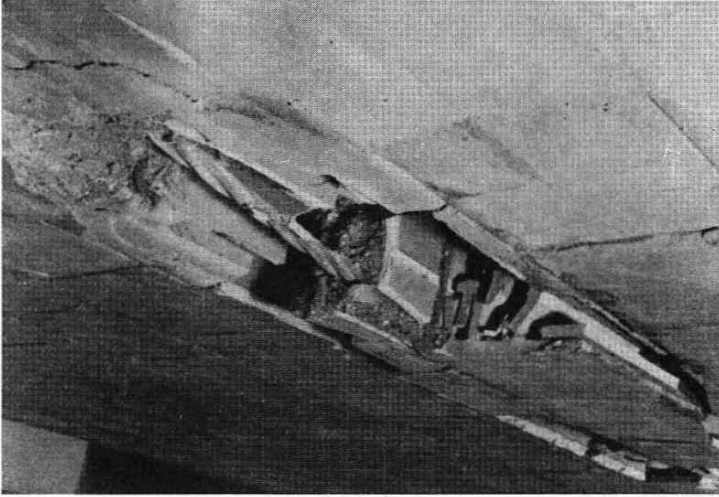


Fig. 24. Brud i B 3. Underside. Den midterste Ribbe er revet løs fra de øvrige under stærk Ødelæggelse af Blokkene.

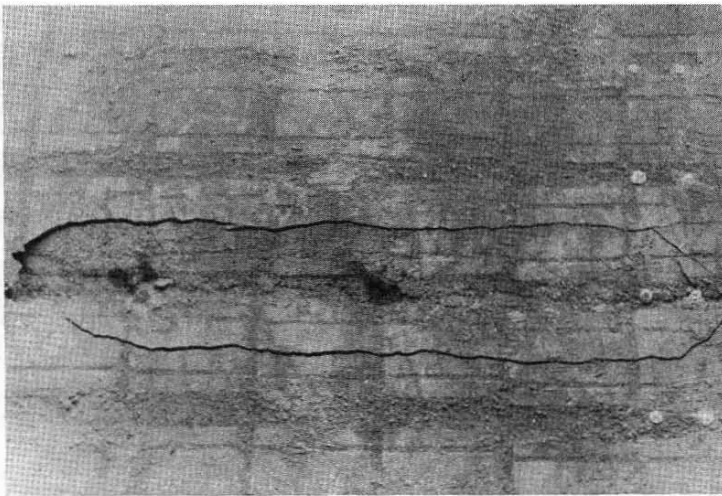


Fig. 25. Brud i S 2. Revnerne er *ikke* trukket op. De forløber her midt gennem Blokkene.

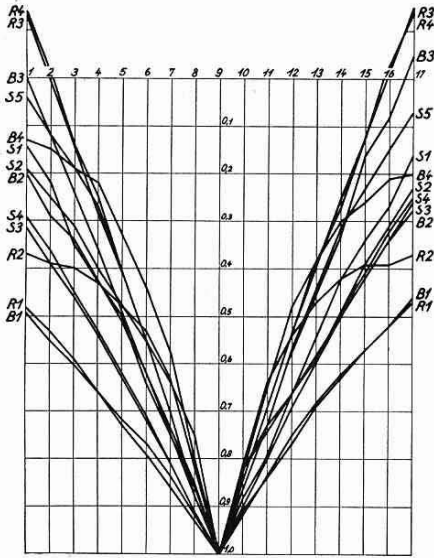


Fig. 26.

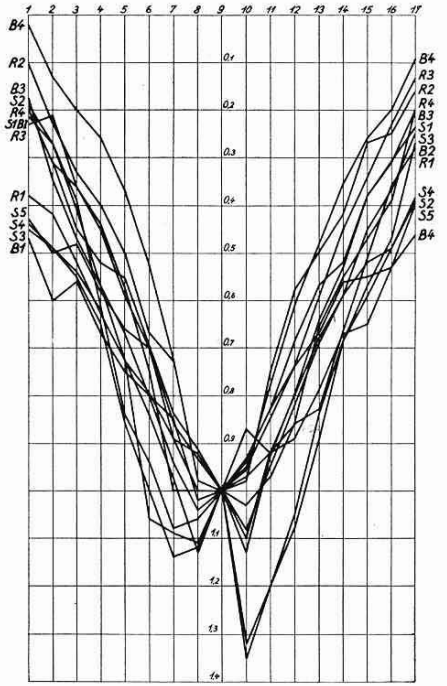


Fig. 27.

