

DTM

SÆRTRYK nr. 108
Ingeniøren nr. 15, 1959

DK 624.025.3
kr. 2,-

Johs. Landbo
Om opskydning af klinkergulve

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
I kommission hos Teknisk Forlag · København 1959

Om opskydning af klinkergulve

Civilingeniør Johs. Landbo, Statens Byggeforskningsinstitut

Efter adskillige henvendelser om skader, der var forekommet på klinkergulve, besluttede Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) i sommeren 1958 at tage problemerne i forbindelse med disse skader op til nærmere undersøgelse. Spørgsmålet om årsagerne til skaderne har tidligere været genstand for en teknisk diskussion, der er refereret i SBI særtryk nr. 34: »Træfri gulvbelægninger«.

Nærværende artikel, der især omhandler statiske forhold ved klinkergulve, udgør en del af det arbejde i sagen, der er i gang på instituttet, og hvis endelige formål det er at udsende en anvisning om lægning af klinkergulve, således at skadelige deformationer sidenhen undgås.

Oplysninger og erfaringer om skader, nye lægningsmetoder o. a. vedrørende klinkergulve, som kan tænkes at komme den påtænkte anvisning til gode, modtages med tak af instituttet.

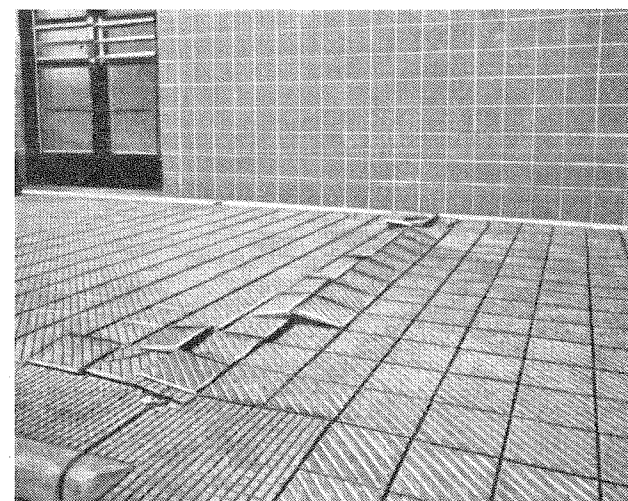


Fig. 1. Skader på klinkergulv.

Ved klinkergulve er der mulighed for fremkomsten af en lang række skader. Skaderne kan bestå i opbulinger, opskydninger, afskalninger o. a. og skyldes forskellige påvirkninger f. eks. af termisk, mekanisk eller kemisk art. Årsagerne til skaderne er diskuteret i Statens Byggeforskningsinstituts særtryk nr. 34: »Træfri gulvbelægninger«, uden at man her er nået til enighed om, hvilke årsager der er de vigtigste.

Endnu større uenighed råder i spørgsmålet om, hvorledes man ved lægning af klinkergulve bedst imødegår fremkomsten af senere skader.

I det følgende vil kun blive behandlet den almindeligste form for skader, der består i, at klinkerne løsner sig fra underlaget, evt. »slår op«, som vist på fig. 1, 2 og 3.

Hvilke faktorer, der kan bevirke sådanne deformationer, vil senere blive diskuteret. De efterfølgende beregninger skal tjene til at give en vurdering af de forskellige faktoreres betydning for sikkerheden mod skader. På forhånd kan siges, at beregningerne kun

vil være orienterende. Dette skyldes, at de materialkonstanter, der er afgørende for de fremkomne spændingers og deformationers størrelse, er usikre og varierer indenfor vide områder, samt at beregningsforudsætningerne kun delvis er opfyldt i virkeligheden. Således vil der blive regnet efter elasticitetsteorien, selvom denne teori kun med tilnærmelse er gældende for de aktuelle materialer.

Påvirkning, materialkonstanter m. v.

Kun det almindeligste tilfælde vil blive betragtet: klinker på betonunderlag og fugning med cementmørtel.

Hvilke påvirkninger gulve udsættes for i praksis vil det kræve en særlig undersøgelse at finde ud af. Mange påvirkninger er det sikkert vanskeligt at give et talmæssigt udtryk for.

Som påvirkning af gulvene vil ved beregningerne blive benyttet en termisk påvirkning, der tænkes fremkommet ved kraftig spuling af klinkerne med koghedt

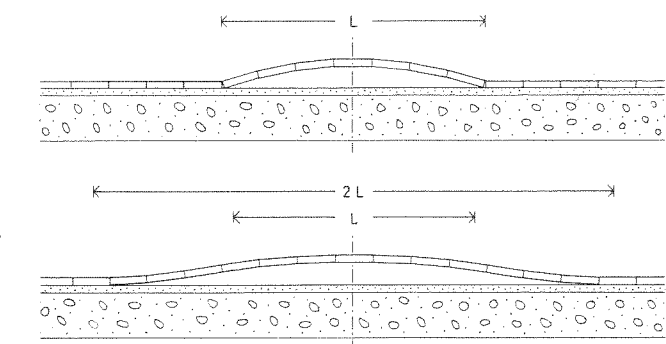


Fig. 2. Eksempler på opbulning af klinkergulve.

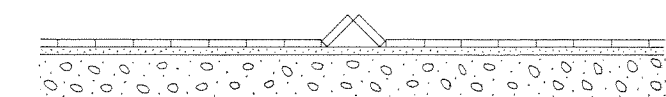


Fig. 3. Opskydning i ryg.

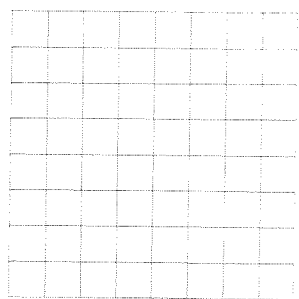


Fig. 5. Kvadratiske fliser.

