

HET GEBRUIK VAN WEERSTANDSREKSTROOKJES BIJ HET VERRICHTEN VAN METINGEN

I. Beschrijving van de methode

Voor het bepalen van de vervormingen in een constructie kan men gebruik maken van weerstandsrekstrookjes.

Een rekstrookje bestaat uit een dun weerstandsdraadje, dat in de fabriek — meestal in enkele windingen — op een papieren dragertje wordt bevestigd. Tevens worden 2 aansluitelektroden aangesoldeerd. (Zie fig. 1 en 2.)

Het meten met rekstrookjes berust op het feit, dat de weerstand van een geleider groter wordt bij toenemende lengte en bij afnemende dikte van de geleider. Deze beide verschijnselen zullen optreden, wanneer het weerstandsdraadje gerekt wordt. Wanneer het weerstandsdraadje gestuikt wordt, neemt de lengte af, en de dikte toe, waardoor de weerstand kleiner wordt. In formule: $R = \frac{\rho l}{F}$, waarin R de weerstand, ρ de soortelijke weerstand, l de lengte en F de doorsnede van de geleider voorstellen.

Men moet dus zorgen, dat het weerstandsdraadje de vervormingen van de te onderzoeken constructie volledig volgt, en dat men de weerstandsverandering ten gevolge hiervan kan bepalen. Daartoe dient het rekstrookje zeer hecht aan de constructie bevestigd te worden, wat men bereikt door het rekstrookje op te plakken.

II. Het aanbrengen en drogen van rekstrookjes

Het plakken van rekstrookjes op metalen en andere homogene materialen met een vrij glad oppervlak is betrekkelijk eenvoudig, al moet het met de grootste zorgvuldigheid gebeuren. Het oppervlak moet eerst grondig worden

Fig. 1. Enkele uitvoeringen

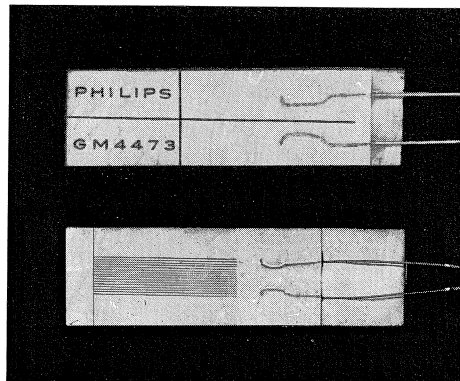
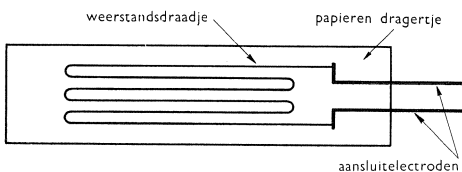


Fig. 2. Schema rekstrookje



schoongemaakt, waarbij roest, olie en verf e.d. verwijderd moeten worden. Vervolgens moet het oppervlak zorgvuldig worden gereinigd met behulp van watten met aceton en aethylacetaat. Tijdens dit reinigen moet de meetplaats enigszins worden verwarmd. Anders bestaat er gevaar dat door het verdampen van de vluchtige reinigingsvloei-stoffen het oppervlak zo veel afkoelt, dat waterdamp uit de lucht hierop zal condenseren. Daar water in het papieren dragertje kan dringen en dit een grote vervorming kan doen ondergaan, moet het toetreden van vocht tot het rekstrookje volledig worden voorkomen.

Het rekstrookje moet, nadat het met speciale rekstrookjeslijm geplakt is, intensief worden gedroogd. Dit drogen kan o.a. geschieden door gebruik te maken van een electrisch kacheltje of van een droogstraler.

Het drogen moet zo mogelijk 3 à 4 dagen duren, waarbij de temperatuur geleidelijk wordt opgevoerd van 30 °C tot 60 à 70 °C. (Zie fig. 3.)

Met een megohm-meter kan de isolatieweerstand tussen het weerstandsdraadje en het te onderzoeken object worden gemeten. De isolatieweerstand moet ten minste 1000 megohm (= 10⁹ ohm) bedragen.

Is het rekstrookje voldoende gedroogd, dan wordt het vochtdicht afgedekt, waarna de warmtebron verwijderd wordt.

III. De wijze van meten

Het verrichten van een meting aan een constructie met behulp van rekstrookjes berust blijkens het voorgaande op het bepalen van de weerstandsverandering in de rekstrookjes ten gevolge van de belasting. Het bepalen van deze weerstandsverandering heeft echter alleen dan zin, als bekend is, welk verband er bestaat tussen de vormverandering en de weerstandsverandering van het rekstrookje.