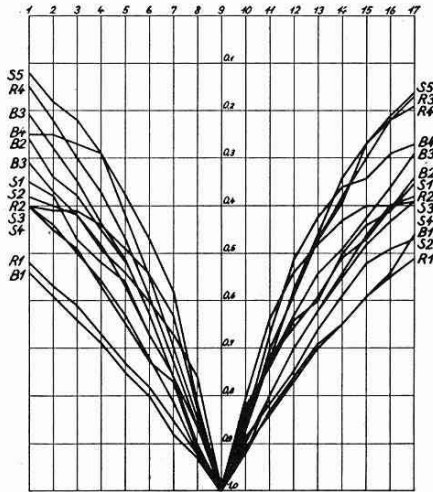


Fig. 28.

tydeligt Knæk i Dækket under den midterste Ribbe. De tilstødende Dele er kun meget svagt krumme undtagen ved R2 og B4, der ikke havde Underplade, og derfor kun en meget ringe Bøjningsstivhed i Tværretningen.

Efter Bruddet og Aflastning bestemtes de blivende Nedbøjninger, der er vist forneden i Fig. a. Ved Dækkene R2 og B4 uden Underplader og Sperledækkene S1 og S2 uden Overplade fordeler de blivende Nedbøjninger sig end ikke til Naboribberne, ved de øvrige Dæk uden Overplade kun til Naboribberne, men ved det krydsarmerede S5 og Dækkene med Overplade fordeler de sig betydeligt bedre.

Arbejdskurverne i Figurerne c er svagt krumme. De har i Reglen et svagt Knæk ved den Belastning, hvor det ovenfor nævnte Knæk under Midterribben bliver tydeligt. Kun det krydsarmerede Dæk har en Arbejdslinie, der ender i en længere, omtrent vandret Linie, altsaa Typen paa et plastisk Brud.

I Fig. 26 og 27 er Nedbøjningerne og Forkortelserne lige før Brud afsat saadan, at Værdien for Midterribben er 1. Det ses heraf, at ved Nedbøjningerne er Randværdien — 0,1 à 0,5 og ved Forkortelserne 0,05 à 0,45, altsaa en betydelig mindre Variation her. I Fig. 28 er paa samme Maade afsat de enkelte Ribbers Bøjningsspil lige før Brud. Randværdierne er her 0,15 à 0,5 altsaa omtrent som ved Forkortelserne, hvilket ogsaa maatte ventes, da Bøjningsspilen til en vis Grad følger Forkortelsen. Hvis alle Ribberne havde samme Momentkurve vilde Forkortelser og Bøjningsspil være proportionale, saa Fig. 27 og 28 maatte blive ens, bortset fra de uundgaelige Uregelmæssigheder i den første, der gør en nærmere Analyse umulig.

Ved de fleste af Dækkene begyndte Bruddet med Dannelsen af Revner i Oversiden parallelle med Ribberne i større eller mindre Afstand fra den belastede Midterribbe. Derefter skete en Slags Gennemlokning, idet den belastede Ribbe løsnedes fra den øvrige Del af Dækket, der derved fjedrede tilbage, medens Armeringen i Midterribben flød.

I det følgende gennemgaaes Dækkene enkeltvis, og de for hvert enkelt særlige Forhold nævnes.

R1.

Ved Brudmomentet 5040 kgm fremkom Revner i Oversiden langs Ribberne 8 og 10, altsaa ved begge Naboribberne til Midterribben. Det karakteristiske Knæk ved Midterribben blev tydeligt allerede fra 2240 kgm. Ved samme Moment findes et svagt Knæk i Arbejdslinien for Midterribbens Nedbøjning. Bøjeprøverne med sammenstøbte Blokke gav meget varierende Resultater, altsaa stor Spredning. De positive Momenter fandtes betydeligt større end de negative.