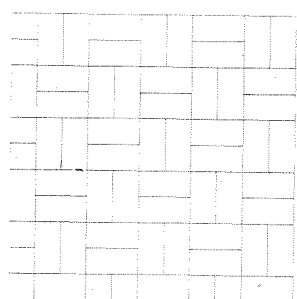


Fig. 6. Hollandsk forbandt.

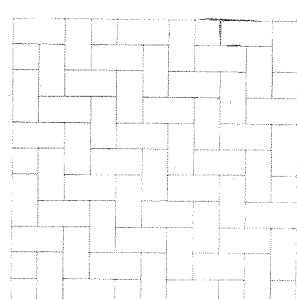


Fig. 7. Sildebensmøster.

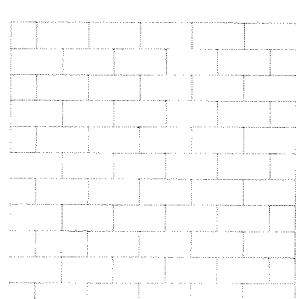


Fig. 8. Almindeligt forbandt.

vand. En sådan behandling af klinkergulve finder ofte sted i våd industri, og det er rimeligt at antage, at dette termiske chok på en eller anden måde er medvirkende årsag til, at gulvene undertiden slår op. Det termiske chok antages at give anledning til en pludselig opstået temperaturforskelle mellem klinker og underlag på 75°.

For de vigtigste materialkonstanter benyttes flg. værdier:

Klinker:

elasticitetstal $E_k = 7 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$
varmeudvidelseskoeficient $\alpha_k = 3 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm} \cdot \text{C}^\circ$
trykstyrke $\sigma_k = 1500 \text{ kg/cm}^2$

Mørtel:

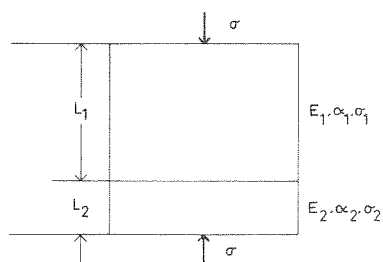
elasticitetstal $E_m = 2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$
varmeudvidelseskoeficient $\alpha_m = 10 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm} \cdot \text{C}^\circ$
trykstyrke $\sigma_m = 300 \text{ kg/cm}^2$

Disse værdier kan ikke uden videre anvendes for ethvert klinkergulv.

Indflydelse af lægningsmønstre, dimensioner m. v.

Klinkerlaget betragtes som et sammenhængende hele, og for at finde middelværdierne af dette lags materialkonstanter i de to vandrette hovedretninger anvendes elasticitetsteorien.

Det på fig. 4 viste sammensatte legeme vil i pilenes

Fig. 4. E, α og σ for sammensatte legeme.

retning have følgende formelle værdier for E, α og σ_T :

$$E = \frac{E_1 \cdot E_2 (L_1 + L_2)}{E_2 \cdot L_1 + E_1 \cdot L_2} = \frac{L_1 + L_2}{\frac{L_1}{E_1} + \frac{L_2}{E_2}}$$

$$\alpha = \frac{\alpha_1 \cdot L_1 + \alpha_2 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$\sigma_T =$ den mindste af størrelserne σ_1 og σ_2 .

Heraf følger, at et klinkerlags »koefficienter« i de to fugeretninger afhænger af fugens bredde i forhold til klinkens dimensioner samt af lægningsmønstret.

Regner man med, at alle fuger har samme bredde, ses, at det på fig. 5 viste gulv med kvadratiske fliser er »ens« i de to hovedretninger. Det samme gælder det på fig. 6 viste gulv med rektangulære klinker i hollandsk forbandt og det på fig. 7 viste gulv med rektangulære klinker lagt i sildebensmønstre.

Derimod vil gulvet på fig. 8 med rektangulære klinker i almindeligt forbandt ikke være helt »ens« i de to fugeretninger. Da dette tilfælde er det almindeligste, skal det studeres nærmere.

Klinkerne antages at have formatet $10 \times 20 \text{ cm}$, se fig. 9, hvilket meget nær er formatet på almindeligt

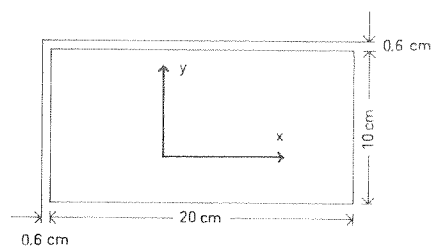


Fig. 9. Rektangulær klynke med fuger.

anvendte gulvklinker. Fugebredden sættes til 0,6 cm; bredden kan for forskellige gulve variere mellem ca. 3 og 10 mm.

I x-retningen haves, idet $L_1 = 20 \text{ cm}$ og $L_2 = 0,6 \text{ cm}$:

$$E_x = \frac{7 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 20,6}{2 \cdot 10^5 \cdot 20 + 7 \cdot 10^5 \cdot 0,6} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\alpha_x = 3 \cdot 10^{-6} \frac{20}{20,6} + 10 \cdot 10^{-6} \frac{0,6}{20,6} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm} \cdot \text{C}^\circ$$

I y-retningen fås tilsvarende: $E_y = 6,1 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$ og $\alpha_y = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm} \cdot \text{C}^\circ$.

Som det fremgår af beregningerne, andrager forskellen i E og α for de to retninger kun nogle få procent. Forskellen bliver mere udtalt, jo større fugebredden er, og jo mere langagtig flisens form er.