Door een rekstrookje te plakken op een staaf en deze een bekende verlenging te geven bij onverhinderde dwarscontractie bepaalt men het verband tussen de specifieke weerstandsverandering $\Delta R/R$ en de specifieke lengteverandering $\Delta l/l$. Een gelukkige omstandigheid is, dat dit verband voor het gebied, waarin vrijwel alle metingen gelegen zijn, lineair is. Men noemt deze verhouding de ijkfactor k van het rekstrookje. Dus $k = \Delta R/R : \Delta l/l$.

Daar een eenmaal opgeplakt rekstrookje niet meer verwijderd kan worden,

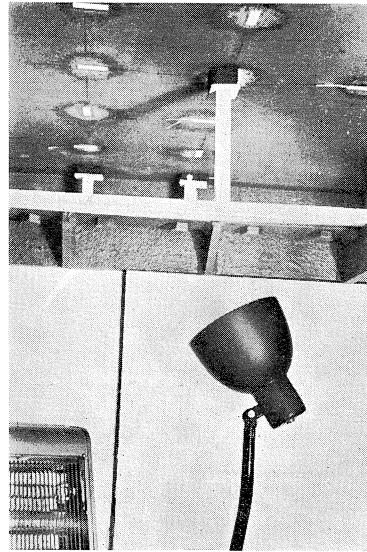


Fig. 3. Het aandrukken en drogen van rekstrookjes op het model van een plaatbrug.

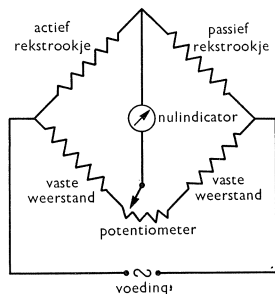
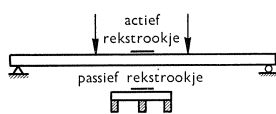


Fig. 4. Meting met 1 actief en 1 passief rekstrookje.

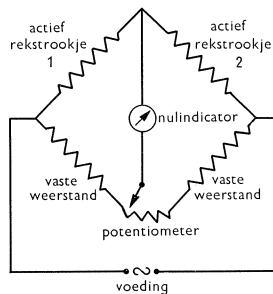
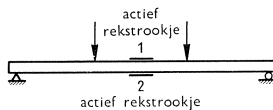


Fig. 5. Meting met 2 actieve rekstrookjes.

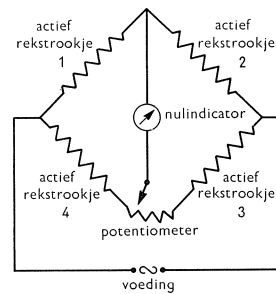
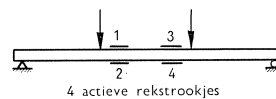


Fig. 6. Meting met 4 actieve rekstrookjes.

om het daarna opnieuw aan te brengen, kan men rekstrookjes niet individueel ijken.

Men moet volstaan met het nemen van een monster uit een zekere productiehoeveelheid en hiervan de ijkfactor bepalen.

De waarde van de ijkfactor voor de verschillende rekstrookjes wordt in de fabriek bepaald en bij aflevering op de verpakking vermeld. Voor veel rekstrookjes bedraagt de waarde van k ongeveer 2. Bij metingen met rekstrookjes aan bijv. platen en schalen moet men rekening houden met het feit, dat ook vervorming loodrecht op de lengte-as van het rekstrookje een weerstandsverandering ten gevolge heeft. Men kan de waarde van deze dwarsgevoeligheid analytisch bepalen uit de vorm van het werkzame deel van het rekstrookje en deze waarde bij de uitwerking van de waarnemingen in rekening brengen.

Men zou zich kunnen voorstellen dat een meting met een rekstrookje kan geschieden door zowel vóór als na het aanbrengen van de belasting de weerstand van het rekstrookje te meten en hieruit de waarde van $\Delta R/R$ te bepalen. Wanneer men echter bedenkt, dat de weerstandsverandering t.g.v. de vervorming in de orde van grootte van $0,01\%$ ligt, is het duidelijk, dat men met een gewone ohmmeter de vereiste nauwkeurigheid niet kan bereiken.