R 2.

Bruddet skete ved 3780 kgm, idet Blokkenes Overplade brækkede langs Ribberne 8 og 10. Ved 2320 kgm ses Knækket ved Midterribben, men et tilsvarende Knæk i Arbejdslinien kan daarligt paavises (Fig. 17 c). Som nævnt ovenfor viser Dækket en tydelig Krumning i Tværetningen (Fig. 17 a) i Modsætning til Dækkene med Underplade. I Stedet for Bøjeprøver med sammenstøbte Blokke, blev der her foretaget Bøjeprøver med Blokke uden Underplade, idet Bøjningsstyrken af Overpladen blev bestemt. Der blev foretaget 28 Prøver, hvoraf Middelværdien og Grænseværdierne er opført i Tabel I. Resultaterne viser stor Spredning.

R 3.

Ved 13920 kgm skete Bruddet ved Dannelsen af Revner i Oversiden langs Ribbe 7 og 11, altsaa i to Ribbeafstande fra Midten. Endvidere fremkom ved Hjørnerne Revner efter Diagonalerne. Ved 7920 kgm ses Knækket ved Midterribben og et tydeligt Knæk i Arbejdskurven. Randribberne 1 og 17 havde kun uvæsentlige Nedbøjninger under største Delen af Forsøget og fik til Slut væsentlige Opbøjninger, hvilket stemmer med Hjørnerevnerens Fremkomst. Bøjeprøverne med de sammenstøbte Blokke viser igen betydelig Spredning for de positive Momenter, medens de negative er mindre afvigende indbyrdes og betydeligt større end de positive. Dette skyldes naturligvis Overpladen, der ved de negative Momenter faar Træk.

R 4.

Her fremkom ved 14320 kgm Revner i Overpladen langs Ribbe 6 og 12, altsaa tre Ribbeafstande fra Midterribben. Der opstod ogsaa diagonale Revner ved Hjørnerne. Bruddet var mere sejt end ved det tilsvarende Dæk R 3 uden Tværarmring, men nogen væsentlig Forøgelse af Brudmomentet opnaaedes ikke. Knækket ved Midterribben blev tydeligt for 8320 kgm, uden at Arbejdskurven viser noget Knæk her. Nedbøjningerne ved Randen var som ved R 3 smaa og ved Brud negative. Der udførtes ingen Bøjeprøver, da det positive Tværmoment kan regnes lig Værdien ved R 3 og det negative beregnes ud fra Tværarmringens maalte Flydegrænse og Beliggenhed. Idet Flydekraften er 5300 kg/m og Nyttehøjden 17,7 cm, findes $m'_T = 0,9 \cdot 0,177 \cdot 5300 = 843$ kg.

B 1.

Bruddet skete ved 6800 kgm ved Revner i Oversiden langs Ribberne 8 og 10. Fra 2800 kgm findes Knækket ved Midterribben (Fig. 18 a) og et meget svagt Knæk ses i Arbejdslinien for samme Moment. Bøje-

prøverne med sammenstøbte Blokke viser mindre Spredning end ved R1, og Forskellen mellem positive og negative Momenter er ogsaa mindre her.

B2.

Skønt denne skulde være ganske som B1, men støbt en anden Dag, blev Brudmomentet 8000 kgm med Revne i Oversiden mellem Ribbe 9 og 10 samt ved Ribbe 5, altsaa et ret skævt Brud. Ved 4400 kgm ses Knækket ved Midterribben, men intet særligt i Arbejdskurven.

Bøjeprøverne viser mindre Værdier end ved B1 og større Spredning for de positive Momenter.

B3.

Denne gav ved 13860 kgm et fra de øvrige afvigende Brud, idet der ikke blev iagttaget Revner i Oversiden. Den belastede Midterribbe løsnedes pludseligt delvis fra det øvrige Dæk ved et Forskydningsbrud i Blokkene paa begge Sider af Ribben. Denne Gennemlokning fremkom kun i den ene Halvdel af Ribben fra Midten til det ene Leje.