I det følgende tages ikke hensyn til disse forskelle, men der regnes med som middelværdier for begge retninger:

$$E = 6 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2 \text{ og } \alpha = 3 \cdot 10^{-6} \text{ cm/cm} \cdot \text{C}^\circ$$

1. Klinkergulv med fastholdte ender, men uden adhæsion til underlaget.

Som påvirkning af gulvet benyttes en temperaturforskelle mellem klinker og underlag på $\Delta T = 75^\circ$, hvilket tal er fremkommet ved, at gulvtemperaturen sættes til 15° , mens temperaturen på det oprindeligt 100° varme spulevand efter transport er faldet til 90° . Teoretisk kan man godt tænke sig en temperaturfor-

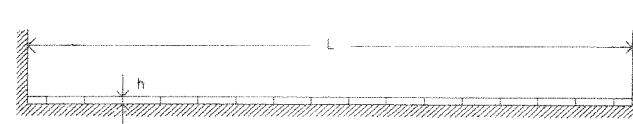


Fig. 10. Klinkergulv uden adhæsion med fastholdte ender.

skel på over 100° , f. eks. hvor 100° varmt vand anvendes ved rengøringen af et klinkergulv i et kølerum. Som et udtryk for, hvad gulve i almindelighed kommer ud for, vil en 75° temperaturstigning af klinkerne i forhold til underlaget dog nok være højt regnet.

Udsættes det på fig. 10 viste gulv for en temperaturstigning på $\Delta T = 75^\circ$, ville det, såfremt det var muligt, udvide sig stykket:

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T \text{ cm} = L \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 75 \text{ cm}$$

Udvidelsen pr. længdeenhed bliver:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 75$$

Nu kan gulvet imidlertid ikke udvide sig, så påvirkningen vil resultere i en spænding: $\sigma = E \cdot \epsilon \text{ kg/cm}^2$:

$$\sigma = 6 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 75 = 135 \text{ kg/cm}^2$$

Hvis klinkerne ligger på et helt plant underlag og regnes centralt påvirkede, vil der være fare for, at laget skal slå op. Den Eulerske P_E -værdi (kordekræften) bliver:

$$P_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

hvor I er inertimomentet, og L er den frie søjlelængde. Idet I for et 1 cm bredt bælte $= 1/12 \cdot h^3$, fås den tilsvarende brudspænding:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot h^2}{12 \cdot L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot h^2}{12 \cdot L^2} \approx 5 \cdot 10^5 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

Hvis $\sigma > \sigma_E$ vil søjlen (klinkerlaget) slå op.

Udtrykket for σ_E er rent formelt, idet det kun er gældende under forudsætning af, at klinkerbelægningen udgør et isotropt lag af konstant tykkelse og derfor med konstant stivhed udtrykt ved produktet $E \cdot I$.

Erfaringen viser, at når skader sker, skyder gulvet op enten som en bule, som vist på fig. 2, eller i form af en ryg som på fig. 3.

Skaden er stort set lige alvorlig, hvad enten den sker på den ene eller den anden måde, for i alle tilfælde har klinkerne løsnet sig fra undergulvet over et større område og må brydes op, og nye klinker lægges i stedet. De gamle klinker anvendes sjældent igen, selvom de ikke direkte er beskadigede. Rensningsarbejdet er for stort.

Hvis gulvet skyder op i en ryg, som vist på fig. 3, må grunden hertil være, at produktet $E \cdot I$ har været mindre i snittene gennem fugerne end i et snit, der går igennem selve klinkerne. Dette vil altid være tilfældet, idet E for mørtelen er mindre end E for klinkerne, tilmed er I muligvis formindsket i fugerne på grund af dårlig fyldning.

En deformation, som vist på fig. 3, kan dårligt tænkes at fremkomme ved rektangulære klinker lagt i sildebensmønstre (se fig. 7), hvor man ikke kan lægge noget retliniet snit, der alene forløber i fugemørtel.

Man kunne af denne grund tænke sig, at man ville foretrække sildebensmønstret fremfor andre lægningsmønstre.

Imidlertid er der visse praktiske forhold, som taler imod anvendelse af sildebensmønstre. Det stiller stør-

re krav til fliselæggenes dygtighed end de andre mønstre, og det er vanskeligt at anvende, når der er fald på gulvet i forskellige retninger, hvad man ofte kommer ud for, idet klinkergulve finder stor udbredelse i våd industri.

Klinkerlagets trykstyrke blev udtrykt ved:

$$\sigma_E = 5 \cdot 10^5 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \text{ kg/cm}^2$$

Er den eksisterende trykkraft i klinkerlaget større end σ_E , vil gulvet slå op, idet klinkerne ikke adhærer til underlaget.

For en 2 cm tyk klynke fås eksempelvis for de fri søjlelængder:

$$L = 1 \text{ m: } \sigma_E = 5 \cdot 10^5 \left(\frac{4}{10000}\right) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 2 \text{ m: } \sigma_E = 5 \cdot 10^5 \left(\frac{4}{40000}\right) = 50 \text{ kg/cm}^2$$

og for en 3 cm tyk klynke:

$$L = 1 \text{ m: } \sigma_E = 5 \cdot 10^5 \left(\frac{9}{10000}\right) = 450 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 2 \text{ m: } \sigma_E = 5 \cdot 10^5 \left(\frac{9}{40000}\right) = 112 \text{ kg/cm}^2$$

Det ses heraf, at man ikke skal have ret lange frie søjlelængder, før der er fare for opbuling, dersom trykspændingen i gulvet er 135 kg/cm^2 , sådan som beregnet ved en temperaturstigning af klinkerne på 75° .

I virkeligheden er der dog indskrænkninger til de ovenfor beregnede talværdier. Selv om man tænkte sig, at man udlagde et flisegulv, der ikke adhærer til underlaget, eller såfremt adhæsionen var meget ringe på grund af dårlig lægning af gulvet, så ville de viste beregninger dog give et overdrevet billede af opbulingsfaren. I virkeligheden vil man næppe komme ud for, at »søjle-enderne« er helt fastholdte, idet der altid vil være mulighed for en ringe længdeudvidelse ved de omgivende mure, og endvidere er fugemørtelen en smule plastisk.