Door het rekstrookje op te nemen in een brug van Wheatstone (zie fig. 4) kan men voldoende nauwkeurige aflezingen verkrijgen. De brug van Wheatstone levert echter nog een belangrijk voordeel op, namelijk de mogelijkheid om temperatuursinvloeden te elimineren.

Bij een constructie, die t.g.v. een verandering van de temperatuur vrij kan vervormen, meet men, indien tijdens de belasting deze temperatuursverande-

ring optreedt, ook de vervormingen, die hiervan het gevolg zijn. Ook het rekstrookje zelf ondergaat door temperatuursverandering een weerstandsverandering, die afhankelijk is van de temperatuurscoëfficiënt van het gebruikte weerstandsdraad. Door nu één rekstrookje op de te onderzoeken constructie te plakken (actief rekstrookje) en een tweede op een los stuk van hetzelfde materiaal, dat in de onmiddellijke omgeving van het eerstgenoemde rekstrookje wordt gelegd (z.g. passief rekstrookje of dummy), zoals aangegeven is in figuur 4, bereikt men dat de weerstandsverandering in beide rekstrookjes door temperatuursvariatie gelijk is. Schakelt men nu elk rekstrookje in een tak van de brug van Wheatstone, dan zal temperatuursverandering geen uitslag van de meter veroorzaken (fig. 4).

Men meet dus op deze wijze alleen de weerstandsverandering, die het gevolg is van de belasting.

In bepaalde gevallen kan men met deze schakeling een dubbele gevoeligheid verkrijgen. Deze mogelijkheid doet zich voor als men metingen verricht aan een op buiging belaste symmetrische staaf, die bij temperatuursveranderingen vrij kan vervormen (fig. 5). Zet de staaf uit bij oplopende temperatuur, dan vervormen beide rekstrookjes gelijk en geven dus geen uitslag van de meter. Door belasten echter worden de tegenover elkaar liggende zijde van de staaf evenveel, maar tegengesteld vervormd. Als aflezing verkrijgt men nu dus de dubbele waarde van de vervorming van één zijde.

Door van de twee vaste weerstanden in de brug de ene te vervangen door een rekstrookje aan de bovenzijde van de staaf en de andere door een rekstrookje aan de onderzijde van de staaf, kan men zelfs een aflezing verkrijgen, die vier maal zo groot is als de aflezing bij gebruik van één actief strookje op de staaf en één dummy op een los, naast de belaste staaf gelegd, stuk van hetzelfde materiaal. Zie voor deze opstelling en schakeling figuur 6.

Fig. 7. Meetapparaat voor metingen bij statische belastingen.



Daar bij deze wijze van schakelen alle takken van de brug van Wheatstone gevormd worden door rekstrookjes, noemt men dit een hele-brug-schakeling. Als in twee takken van de brug van Wheatstone een rekstrookje is opgenomen, spreekt men van een halve-brug-schakeling. (Fig. 4 en 5.)

In het meetapparaat voor metingen bij statische belastingen (fig. 7) is verder een versterker aangebracht, terwijl tevens een schakelaar aanwezig is, die men kan instellen op de k -waarde van het rekstrookje.

Vóór en na de belasting stelt men de meter op nul en leest de stand van de gecalibreerde potentiometer af. Het verschil van deze aflezingen geeft nu direct de waarde van ε uitgedrukt in 10^{-6} (men noemt $1 \cdot 10^{-6}$ één microrek).

IV. Het gebruik van meerdere rekstrookjes

Meestal zal men bij een meting van meer dan één rekstrookje gebruik maken. Vanzelfsprekend zouden de investeringskosten veel te hoog worden indien men voor elk meetpunt een meetapparaat zou moeten gebruiken. Men kan dit ondervangen door gebruik te maken van omschakelapparatuur, waardoor men de aanwijzingen van de verschillende rekstrookjes na elkaar kan aflezen. Er moet echter voor gezorgd worden, dat door het schakelen de nauwkeurigheid van de metingen niet nadelig beïnvloed wordt. Uit hetgeen vermeld is over de zeer kleine waarde van de weerstandsverandering van het rekstrookje, volgt onmiddellijk, dat de verandering van de overgangswaerstand in de schakelaar slechts uiterst gering mag zijn. Met een schakelaar van zeer goede kwaliteit

