

# HET METEN VAN TEMPERATUREN IN CONSTRUCTIES VAN GEWAPEND BETON

*In dit artikel worden allereerst verscheidene gevallen vermeld, waarin het gewenst kan zijn de temperaturen in betonconstructies te meten. Hierna wordt op het optreden van temperatuurspanningen ingegaan. Daarna worden van de hiervoor beschikbare meetapparatuur de thermokoppels en de N.T.C.-weerstand besproken.*

In het algemeen ontstaan de spanningen in een constructie doordat op de constructie bepaalde belastingen werken, b.v. eigen gewicht, nuttige belasting, remkrachten. Het komt echter ook vrij vaak voor, dat de optredende spanningen veroorzaakt worden door temperatuursveranderingen. Als voorbeelden hiervan kunnen genoemd worden:

Constructies ten behoeve van verwarming of energievoorziening (ketelbemantelingen, rookgaskanalen, schoorstenen) alsmede de constructies in de naaste omgeving hiervan, zoals de funderingen van ovens, ketelhuizen en stoomturbines.

Constructies voor industriële productie, b.v. gistingtanks en reservoirs.

Leidinginstallaties voor koelwater of afvoer van warme gassen of dampen.

Massieve betonconstructies waarbij de door de binding ontstane warmte niet voldoende snel afgevoerd kan worden.

Ook komt het voor, dat het wenselijk is om in een betonconstructie temperaturen te meten, zonder dat spanningsmetingen verricht worden. In het algemeen betreft dit een controle van de temperatuur in verband met de verharding van het beton. Zo zal het gewenst zijn om na te gaan hoe het verloop is van de temperaturen op de verschillende plaatsen in beton, dat bij lage buitentemperatuur of bij vorst gestort wordt; van belang hierbij is de isolatie van de toegepaste bekisting, welke eveneens gemeten kan worden. Ook waar het verharden van het beton versneld wordt door dit in een warme omgeving te laten geschieden (z.g. stoomverharding) is het gewenst om door metingen na te gaan hoe op verschillende afstanden vanaf het oppervlak de temperatuur met de tijd toeneemt. Bij de onderzoeken op het gebied van de brandwerendheid van voorgespannen betonbalken worden eveneens de temperaturen in een vrij groot aantal punten gemeten.

Tenslotte is het gewenst om temperaturen te meten bij onderzoeken, die zich over over langere tijd uitstrekken. Dit kan b.v. veroorzaakt worden door de lange tijd die nodig is voor het aanbrengen van de proefbelasting of door-

dat een bepaalde nuttige belasting slechts langzaam toeneemt of afwisselend toe- en afneemt. In deze gevallen kunnen vaak storingen in de metingen optreden, die een gevolg zijn van temperatuursveranderingen. Om in een dergelijk geval de temperatuursinvloeden te kunnen elimineren moet men in de meetplaatsen behalve de vervormingen ook de temperaturen meten. Meet men nu een bepaalde vervorming, dan kan men uit de eveneens gemeten temperatuursverandering bepalen welk deel van de gemeten vervorming veroorzaakt is door deze temperatuursvariatie. Als de constructie vrij kan uitzetten en inkrimpen dan correspondeert dit deel van de gemeten vervorming dus niet met een spanningsverandering en is het resterende deel van de gemeten vervorming rechtstreeks een maat voor de optredende spanning ten gevolge van de aangebrachte belasting.

Meestal zal de constructie echter niet geheel, maar slechts gedeeltelijk vrij kunnen vervormen bij temperatuursveranderingen. In dit geval kan men uit de gemeten temperatuursveranderingen bepalen welk deel van de gemeten vervorming een spanningsvrije temperatuursvervorming is, terwijl dan het resterende deel van de gemeten vervorming de spanning aangeeft. Deze spanning is nu zowel een gevolg van de aangebrachte belasting als van de temperatuursverandering voor zover deze niet met spanningsvrije temperatuursvervorming correspondeert.

Voor al waar de spanningen ten gevolge van de nuttige belasting klein zijn, is het wenselijk om op deze wijze de spanningsvrije vervorming ten gevolge van de temperatuursverandering te bepalen.