Man ser umiddelbart, at hvis gulvet lægges med en konkav overflade, kan opbuling ikke foregå, og der vil ingen skade ske, såfremt klinker, mørtel og de omgivende mure kan optage det tryk, der fremkommer.

Omvendt vil en konvexitet i overfladen give anledning til forøget opbulingsfare, idet »klinkersøjlen« da på forhånd vil være excentrisk påvirket, og udbøjningen kan foregå opad. En højderyg mellem to afløbsbrønde vil derfor være et særlig farligt område, såfremt der opstår tryk i klinkerlaget.

I denne forbindelse kan nævnes den betydning fugernes fyldning har for gulvets stabilitet. Hvis man betragter et klinkergulv med det på fig. 11 viste ud-

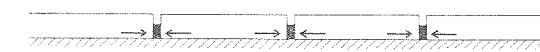


Fig. 11. Halvt fyldte fuger.

seende, (der f. eks. kan tænkes at være fremkommet ved, at de oprindeligt fyldte fuger er tæret), ses det, at kraftoverføringen vil ske under klinkernes vandrette middeplan. Denne excentricitet i trykkraftens angrebslinie vil forøge opbulingsfaren.

Skadelige drejende momenter kan tænkes at fremkomme, hvis en fuge, der af en eller anden grund ikke er tæret, er omgivet af klinker med tærede fuger, se fig. 12.

Gulvet vil da, såfremt det udsættes for trykspændinger i sin egen plan, være tilbøjeligt til at skyde op

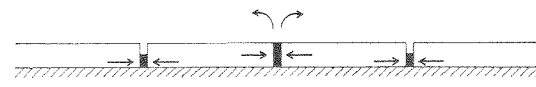


Fig. 12. Drejende momenter i klinkergulv.

i en ryg, idet de to klinker vil have tendens til at dreje sig som vist.

Generelt vil det derfor fremme gulvets stabilitet, at fugerne overalt er fuldstændig fyldt.

2. Klinkergulv med frie ender og med adhæsion til underlaget.

Ved en længdeudvidelse af klinkerne vil i dette tilfælde optræde forskydende kræfter, som vil søge at hindre længdeudvidelsen. Adhæsionen tænkes frembragt ved, at klinkerne er udlagt i et lag af cementmørtel.

Det indses, at forskydningskræfterne ved en udvidelse af klinkerlaget vil være små inde på midten af gulvet og størst ude ved enderne. Idet der regnes med en trekantformet fordeling af forskydningspændingerne, som vist på fig. 13, kan τ_{max} beregnes under forudsætning af, at elasticitetsteori gælder, og underlaget er fuldstændig ustrækkeligt ($EI = \infty$).

Ved en temperaturstigning ΔT af klinkerne i forhold til underlaget, vil klinkerlaget, såfremt det frit kan udvikle sig, få en udvidelse pr. længdeenhed: $\epsilon = \alpha \cdot \Delta T$ og en samlet udvidelse $\Delta L = \epsilon \cdot L$.

Imidlertid påvirkes klinkerlagets underside af forskydningskræfter, fordelt efter to trekanten som vist på fig. 13, således, at den samlede deformation bli-

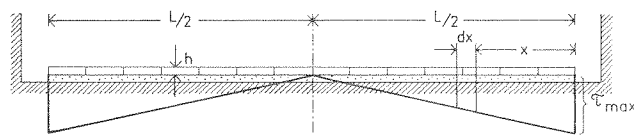


Fig. 13. Klinkergulv med frie ender og med adhæsion til underlaget.

ver = 0, d. v. s. således at forskydningskræfterne giver klinkerne en forkortelse på $\epsilon \cdot L$.

Idet stykket dx 's forkortelse = Δdx , og forkortelsen

pr. længdeenhed: $\epsilon_{dx} = \frac{\Delta dx}{dx}$, skal altså gælde:

$$\int_0^{L/2} \Delta dx = \int_0^{L/2} \epsilon_{dx} \cdot dx = \epsilon \cdot \frac{L}{2}, \text{ hvor } \epsilon = \alpha \cdot \Delta T.$$

Men: $\epsilon_{dx} = \frac{\sigma_x}{E}$, hvor σ_x = middeltrykspændingen i klinkerlaget i snittet med afstanden x fra kanten, og E er klinkerlagets elasticitetskoefficient.

σ_x findes som:

$$\sigma_x = \frac{1}{2} (\tau_{max} + \tau_{max} \cdot \frac{L/2 - x}{L/2}) \cdot \frac{x}{h}, \text{ hvor } h \text{ er klinkernes tykkelse.}$$

$$\text{Heraf: } \sigma_x = \frac{\tau_{max}}{h} (1 - \frac{x}{L}) \cdot x = \frac{\tau_{max}}{h \cdot L} (L - x) \cdot x$$

$$\text{Altså: } \int_0^{L/2} \epsilon_{dx} \cdot dx = \frac{\tau_{max}}{h \cdot L \cdot E} \int_0^{L/2} (L - x) \cdot x \cdot dx =$$

$$\frac{1}{12} \cdot \frac{\tau_{max}}{h \cdot E} \cdot L^2 = \epsilon \cdot \frac{L}{2} = \alpha \cdot \Delta T \cdot \frac{L}{2}$$

$$\text{Heraf: } \tau_{max} = 6 \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E \cdot \frac{h}{L}$$

Man bemærker, at for en given gulvlængde vil forskydningspændingerne vokse med tiltagende klinker-tykkelse.