Fig. 8. Schakeling, waarbij de overgangswaerstanden invloed kunnen uitoefenen

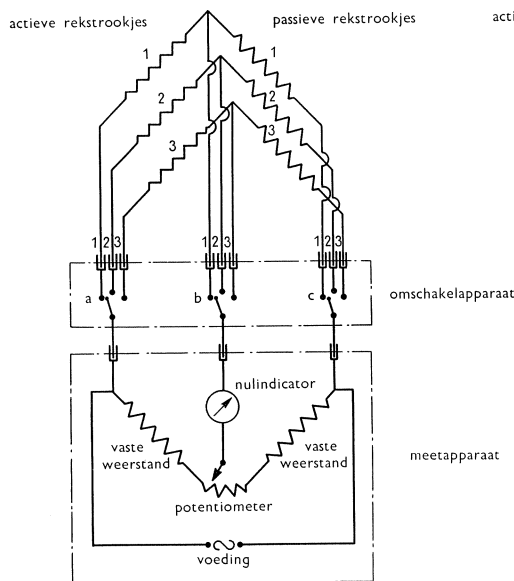
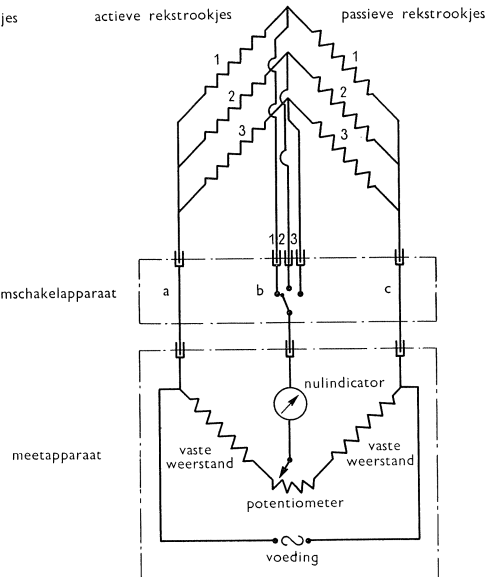


Fig. 9. Schakelen in de stroomloze tak



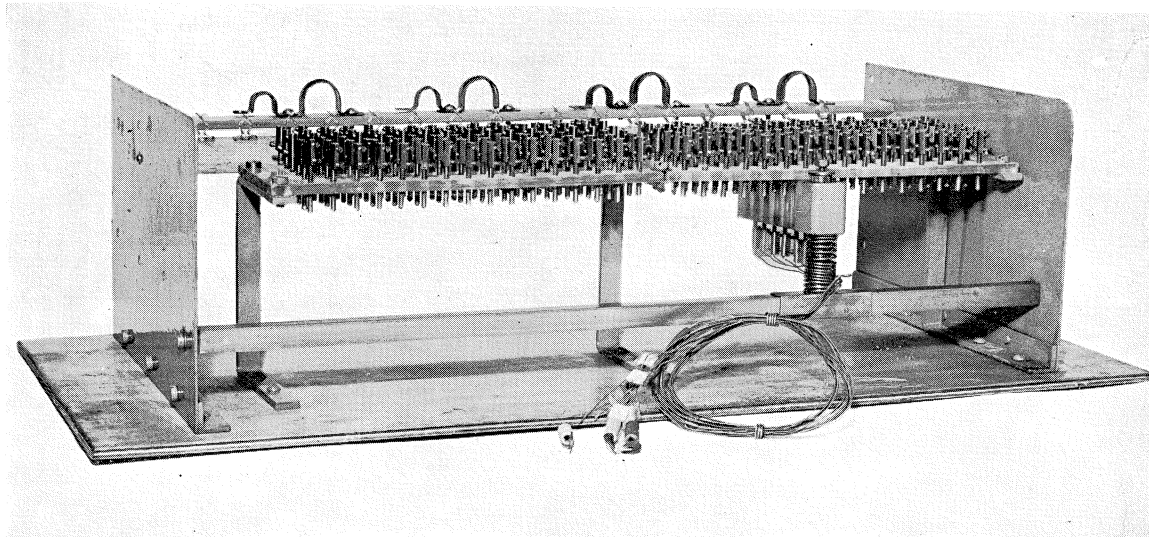


Fig. 10. Kwikomschakelaar

is dit wel te bereiken, maar ook dan kunnen nog wel eens fouten optreden.

Een oplossing kan men vinden, door niet in de stroomvoerende takken *a* en *c* van fig. 8 te schakelen maar alleen in de stroomloze galvanometertak *b*, zoals aangegeven is in figuur 9.