Det karakteristiske Knæk ved Midterribben blev først tydeligt ved 11500 kgm, altsaa kort før Brud. I Arbejdslinien for Nedbøjningen af denne Ribbe er der et tydeligt Knæk allerede ved 8300 kgm, men derimod intet i Arbejdslinien for Midterribbens Forkortelse.

Ved Randen, Ribbe 1 og 17, er der kun smaa Nedbøjninger. Bøjeprøverne giver ligesom ved B1 og B2 ret ens Resultater.

B4.

Her kom Revner i Oversiden baade ved Ribberne 7 og 11 og ved Ribberne 6 og 12, altsaa henholdsvis to og tre Ribbeafstande fra Midten. Brudmomentet var 7640 kgm og Knækket ved Midterribben fremkom først lige før dette ved 6200 kgm, medens Arbejdslinien ikke viser noget særligt her. Som ved R2 er der en tydelig Krumning i Tværretningen. Bøjeprøverne udførtes med Blokkenes Overplader og af de 15 Prøver angives Middelværdien samt Grænseværdierne i Tabel II. De viser mindre Spredning end Røselerblokkene.

S1.

Bruddet skete ved 11440 kgm. Revnerne i Oversiden opstod her i Blokkenes Overdel, saa Blokkenes Bøjningsstyrke er mindre end Adhæsionen mellem Blok og Ribbe. Knækket ved Midterribben kommer her mere gradvis frem, saa det er vanskeligt at fastslaa en bestemt Belastning, hvor det første Gang er tydeligt. Heller ikke Arbejdslinierne giver nogen Holdepunkter. Ved 7840 kgm er det i hvert Fald tydeligt. Bøjeprøverne giver ret ens Værdier.

S2.

Denne var ganske som S1, men støbt senere, og gav praktisk taget samme Resultater som S1. Bøjepøverne gav dog betydeligt højere Værdier end S1.

S3.

Ved 7760 kgm skete Bruddet under Dannelsen af Revner i Oversiden mellem Ribberne 7 og 8 og Ribberne 10 og 11, d. v. s. to Ribbeafstande fra Midten. Knækket ved Midterribben fremkommer ogsaa her mere gradvis og er i hvert Fald tydeligt ved 5360 kgm (Fig. 19 a). I Arbejdskurven er intet særligt at bemærke.

S4.

Tværarmeringen har forøget Brudmomentet til 10160 kgm. Ved Bruddet fremkom Revner mellem Ribberne 6 og 7 og mellem 11 og 12, altsaa en Ribbeafstand længere fra Midten end ved S3 uden Tværarmering. Lige før Brud iagttoges Flydning af Tværarmeringen ligesom Bruddet var af en mere plastisk Karakter. Bøjepøverne giver det positive Tværmoment, medens det negative beregnes som ved R4. Idet Flydekraften fandtes lig 2634 kg/m og Nyttehøjden til 13,6 cm faas $m_T = 0,9 \cdot 0,136 \cdot 2634 = 1290$ kg.

S5.

Her skete plastisk Brud ved 19000 kgm (Fig. 21 c). Blokkene revnede i Oversiden mellem Ribbe 4 og 5 og mellem 13 og 14. Der kom ogsaa Revner efter Diagonalerne ved Hjørnerne. Knækket ved Midterribben fremkom ogsaa her gradvis og er i hvert Fald tydeligt ved 14000 kgm (Fig. 21 a). I Arbejdslinien er intet særligt at bemærke. Det negative Tværmoment regnes som Middelværdien for S1 og S2, medens det positive bestemtes ved Bøjepøver med tre særlige Tværstrimler svarende til 9 Blokrækker. Derved fandtes Resultaterne i Tabel III. For Dækket fandtes $\Sigma h_n P_F = 1230$ kg for Tværarmeringen, saa dettes positive Tværmoment m_T kan sættes til $1330 \frac{1230}{1290} = 1270$ kg.

Denne Gennemgang af Forsøgene viser, at ved Dækkene uden Overplade fremkommer Revnerne i Oversiden i een Ribbeafstand eller mindre fra den belastede Ribbe, ved Dækkene med uarmeret Overplade i to Ribbeafstande og med armeret Overplade i tre Ribbeafstande fra den belastede Ribbe. Endnu større Afstand faas ved krydsarmeret Dæk.