Den største normalspænding i klinkerlaget optræder på midten. Spændingen σ_{max} bliver her:

$$\sigma_{max} = \frac{1}{2} \cdot \tau_{max} \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{1}{h} = \frac{3}{2} \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E$$

Sammenholdes dette resultat med udtrykket for normalkraften under punkt 1, ses, at den maximale trykspænding er 50 % større end før.

I virkeligheden er der visse indskrænkninger til de netop fundne resultater. Underlaget for klinkerne vil deformeres, og klinkerlaget derfor ikke sammentrykkes så meget, hvorfor de forskydende spændinger vil blive mindre end ovenfor. Spændingsfordelingen vil heller ikke blive retliniet trekantformet, idet der vil ske krybning i lægningsmørtelen, så spændingsfordelingen, dersom påvirkningen foregår gennem længere tid, snarere vil blive som efter den punkterede τ -kurve på fig. 14.

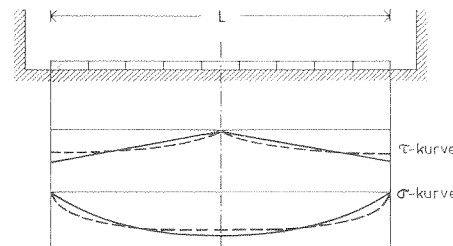


Fig. 14. Kurver for normal- og forskydningspændinger.

Forskydningskræfterne vil altid være størst ved enderne, hvorfor der her er størst fare for, at klinkerne skal »skubbe« sig løse. Til gengæld er opbulingsfaren størst på midten, hvor normalspændingen er størst.

Såfremt forskydningspændingen ikke fordeler sig trekantformet, men efter de viste punkterede linier, bliver fordelingen af normalspændingen heller ikke parabelformet. Fordelingen vil blive omtrentlig, som vist punkteret på fig. 14.

Man bemærker, at forskydningskræfterne angriber excentrisk langs klinkernes underside, hvilket virker fremmede på tendensen til, at »klinkersøjlen« skal bøje ud, d. v. s. klinkergulvet bule op.

Med h t. excentricitetens størrelse ses, at det i hvert fald teoretisk vil gælde, at såfremt fugerne kun har mørtel i bunden, således at kraftoverføringen mellem klinkerne sker lavt, vil excentriciteten formindskes. I praksis vil det nok være problematisk, om det af denne grund vil være tilrådeligt at gå ind for kun delvis fyldte fuger (man kunne muligvis tænke sig en fyldning med cementmørtel i bunden og et blødere ikke-kraftoverførende materiale i toppen), men i hvert fald er det klart, at man må sørge for, at fugerne bliver fyldt helt ud og ikke kun i toppen.

For at få et indtryk af størrelsesordenen af de optrædende kræfter skal anføres et par eksempler:

Med ΔT som før = 75° fås:

$$\tau_{max} = 6 \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E \cdot \frac{h}{L} = 6 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 75 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot \frac{h}{L} = 810 \cdot \frac{h}{L} \text{ kg/cm}^2$$

Med $h = 2 \text{ cm}$ og $L = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$ fås:

$$\tau_{max} = 810 \cdot \frac{2}{200} \cong 8 \text{ kg/cm}^2$$

Med $h = 3 \text{ cm}$ og $L = 2 \text{ m}$ bliver $\tau_{max} \cong 12 \text{ kg/cm}^2$. Det er svært at bestemme forskydningsstyrken for mørtel, men i hvert fald kan man regne med, at den ikke er mindre end trækstyrken. Trækstyrken er også vanskelig at bestemme, almindeligvis regner man med, at den ligger imellem $\frac{1}{8}$ og $\frac{1}{20}$ af trykstyrken.

For cementmørtel med $\sigma_m = 300 \text{ kg/cm}^2$ skulle man vel kunne regne med $\tau_m = \text{ca. } 30 \text{ kg/cm}^2$ efter en passende hærningstid.

Det ses af ovenstående udtryk, at $\tau_{max} \rightarrow \infty$ for $L \rightarrow 0$. Dette gælder naturligvis kun teoretisk, men der er ingen tvivl om, at i praksis vil den maksimale forskydningspænding, alt andet lige, være omvendt proportional med gulvlængden.

Med værdierne ovenfor bliver den maksimale spænding i klinkerlaget:

$$\sigma_{max} = \frac{3}{2} \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot E = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 75 \cdot 6 \cdot 10^5 \cong 200 \text{ kg/cm}^2$$

Hvis de fundne resultater sammenholdes med de tidligere under punkt 1 fundne, ses, at opbulingsfaren er forøget på grund af følgende forhold:

den maksimale normalspænding er vokset med 50 %, »klinkersøjlen« påvirkes excentrisk langs undersiden af klinkerne.

Til gengæld er »klinkersøjlen« i det sidste tilfælde påvirket af tværkræfter, der søger at hindre fremkomsten af opbulinger. Disse tværkræfter hidrører fra adhæsionen mellem klinker og underlag.

Et forsøg på en eksakt matematisk behandling af spændingsbilledet vil hurtigt føre til meget vidtløftige beregninger, og en gennemførelse af beregningerne vil kun være mulig, såfremt man gør forskellige forudsætninger, hvis holdbarhed det er meget vanskeligt at verificere.

Men de allerede viste beregninger synes dog at give en vis forestilling om de optrædende kræfters størrelse og virkemåde samt et fingerpeg om, hvorledes man kan søge at hindre fremkomsten af skader.

Det ses således af de små værdier for τ_{max} , at der ved større gulve næppe er fare for, at klinkerne skal »skubbe« sig løse, idet τ_{max} vil kunne optages af mørtelen.

Den største fare består i fremkomsten af den store σ_{max} -værdi på gulvmidten i forbindelse med søjlevirkningen, hvilket forekommende skader er det bedste udtryk for. For at formindskes faren for opbuling er det nærliggende at opdele større gulvarealer ved hjælp af dilatationsfuger, hvorved »søjlelængden« formindskes. Spørgsmålet er nu: hvor tæt skal dilatationsfugerne ligge?