Met kwikcontacten zijn eveneens goede resultaten bereikt, mits er voor gezorgd werd, dat de contactpennen goed geamalgameerd waren en het kwik zeer schoon was. Bij deze methode is het niet noodzakelijk bij elk actief rekstrookje een passief strookje aan te sluiten. Een bij de Werkgroep gebruikte kwikomschakelaar is weergegeven in figuur 10.

Tenslotte kan nog genoemd worden een systeem, waarbij voor ieder meetpunt in het omschakelapparaat nog twee vaste weerstanden aangebracht zijn. Deze twee vaste weerstanden vormen met het actieve en passieve rekstrookje van het meetpunt een hele brug. Deze hele brug wordt nu geschakeld tegen de meetbrug in het meetapparaat. Het grote voordeel van dit systeem is, dat hier een verandering van de overgangswaerstand in de omschakelaar de meting niet beïnvloedt. Ook bij deze methode heeft men bij elk actief strookje een passief strookje nodig. Weliswaar heeft de omschakelkast ook de mogelijkheid om 1 dummy te gebruiken bij 23 actieve rekstrookjes maar daarbij is het hier beschreven voordeel van de dubbele brugschakeling vervallen. Het systeem en de omschakelkast zijn aangegeven in figuur 11 en 12.

V. De toepassingsmogelijkheden van rekstrookjes

In vergelijking met mechanische rekmeters hebben rekstrookjes enige duidelijke voordelen, waardoor zij in bepaalde gevallen de aangewezen meetinstrumenten zijn.

In de eerste plaats kan genoemd worden het voordeel dat de vormveranderingen op afstand afleesbaar zijn. Dit is van belang, wanneer metingen verricht moeten worden op plaatsen die men tijdens de belasting moeilijk kan bereiken, of uit veiligheidsoverwegingen niet wil naderen, zoals kan voorkomen

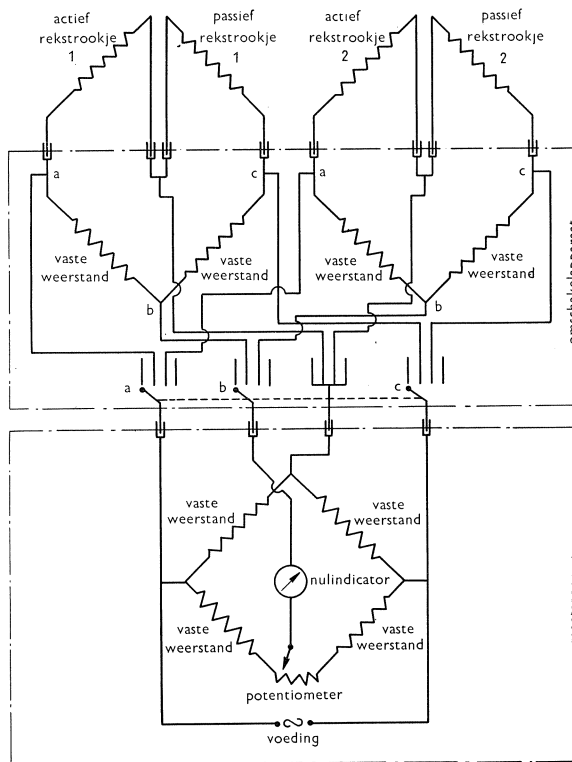


Fig. 11. Schakelschema met twee vaste weerstanden per meetpunt in het omschakelapparaat.

deel. Dit is vooral van belang, als in een klein gebied de spanningen sterk variëren.

Tenslotte kan nog worden vermeld het voordeel, dat met rekstrookjes ook dynamische verschijnselen gemeten kunnen worden.

Tegenover deze voordelen staan echter ook enige belangrijke nadelen, zodat in elk voorkomend geval nauwkeurig nagegaan moet worden of de meting beter met mechanische rekmeters of met rekstrookjes verricht kan worden.

Ten opzichte van de mechanische rekmeters hebben rekstrookjes als eerste nadeel dat het aanbrengen veel meer zorg en tijd vraagt dan dit bij mechanische rekmeters het geval is. Ook het drogen vergt tijd, wat vooral op een bouwwerk soms zeer hinderlijk is.

Vervolgens hebben de rekstrookjes niet die eenvoud, die de mechanische rekmeters zo aantrekkelijk maakt. Is een rekstrookje eenmaal geplakt, dan zijn geen verbeteringen meer aan te brengen, terwijl alleen het meten van de nominale weerstand en van de isolatieweerstand een indruk kunnen geven van de te verwachten betrouwbaarheid van de aflezingen.

bij machines en bij breukproeven. Ook bij meetapparatuur voor het bepalen van krachten en drukken komt dit voordeel duidelijk tot zijn recht.