Det karakteristiske Knæk i Dækket ved den belastede Ribbe fremkommer ved Røselerdækkene og de lave Baumadæk ret pludseligt ved en Belastning, der ligger omkring det halve af Brudbelastningen. Ved de høje Baumadæk fremkommer Knækket kort før Brudbelastningen. Ved Sperledækkene fremkommer dette Knæk ligesom mere gradvist og er i hvert Fald tydeligt ved en Belastning, der er ca. to Trediedele af Brudbelastningen. Ved det krydsarmerede S5 er Knækket først helt tydeligt ved tre Fjerdedele af Brudbelastningen.

Aarsagen til dette Knæk maa nødvendigvis søges i en Revnedannelse i Undersiden ved den belastede Ribbe som Følge af de positive Tværmomenter. I Begyndelsen findes Revnen kun ved Midten og Knækket er ikke saa udpræget; men efterhaanden som Revnen forlænger sig hen mod Understøtningerne, bliver Knækket tydeligere og tydeligere. Dækket kommer mere og mere til at virke som to halve Dæk, der hver bærer den halve Belastning langs den ene Rand. Halvdækkenes belastede Rande skal dog ikke betragtes som fri Rande, idet der maa antages at være en vis Hvælvingsvirkning i Tværretningen. De med Knækket forbundne Vinkeldrejninger bevirker nemlig en Klemning af Blokrækkerne paa hver Side af Knækket.

Sperledækkenes store Hulrum gør, at disse Blokke har mindre Stivhed mod Forskydning, saa de kan tillade større Forskydninger mellem Ribberne indbyrdes. Dette er muligvis en Forklaring paa den mere gradvise Knækdannelse for disse Dæk.

Til Belysning af den Usikkerhed (Spredning), hvormed Forsøgene er behæftet, kan de ens konstruerede Dæk B1, B2 og S1, S2 sammenlignes. Der er stor Forskel paa de to Baumadæk, skønt Bøjepøverne ikke er særlig afvigende. Det stærke B2 har dog de svageste Bøjepøver, men den stærkeste Armering ($\Sigma h_n P_F$). Derimod er der ingen væsentlig Forskel paa Sperledækkene, skønt Bøjepøverne er meget forskellige. De har da ogsaa meget nær samme $\Sigma h_n P_F$.

Nyttebredden.

De forskellige Dæks Bæreevne kan bedst anskueliggøres ved deres Nytebredde. Denne er Bredden af en Dækstrimmel med samme Belastning, samme Spændvidde og samme Tykkelse og Armering som Dækket, men med konstant Moment i hele Bredden. Er m Dækkets Enhedsmoment (Momentet pr. Længdeenhed) bliver Nytebredden følgende:

$$b_n = \frac{M}{m}.$$

Tabel IV.