Antal klinker	L cm	$\frac{h}{L}$	$\tau_{max} = 810 \cdot \frac{h}{L}$ kg/cm ²	$\tau_{till.}$ kg/cm ²	$\sigma_E = 5 \cdot 10^5 \cdot (\frac{h}{L})^2$ kg/cm ²	σ_{max} kg/cm ²	resultat
1	20	1/10	80 >	30	5000 >	200	forskydningsbrud
2	40	1/20	40 >	30	1250 >	200	forskydningsbrud
3	60	1/30	27 <	30	555 >	200	klinkerne ligger fast
4	80	1/40	20 <	30	312 >	200	klinkerne ligger fast
5	100	1/50	16 <	30	200 =	200	fare for opbuling
6	120	1/60	13 <	30	138 <	200	opbuling

Forsøg på at bestemme afstanden mellem dilatationsfugerne.

Der udlægges et klinkergulv bestående af kvadratiske $20 \times 20 \text{ cm}$ klinker, 2 cm tykke, på et underlag af cementmørtel. Klinkerne udsættes for samme påvirkning som i forrige afsnit. Med 1 klinge fås en spændingsfordeling, som vist til venstre på fig. 15. Idet

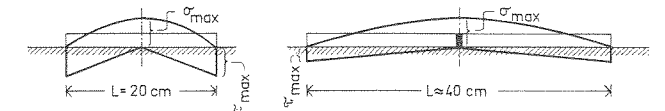


Fig. 15. Spændingsfordelingen ved henholdsvis 1 og 2 klinker.

$\frac{h}{L} = \frac{2}{20} = \frac{1}{10}$, bliver $\tau_{max} = 810 \cdot \frac{h}{L} \cong 80 \text{ kg/cm}^2$. σ_{max} er som før = 200 kg/cm^2 uafhængig af længden og tykkelsen.

Den Eulerske σ_E -værdi for klinken bliver formelt:

$$\sigma_E = 5 \cdot 10^5 \cdot (\frac{h}{L})^2 = 5000 \text{ kg/cm}^2$$

Det ses, at der ikke er fare for udbøjning, derimod vil klinken springe fra, såfremt mørtelens forskydningsstyrke τ_m er mindre end 80 kg/cm^2 . Der blev før benyttet som en rimelig værdi $\tau_m = 30 \text{ kg/cm}^2$.

Lægges 2 klinker, fås spændingsbilledet, som vist til højre på fig. 15.

I dette tilfælde er $\frac{h}{L} = \frac{2}{40} = \frac{1}{20}$

$$\tau_{max} = 40 \text{ kg/cm}^2 \text{ og } \sigma_E = 5 \cdot 10^5 \cdot (\frac{1}{40})^2 = 1250 \text{ kg/cm}^2$$

τ_{max} -værdien vil stadig forårsage forskydningsbrud. Tilsvarende værdier kan beregnes for 3 og flere klinker, resultatet er vist i skemaet nedenfor.

Man ser, at først ved 3 klinker i forlængelse bliver belægningen stabil. Med 5 klinker er $\sigma_E = \sigma_{max}$, d. v. s., at hvis formlerne gælder helt eksakt, er den beregningsmæssige sikkerhed mod opbuling = 1. Med seks og flere klinker i forlængelse vil der kunne ske opbuling, idet $\sigma_E < \sigma_{max}$.

Nogle af de væsentligste indvendinger mod de benyttede formler er som nævnt, at »klinkersøjlen« er excentrisk og ikke centralt belastet som forudsat i beregningerne, endvidere er tværkræfterne hidrørende fra adhæsionen ikke taget i regning.

Imidlertid er den første indvending ikke væsentlig, idet en excentrisk belastet søjles brudspænding meget nær kan udtrykkes ved Eulers σ_E -værdi. Hvad angår adhæsionen, er det måske rimeligt, som det er gjort, ikke at tage den i regning, i lighed med fremgangsmåden ved beton- og jernbetonberegninger, hvor man ikke regner med betonens trækstyrke. Det ville derfor ikke

være helt urimeligt at benytte den viste fremgangsmåde som beregningsgrundlag.

Af ovenstående tabel ses, at den »kritiske« værdi for $\frac{h}{L} = \frac{1}{50}$ svarende til en »kritisk« fri søjlelængde på 100 cm ved en 2 cm tyk klinke. For en 3 cm tyk klinke bliver den tilsvarende værdi af $L = 150$ cm. Den beregningsmæssige stabilitet af gulvet er altså ligefrem proportional med klinkertykkelsen. I virkeligheden er stabiliteten nok lidt mindre, idet excentriciteten også vokser med tiltagende klinkertykkelse.

Ved beregningerne ovenfor er regnet med, at der ikke er fare for opbuling, såfremt gulvlængden er mindre end den »kritiske« fri søjlelængde. Dette betyder, at man er gået ud fra, at den potentielle opbuling vil foregå som vist øverst på fig. 2.

Hvis opbulingen sker som vist nederst på fig. 2, vil der være sikkerhed mod opbuling, blot gulvlængden er mindre end det dobbelte af den »kritiske« fri søjlelængde. Dette skyldes, at ved en indspændt søjle er den fri søjlelængde = halvdelen af afstanden mellem understøtningerne.

Afstanden mellem dilatationsfugerne i det i skemaet behandlede gulv skulle derfor, såfremt opbulingen sker som vist nederst på fig. 2, kunne sættes til 2×100 cm = 2 m, forudsat at den beregningsmæssige sikkerhed = 1.

Hvilken af de to opbulingsmåder, der er mest sandsynlig, er svært at afgøre, ligesom det er vanskeligt at bedømme, om det er den ene eller den anden form, der forekommer i praksis.