Uit dit voordeel van aflezing-op-afstand volgt direct een tweede voordeel, namelijk dat van centrale aflezing. Men hoeft bij een meting dus niet van de ene meetplaats naar de andere te lopen of te klimmen om de aflezingen te kunnen verrichten. Vooral wanneer op veel en vrij ver uit elkaar gelegen punten gemeten wordt, kan dit belangrijk zijn.

Bij metingen aan staalconstructies is ook de omstandigheid dat rekstrookjes zeer klein zijn in vele gevallen een belangrijk voordeel.

Ook mist men bij rekstrookjes de mogelijkheid om door het vergroten van de meetlengte een grotere gevoeligheid te verkrijgen.

In het algemeen kunnen we twee groepen van toepassingen onderscheiden en wel:

- a. in meetapparaten;
- b. op constructies.

VI. Meetapparaten met rekstrookjes

Een van de meest gebruikte apparaten, waarin rekstrookjes toegepast worden, is de drukdoos. (Zie fig. 13 en 15). Dit is een metalen cylinder, waarop 4 rekstrookjes geplakt zijn. Druk op de cylinder veroorzaakt weerstandsverandering in de rekstrookjes, die met het meetapparaat wordt vastgesteld. De temperatuurscompensatie wordt hier verkregen door van de 4 rekstrookjes er 2 in axiale richting te plakken en 2 in de richting loodrecht op de as. Uit hetgeen gezegd is over de hele-brug-schakeling, volgt dat men met deze wijze van plaatsen van de rekstrookjes een grotere gevoeligheid van de drukdoos verkrijgt, dan in het geval dat de laatstgenoemde 2 rekstrookjes op een vrij aangebracht stuk van het materiaal van de cylindermantel waren geplakt.

Vóór het gebruik wordt de drukdoos geijkt door bij bekende krachten de aanwijzingen van het meetapparaat af te lezen. Daar de grootte van de vervorming afhankelijk is van het oppervlak van de cylindermantel, kan men, door de grootte hiervan te variëren, drukdozen voor zeer verschillende meetbereiken vervaardigen. Zo komen drukdozen voor lasten van 0—2 ton tot 0—100 ton veel voor, terwijl ook kleinere en grotere gemaakt kunnen worden. De eenvoud van bediening maakt deze drukdozen geschikt voor zeer uiteenlopende toepassingen waar de grootte van krachten bepaald moet worden.

Door op een metalen ring rekstrookjes te plakken en deze ring in radiale richting te trekken (zie fig. 14), verkrijgt men een trekkrachtmeter, die eveneens een groot gebied van toepassingen heeft. Voor het bepalen van het wringend moment in aandrijfassen zijn torsiemeters ontwikkeld.

Door de genoemde mogelijkheid om meetapparaten, die met rekstrookjes uitgevoerd zijn, op afstand af te lezen,