| Dæk | Nytte- bredde b_n i m | Enheds- moment m i kg | Enhedsmo- menter i Tværræt- ning | | $\frac{gl}{\bar{p}}$ | y i m | $m'_r =$ $\frac{g}{2}(2-y)^2$ | $\sqrt{\frac{m_r + m'_r}{m}}$ | δ | $\frac{b_n(1+\delta)}{\sqrt{\frac{m_r + m'_r}{m}}}$ |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------|----------------------|---------------|----------------------------------|-------------------------------|----------|---|
| | | | m_r | m'_r | | | | | | |
| R 1 | 2,30 | 2190 | 147 | 81 | 0,260 | 0,55 | 137 | 0,323 | 0,034 | 1,84 |
| R 2 | 2,12 | 1760 | 56 | 56 | 0,235 | 0,42 | 112 | 0,252 | 0,024 | 2,15 |
| R 3 | 1,88 | 7420 | 380 | 666 | 0,160 | 0,49 | 275 | 0,297 | 0,019 | 1,61 |
| R 4 | 2,03 | 7060 | 380 | 843 | 0,155 | 0,50 | 270 | 0,304 | 0,019 | 1,70 |
| B 1 | 3,45 | 1970 | 196 | 185 | 0,214 | 0,69 | 130 | 0,405 | 0,035 | 2,20 |
| B 2 | 2,76 | 2900 | 166 | 125 | 0,177 | 0,53 | 162 | 0,385 | 0,027 | 1,84 |
| B 3 | 2,16 | 6420 | 515 | 413 | 0,157 | 0,57 | 240 | 0,343 | 0,021 | 1,61 |
| B 4 | 1,36 | 5620 | 48 | 48 | 0,301 | 0,22 | 372 | 0,131 | 0,016 | 2,63 |
| S 1 | 1,83 | 6260 | 415 | 289 | 0,192 | 0,54 | 245 | 0,325 | 0,025 | 1,44 |
| S 2 | 1,78 | 6260 | 609 | 485 | 0,198 | 0,61 | 222 | 0,365 | 0,029 | 1,25 |
| S 3 | 2,37 | 3270 | 428 | 338 | 0,212 | 0,71 | 143 | 0,416 | 0,036 | 1,43 |
| S 4 | 2,65 | 3840 | 169 | 1290 | 0,155 | 0,51 | 190 | 0,309 | 0,019 | 2,17 |
| S 5 | 3,14 | 6030 | 1270 | 387 | 0,118 | 0,81 | 177 | 0,490 | 0,023 | 1,60 |

Ved Forsøgene er M Brudmomentet og m Enhedsmomentet, der er bestemt ved Dækstrimlerne, hvis disse har nøjagtig samme Højde, Armering og Flydegrænse for Armeringen. Er dette ikke Tilfældet kan Enhedsmomenterne regnes proportionale med $\Sigma h_n P_F$ pr. Længdeenhed, saa

$$m = m_F \frac{\Sigma h_n P_F \text{ for Dæk}}{\Sigma h_n P_F \text{ for Dækstrimmel}}$$

hvor m_F er Dækstrimlens Flydemoment, som anført i Tabel I, II og III.

I Tabel IV er de herved bestemte Værdier af m og b_n angivet.

Vi skal nu undersøge de forskellige Forholds Indflydelse paa Nyttbredden.

Ved Sammenligning mellem B1, B2 og B3 ses, at en større Højde giver en lidt mindre Nyttbredden. Dette gælder ogsaa, naar den større Højde delvis skyldes Anvendelse af Overbeton, som R3 og R4 viser i Forhold til R1.

Sammenligning mellem S1 S2 og R3 R4 viser, at med samme Højde giver Dækkene med Overbeton en lidt større Nyttbredden. B3 kan paa Grund af sit svære Trykhoved regnes som Dæk med Overbeton. Endelig kan det bemærkes, at B1 B2 med 12 cm Blokke giver betydelig større Nyttbredden end S3 S4 med 12 cm Blokke plus 2 cm Overbeton.

Tværarmering i Overbeton giver en forholdsvis lille Forøgelse i Nyttebredden som R4 og S4 viser i Forhold til R3 og S3.

Underpladens Virkning viser R2 og B4. For den lille Højde er den ikke særlig fremtrædende, men meget udpræget for den store Højde.

Krydsarmering giver en meget stor Forøgelse af Nyttebredden som S5 viser i Forhold til S1 S2.

Vi vil nu prøve at opstille en Formel til Bestemmelse af Nyttebredden. For at faa et Begreb om dens Opbygning, kan vi betragte Forholdene ved *plastiske* Plader. Ved disse afhænger Nyttebredden af Forholdet mellem Brudmomenterne i Tværretningen og i Længderetningen.

For den i Fig. 29 til venstre viste simpleste Brudfigur beregnes Brudmomentet ved Hjælp af Arbejds ligningen.

For Pladedelen A er Drejningen $\theta_A = \frac{1}{x}$, Momentet om Understøtningen af de indre Kræfter $-2my$ og af de ydre $\frac{1}{2}\bar{p}x^2$.