Til sammenligning med resultaterne ovenfor kan nævnes, at et stort svensk klinkerfirma som maksimal afstand mellem dilatationsfugerne foreskriver 6 og 3 m ved hhv. indendørs og udendørs konstruktioner.

3. Klinkergulv med fastholdte ender og med adhæsion til underlaget.

Især ved mindre gulvdimensioner er dette meget almindeligt. Spændingsforholdene i et sådant gulv er endnu mere komplicerede end for gulvene i det foregående, men spændingstilstanden må blive en kombination af tilstandene under pkt. 1 og 2. En del af en evt. opstået trykspænding i klinkerne vil muligvis kunne optages af de omgivende mure i stedet for af underlaget, men hvor stor en del af trykket, der går til murene, og hvor stor en del til underlaget, afhænger af de lokale forhold.

Opbulingsfaren kan formindskes ved at indlægge dilatationsfuger. Ved mindre spændvidder af gulvet kan man nøjes med at lægge fuger langs kanterne, hvor de er mindst til gene. Der er herefter tale om spændingstilstanden pkt. 2 igen.

Andre årsager til opbulinger.

I det foregående er behandlet skader på klinkergulve fremkommet ved en termisk udvidelse af klinkerlaget. Principielt vil problemerne blive de samme, hvis såvel klinker som underliggende mørtel og beton gøres til genstand for et kraftigt temperaturfald. Da betons (og mørtels) udvidelseskoefficient er ca. tre gange så stor som klinkernes, vil et sådant temperaturfald give anledning til tryk i klinkerbelægningen og træk i underlaget.

Faren for opbuling vil imidlertid også foreligge, hvis en udvidelse af klinkerlaget eller en sammen-

trækning af underlaget finder sted af andre grunde. Der skal nævnes de vigtigste af de årsager, som kan tænkes at medvirke til, at opbuling sker:

a. Svind.

Svind i udlægningsmørtelen vil forårsage en spændingstilstand, som er helt analog med den, der skyldes en termisk udvidelse af klinkerne.

Svindets størrelse kan ligge mellem vide grænser og er afhængig af mange forhold. Et lineært svind på $\sim 0,2$ ‰ kan regnes som en meget almindelig værdi. For at få et indtryk af, hvilke trykspændinger i klinkerlaget et sådant svind vil give anledning til, bemærkes, at den før anvendte temperaturstigning på 75° svarer til en udvidelse på: $\epsilon = a \cdot \Delta T = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 75 \cong 0,0002$, altså netop ca. 0,2 ‰.

Et svind af denne størrelse vil altså give samme spændingsbillede som beskrevet i afsnit 2.

b. Nedbøjning af underlaget.

Hvis klinkerne udlægges på en etageadskillelse for eks. af jernbeton, kan der opstå trykspændinger i klinkerlaget som følge af nedbøjning af pladen. Nedbøjningerne kan fremkomme på grund af belastning eller ved et jernbetondæk på grund af krybning i betonen.

Et indtryk af størrelsesordenen af de spændinger, der kan opstå, kan man få ved følgende beregning:

Et dæk af tykkelse h cm bærer i een retning over to understøtninger med afstanden L cm. Dækket regnes simpelt understøttet og belastes ensformigt med p kg/cm². Der regnes formelt uden hensyn til armeringsjernenes indflydelse på deformationerne.

Momentet M_x i et snit med afstanden x fra venstre understøtning bliver:

$$M_x = \frac{1}{2} p x (L - x)$$

Den tilsvarende kantspænding bliver: $\sigma_x = \frac{M_x}{W}$, hvor W er modstandsmomentet. Forkortelsen pr. længdeenhed i overkanten af snittet udtrykkes ved:

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}, \text{ hvor } E = \text{elasticitetskoefficienten.}$$

Den samlede forkortelse ΔL i oversiden af dækket med spændvidde L bliver herefter:

$$\Delta L = \int_0^L \epsilon_x dx = \int_0^L \frac{\sigma_x}{E} dx = \frac{1}{E \cdot W} \int_0^L M_x dx = \frac{1}{EW} \int_0^L \frac{1}{2} p x (L - x) dx = \frac{p L^3}{12 E W}$$

Den maksimale nedbøjning f på midten af dækket er efter elasticitetsteorien: $f = \frac{5}{384} \cdot \frac{p L^4}{EI}$, hvor $I =$ inertimomentet.

Ved at sammenholde udtrykkene for ΔL og f kommer man til følgende udtryk for ΔL :

$$\Delta L = 3,2 \cdot h \cdot \frac{f}{L}$$

Udtrykket kan også skrives:

$$\frac{\Delta L}{L} = 3,2 \left(\frac{h}{L} \right) \cdot \left(\frac{f}{L} \right)$$

Ved et betondæk er $\frac{h}{L}$ af størrelsen $\frac{1}{30}$. Spørgsmålet er nu, hvilke værdier størrelsen $\frac{f}{L}$ kan antage.

De bidrag til f , som er af interesse, er bidragene der hidrører fra den bevægelige belastning (minus lette

skillevægge) og krybningen. Det elastiske bidrag til f hidrørende fra egenvægten kan man se bort fra, idet klinkerne næppe lægges, før de lette skillevægge er stillet op, og dækket afformet.

Af de ovennævnte bidrag til f er det sikkert bidraget fra krybningen, der er det farligste. Hvilke værdier af $\frac{f}{L}$, man hyppigst kommer ud for i praksis, er det meget svært at sige noget om. Men indflydelsen af $\frac{f}{L}$ på spændingerne i et klinkergulv giver ovenstående formelle udtryk for $\frac{\Delta L}{L}$ et fingerpeg om.