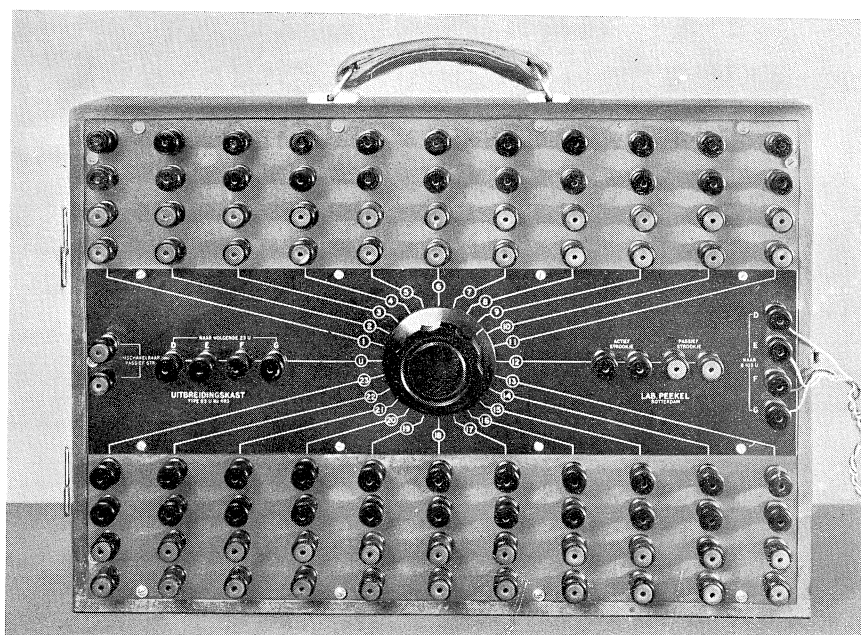


Fig. 12. Omschakelkast

worden deze apparaten ook veel gebruikt in de grondmechanica. Genoemd kunnen worden de gronddrukdoos, de waterspanningsmeter en het apparaat voor het bepalen van de conusweerstand.

Omdat vocht funest is voor de goede werking van een rekstrookje, zijn alle hierboven genoemde meetapparaten zeer zorgvuldig afgedicht.

VII. Rekstrookjes op staalconstructies

Voor toepassing van rekstrookjes bij metingen aan constructies brengt de nadelige invloed van vocht consequenties mee. Zo is er een groot verschil tussen toepassing van rekstrookjes in het laboratorium of buiten. De eerste toepassing levert vrij weinig moeilijkheden op. Meestal kan men de te meten plaats goed bereiken, zodat het schoonmaken van het oppervlak en het plakken van het rekstrookje met de nodige zorg kan geschieden. Ook het drogen geeft geen moeilijkheden. Daar de omgeving niet zeer vochtig is, kan voor het afdichten van de rekstrookjes volstaan worden met het aanbrengen van enkele lagen micro-kristallijne was. Bij de metingen aan het stalen model van plaatbruggen zijn met op deze wijze afgedekte rekstrookjes meer dan een jaar metingen verricht, zonder dat achteruitgang in de kwaliteit van de metingen geconstateerd werd. Ook bij andere metingen op stalen constructies, die in het laboratorium uitgevoerd zijn, waren deze gunstige omstandigheden aanwezig.

Genoemd kunnen worden:

Metingen aan een stalen model van een paddestoelvloerconstructie.

Fig. 13. Schema drukdoos

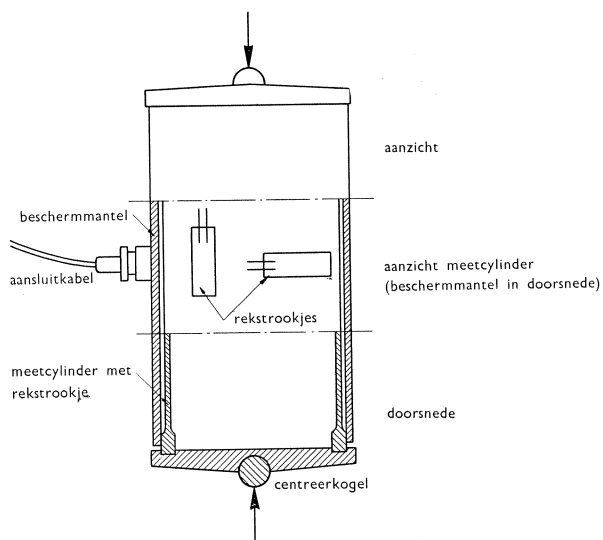
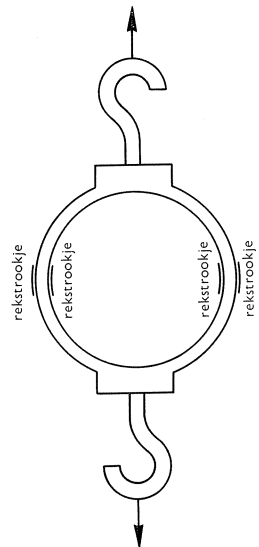


Fig. 14. Schema trekkrachtmeter



Metingen aan een stalen model van een schaaldak. Daar de belasting aangebracht wordt door middel van een op het schaaldak geplaatste luchtkist, waren rekstrookjes hier, althans voor de bovenzijde, de enig mogelijke rek-meters.