For Pladedelen B er Drejningen $\theta_B = \frac{1}{y}$, Momentet om Drejningsaksen af de indre Kræfter $-(m_T + m'_T)l$ og af de ydre $\frac{1}{2}\bar{p}(l-2x)y$. Derved bliver Arbejds ligningen

$$2my \frac{1}{x} + (m'_T + m_T)l \frac{1}{y} = \frac{1}{2}\bar{p}x^2 \frac{1}{x} + \frac{1}{2}\bar{p}(l-2x)y \frac{1}{y} = \frac{1}{2}\bar{p}(l-x).$$

Betingelsen for Maksimum giver for $\frac{\delta m}{\delta y} = 0$, $2my^2 = (m_T + m'_T)lx$ og for $\frac{\delta m}{\delta x} = 0$, $my = \frac{1}{4}\bar{p}x^2$. Disse to Ligninger giver i Forbindelse med Arbejds ligningen:

$$x = \frac{l}{3}, \quad y = l \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{6m}}, \quad m = \frac{\bar{p}l}{6} \sqrt{\frac{m}{6(m_T + m'_T)}}. \quad (1)$$

Idet $M = \frac{1}{8}\bar{p}l^2$ faas heraf

$$b_n = 1,84l \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}}. \quad (2)$$

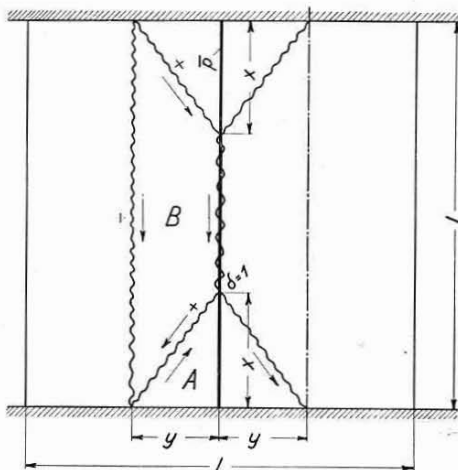


Fig. 29.

Nu kan der imidlertid angives mere komplicerede og farligere Brudfigurer (se K. W. Johansen: Brudlinieteorier. Eks. 30 Side 128), saa den teoretiske Værdi af b_n bliver lidt mindre. En nærmere Undersøgelse giver Koefficienten 1,5 i Stedet for 1,84.

Medregnes Egenvægten, forøges Bidragene fra de ydre Kræfter med henholdsvis $\frac{1}{6}g \cdot 2yx^2$ og $\frac{1}{2}gly^2 - \frac{2}{3}gxy^2$ fra A og B, saa Arbejds ligningens højre Side nu bliver $\frac{1}{2}gy(l - \frac{4}{3}x)$ større. Da Indflydelsen af dette Led kun er ringe, kan vi som Tilnærmelse regne med samme Brudfigur som ovenfor, altsaa $x = \frac{l}{3}$; $y = l\sqrt{\frac{m_T + m'_T}{6m}}$. Derved faas

$$\frac{b_n}{l} = \frac{1,84 \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}}}{1 + 0,34 \frac{gl}{p} \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}}} = \frac{1,84 \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}}}{1 + \delta} \quad (3)$$

En nærmere Undersøgelse viser, at Koefficienten 0,4 i Stedet for 0,34 i δ giver endnu bedre Tilnærmelse. Endvidere viser samme Undersøgelse, at

$$y \propto l \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{6m}} (1 + \delta). \quad (4)$$

Naar y bliver stor, kan det ske, at Brudfiguren bliver som vist til højre i Fig. 29, idet Brudlinien med det negative Moment m'_T ikke dannes, men Pladedelen her vipper om den viste Drejningsakse. Dette sker, naar $m'_T > \frac{1}{2}g\left(\frac{1}{2}l - y\right)^2$, idet den overragende Pladeende da ikke kan afbalancere m'_T . I dette Tilfælde skal man følgelig indføre $m'_T = \frac{1}{2}g\left(\frac{1}{2}l - y\right)^2$ i Formlerne (3) og (4). Derved kan y bestemmes af (4) hvorefter b_n bestemmes af (3). I Tabel IV er de hermed bestemte Værdier af y og m'_T angivet, idet

$$\delta = 0,4 \frac{gl}{p} \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}}.$$

Det fremgaar endvidere af Formel (3), at

$$\frac{b_n}{l} (1 + \delta) = 1,84 \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}}, \quad (5)$$

hvor 1,84 eventuelt skal reduceres til 1,5. m'_T er den mindste af Værdierne m'_T i Tabellen.