Hvis f. eks. $\frac{f}{L} = \frac{1}{500}$ fås:

$$\frac{\Delta L}{L} = 3,2 \cdot \frac{1}{30} \cdot \frac{1}{500} = 0,0002$$

svarende til 0,2 ‰, altså en værdi, der svarer til et lineært svind af samme størrelse eller en temperaturstigning på 75° i klinkerlaget.

Det kan nævnes, at $\frac{1}{500}$ er den beregningsmæssige værdi af $\frac{f}{L}$, der maksimalt tillades ved et trædæk for den bevægelige belastning alene.

For et jernbetondæk vil man utvivlsomt komme ud for væsentlig større værdier efter nogen tids krybning.

c. Andre opbulingsfremmende faktorer.

Af andre årsager, som kunne tænkes at virke fremmende på tendensen til opbuling af et klinkergulv, kan nævnes:

1. Udvidelse af fugemørtelen på grund af vandoptagelse.
2. Udvidelse af fugerne på grund af en eller anden form for kemisk omdannelse af cementmørtelen hidrørende fra kemiske angreb på gulvet.
3. Udvidelse af klinkerne på grund af vandopsugning.
4. Udvidelse i klinkerlaget fremkommet ved, at revner i fugemørtelen og revner mellem fugemørtel og klinker fyldes mere og mere med snavs ved successive udvidelser og sammentrækninger af klinkergulvet. En lignende virkning vil man få frem, hvis vand trænger ned i de små revner, i forbindelse med at gulvet udsættes for frost.

Det er vanskeligt at vurdere betydningen af de ovennævnte faktorer. På forhånd kan man formode, at betydningen af punkterne 1, 2 og 3 er uvæsentlig på grund af fugernes ringe tykkelse i forhold til klinkernes dimensioner samt på grund af klinkernes store volumenbestandighed. Endvidere er det vel få gulve, der udsættes for stærk frost.

Men en kvantitativ bedømmelse er det nok umuligt at foretage, og nærmere oplysning om spørgsmålene vil kun kunne indhentes ved en direkte undersøgelse på laboratorium.

Hvad man kan gøre for at imødegå skaderne.

Det er indlysende, at man kan mindske risikoen for fremkomsten af skader ved at begrænse påvirkningerne, det være sig såvel de termiske, de mekaniske som de kemiske. Dette bør man gøre, i den udstrækning det er muligt.

Svind samt sætning eller nedbøjning af underlaget er det vanskeligere at sikre sig imod. Beton og mørtel vil altid udvise et vist svind ved hærkning i luft, men på forskellig måde kan man formindske svindet f. eks.

ved anvendelse af velgraderet sand og lavt cement- og vandindhold.

Nedbøjningen af en betonplade på grund af krybning vil foregå hurtigst umiddelbart efter afformningen. Såfremt pladen skal beklædes med klinker, vil det derfor være gunstigt at udsætte arbejdet med lægningen af klinkerne så længe som muligt.

Selvom man således på forskellig måde kan holde påvirkningerne indenfor visse grænser, kan det dog ikke undgås, selv ved indlæggelse af dilatationsfuger, at spændinger fremkommer, og det gælder derfor om at sørge for, at disse spændinger kan optages. Når faren for opbuling foreligger, er fugemørtelen udsat for tryk, mens henlægningsmørtelen er påvirket til træk og forskydning. Trykket kan i de fleste tilfælde sagtens optages, forskydningskræfterne vanskeligere, mens trækspændingerne er de farligste. Faren for brud er utvivlsomt størst i selve berøringsfladen mellem klinker og udlægningsmørtel. Denne antagelse bestyrkes af, at man ved opbrydning af skadede gulve ofte har konstateret, at der næsten ingen mørtel hænger fast ved de opbulede klinkers underside.

Vedhængningen mellem klinker og udlægningsmørtel er meget afhængig af beskaffenheden af mørtel-lagets overflade, lige før klinkerne lægges. Overfladen må frem for alt ikke være for tør, da der i så fald kun vil blive en punktvis forbindelse mellem mørtel og klinke. På den anden side er man nødt til at benytte en ret stiv mørtel; i modsat fald vil de netop lagte klinker ikke blive liggende, når de næste bankes på plads.

Spaltklinker har en ru underside forsynet med langsgående riller, se fig. 16. En sådan underside synes



Fig. 16. Tværsnit af spaltklinker.

umiddelbart godt egnet til at adhærere til mørtel. Ikke kun fordi berøringsfladen er ru, men også fordi berøringsarealet er større end for den tilsvarende glatte klinke. En forudsætning er det dog, at udsæringerne fyldes med mørtel. Hvis ikke dette er tilfældet, vil de mere skade end gavne.

Men såfremt de øverste lag af lægningsmørtelen har en sådan konsistens, at rillerne vil blive fyldt helt ud, når klinken bankes ned, er der ingen tvivl om, at rillerens tilstedeværelse vil bevirke, at berøringsfladen mellem klinke og mørtel bedre vil kunne tage såvel forskydnings- som trækspændinger.

Hvad fugningen angår, ses af det foregående, at faren for skader bedst imødegås ved at sørge for, at fugeren fyldes med mørtel i hele højden.

Litteratur.

- (48—117) DS 410. Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner. 1. Belastningsforskrifter. København, juni 1948. 3. oplag.
- (49—97) DS 411. Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner. 2. Beton- og jernbetonkonstruktioner. Dansk Standardiseringsråd. 1. udg. København, juni 1949. 60 pp. Med midlertidigt tillæg af 1. 11. 1949.
- (53—10) Træfri gulvbelægninger. Statens Byggeforskningsinstitut. Særtryk nr. 34. København, 1953. 17 litteraturhenvisninger.
- (54—25) DS 413. Dansk Ingeniørforenings normer for bygningskonstruktioner. 4. Trækonstruktioner. Teknisk Forlag og Dansk Standardiseringsråds Meddelelser. København 1954.