Metingen aan een gebogen I-lig-ger, om de invloed van dwarsverstij-vingen na te gaan. In figuur 16 is te zien, dat de rekstrookjes vlak naast elkaar zijn geplakt. Daar hier kleine rekstrookjes werden toegepast, waar- bij bovendien nog een gedeelte van het papieren dragertje afgeknipt was, konden

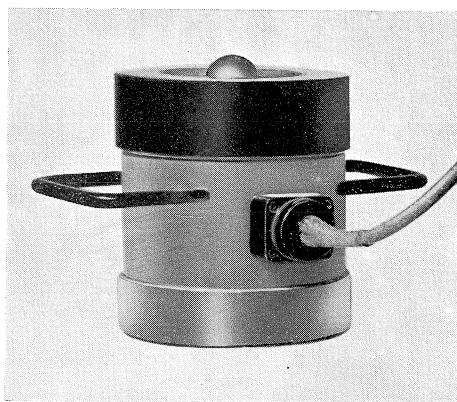


Fig. 15. Drukdoos

de rekken bepaald worden in meetplaatsen, die slechts 20 mm uit elkaar lagen.

Metingen aan een knoopplaat, waarbij voor verschillende dwarskrachten de spanningsverdeling wordt nagegaan.

Metingen aan proefstaven ter bepaling van de waarde van E en ν .

Ook metingen aan staalconstructies, die in een gesloten ruimte opgesteld zijn, kunnen meestal zonder veel bijzondere voorzorgen worden uitgevoerd.

Genoemd kan bijvoorbeeld worden een meting aan de hoofdliggers van een loopkraan in een elektrische centrale. Vooral hier waren rekstrookjes de aangewezen meetinstrumenten, daar ze aangebracht konden worden, terwijl de hoofdliggers nog op de grond lagen. Tijdens de proefbelasting, waarbij de loopkat over de hoofdliggers reed, werden de omschakelkast en het meetaparaat op de kraanbaan geplaatst, zodat zonder hinder of gevaar de metingen verricht konden worden.

Wanneer echter metingen aan buiten opgestelde staalconstructies verricht moeten worden, zijn de moeilijkheden dadelijk veel groter. De meetplaatsen zijn dan soms moeilijk bereikbaar. Ook het drogen levert nogal eens moeilijkheden op, daar droogstralers niet altijd kunnen worden opgesteld. Men kan echter drogen door het rekstrookje zelf als warmte-element te gebruiken en er een stroom van 20 tot 40 mA door te sturen.

Het moeilijkste probleem is echter het vocht dicht afdekken van de rekstrookjes. Weliswaar zijn rubberkapjes ontwikkeld, die een vochtdichte afsluiting geven, maar niet altijd is er ruimte genoeg om deze kapjes aan te brengen.

Van veel invloed is in deze gevallen ook de duur van de meting. Is deze zeer kort (b.v. enkele uren) dan is een afdichting met was in sommige gevallen nog wel voldoende. Voor metingen van langere duur is afdichten met was echter niet voldoende.

VIII. Rekstrookjes op betonconstructies

Tenslotte nog enkele opmerkingen over metingen met rekstrookjes aan con-

structies van gewapend beton. Allereerst moet hier onderscheid gemaakt worden tussen metingen op de wapening en metingen op het betonoppervlak. Wanneer voor metingen aan de wapening op de meetplaatsen het beton wordt weggelaten of weggehakt geldt hiervoor, wat beschreven is voor metingen aan staalconstructies in de buitenlucht. Wil men echter meten aan wapeningsstaven, die geheel door beton omgeven worden dan moet men de beschikking hebben over uitmuntende afdichtmiddelen, daar hier de verse, dus natte, beton vlak tegen het rekstrookje komt. Naar de beste wijze van afdichten wordt door de Werkgroep momenteel een onderzoek ingesteld.

Metingen op het betonoppervlak leveren weer geheel andere problemen op.

In de eerste plaats kan hier niet volstaan worden met de normale rekstrookjes, omdat hiervan de meetlengte te kort is om bij het inhomogene beton betrouwbare meetresultaten te verkrijgen. Mede op aandringen van de Werkgroep zijn thans rekstrookjes in de handel met een meetlengte van ± 8 cm.

Het weren van vocht en het verkrijgen van een goede aanhechting van het rekstrookje aan het beton is echter nog een zaak van nauwgezet onderzoek, zodat hierover eerst over enige tijd mededelingen verstrekt kunnen worden.

Samenvattend kan worden gezegd, dat door de opkomst van rekstrookjes veel nieuwe mogelijkheden voor het verrichten van metingen zijn ontstaan en dat na het overwinnen van de moeilijkheden van het vocht dicht afsluiten een uitgebreid gebied van toepassingen — ook in het inwendige van een betonconstructie — zal zijn ontsloten.

Fig. 16. Meting met rekstrookjes aan een gebogen I-ligger