Afsættes derfor $\frac{m_T + m'_T}{m}$ som Abscisse og $\frac{b_n}{l}(1 + \delta)$ som Ordinat, hvor

b_n er den ved Forsøgene bestemte Værdi, skulde Punkterne teoretisk ligge paa en Linie med Hældningen 1,84 à 1,5. Dette er gjort i Fig. 30, der viser en forbavsende Overensstemmelse med Teorien, idet de indtegnede Linier har Hældningen 1,84 og 1,5. I Tabel IV er den til de forskellige Punkter svarende Hældning beregnet. Middelværdien findes til $1,81 \pm 0,11$. Tages Sperledækkene for sig giver de $1,58 \pm 0,16$ og de øvrige $1,95 \pm 0,13$. Hermed bekræftes de tidligere Bemærkninger om en vis Svaghed i Sperleblokkene i Forhold til de øvrige Blokke, der har Melle-

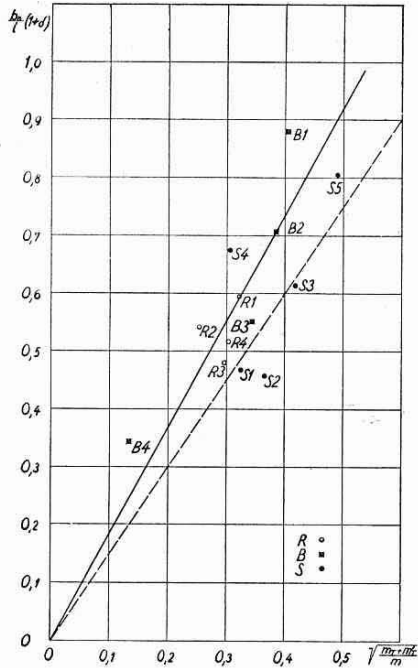


Fig. 30.

vægge. At de stærke Blokke svarer nøje til de simple Brudfigurer i Fig. 29 og de svagere til de mere komplicerede kan meget vel forklares. Ved de stærke Blokke er Fugen mellem Ribbe og Blok det svageste Sted. og Bruddet sker fortrinsvis her i Overensstemmelse med Fig. 29. Ved de svage Blokke sker Bruddet i Blokken og Brudlinien er da ikke bundet til en bestemt Retning, saaledes at skraa eller krumme Brudlinier frit kan opstaa, hvilket giver en mindre Faktor (1,5) i Formlen.

Vi har derfor fundet det ret overraskende Resultat, at Hulstensdæk meget vel kan beregnes efter Brudlinieteorien.

Formel (3), er en Tilnærmelse, der med $\frac{gl}{p} \sqrt{\frac{m_T + m'_T}{m}} \leq 2$ højst afviger ca. 5% fra den nøjagtige Beregning. Ved stærke Blokke med smaa Hulrum kan Koefficienten 1,84 anvendes, medens svage Blokke med eet stort Hulrum kun tillader Koefficienten 1,5.

Ved Fastsættelsen af de tilladelige Værdier for b_n , maa det erindres, at m svarer til plastisk Brud, men m_T og m'_T til skørt Brud, medmindre der krydsarmeres eller Overbetonen armeres, idet da henholdsvis m_T og m'_T svarer til plastisk Brud. Da der maa anvendes en betydelig større

Sikkerhedsfaktor over for det skøre Brud end over for det plastiske, bliver den tilladelige Værdi af b_n mindre. I de Tilfælde, hvor der ikke armeres i Tværetningen, afhænger m_T og m'_T af Adhæsionstrækspændingen mellem Blokke og Sten, samt eventuelt af Overbetonens Trækstyrke. Dette er Spændinger, hvis tilladelige Værdier som Regel sættes til Nul, saa den tilladelige Værdi af b_n i disse Tilfælde bliver Nul. Saa-danne Dæk bør derfor ikke anvendes, hvor større Liniebelastninger forekommer.