Aan de buitenzijde van een constructie kan men de temperatuur meten met een kwikthermometer, waarvan het kwikreservoir in een daartoe uitgespaarde opening wordt aangebracht. Het gevaar voor beschadiging is uiteraard groot.

Voor het meten van de temperaturen in het inwendige is men in het algemeen aangewezen op elektrische meetapparatuur. Men heeft dan tevens de mogelijkheid van centrale aflezing.

Van deze elektrische apparatuur worden hier beschreven:

Thermokoppels,

N.T.C.-weerstand.

## **Thermokoppels**

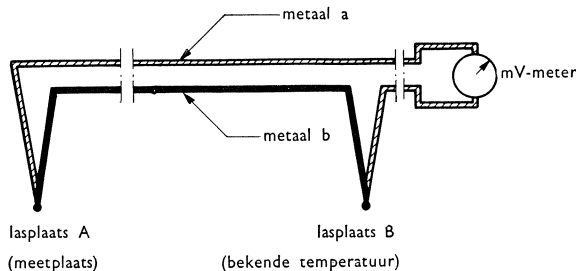
Het principe van het meten van temperaturen met thermokoppels berust op het feit, dat wanneer twee metalen tegen elkaar worden gehouden — gesoldeerd of gelast — (zie fig. 1a) er ter plaatse van het contactvlak een potentiaalverschil ontstaat. Dit potentiaalverschil is een functie van de plaats, die de beide metalen innemen in de elektrische spanningsreeks en van de temperatuur van de lasplaats. Wordt de keten gesloten, door ook de beide andere uiteinden tegen elkaar te lassen (zie fig. 1b) dan ontstaat ook daar een poten-

tiaal verschil. Heerst dus bij A en B in fig. 2 dezelfde temperatuur, dan zullen de potentiaalverschillen gelijk en tegengesteld zijn, zodat geen elektrische stroom ontstaat. Is de temperatuur bij A anders dan bij B dan zal wel een elektrische stroom ontstaan. Het geheel werkt nu als een element.

Om met behulp van een dergelijk thermo-element de temperatuur op een bepaalde plaats te meten, wordt op deze plaats één van de beide lussen (b.v. A) aangebracht. De andere las (B) wordt gehouden in een omgeving waarvan de temperatuur bekend is. De thermospanning die ten gevolge van het temperatuurverschil tussen A en B optreedt, kan op verschillende wijzen gemeten worden.

Bij de uitvoering voor metingen in de praktijk, worden de beide metaaldraden over een lengte van ongeveer 15 cm in een isothermvlak gelegd, om te voorkomen dat door de warmtegeleiding van de draden, die in het algemeen afwijkt van de warmtegeleiding van het beton, de temperatuur in de lasplaats enigszins zou afwijken van de gezochte temperatuur ter plaatse. Fig. 2 geeft schematisch de opstelling voor een meting in de praktijk weer.

Is de temperatuur bij B niet bekend dan vindt men met deze methode alleen het verschil tussen de temperaturen bij A en B. Het kan zijn, dat dit voldoende is, doch men moet er dan wel rekening mee houden, dat de meting minder nauwkeurig is, omdat het verband tussen de ontwikkelde thermospanning en het temperatuurverschil in het algemeen niet geheel lineair is. Bij sommige meetopstellingen is een automatische regeling ingebouwd voor het compenseren van de invloed van temperatuurveranderingen bij B.



Door de juiste keuze van beide metaaldraden kunnen met deze methode temperaturen in een breed gebied gemeten worden <sup>1)</sup>.

Fig. 2. Schema van thermo-element.

<sup>1)</sup> Voor nadere gegevens over deze meetmethode zij verwezen naar: Ir A. C. Verhoeven, „Technische Temperatuurmetingen”. Diligentia, Amsterdam.

## N.T.C.-weerstand

Dit zijn weerstanden die bestaan uit geperste gesinterde metaaloxiden met een grote Negatieve Temperatuurs Coëfficiënt, d.w.z. de weerstand neemt sterk af bij toenemende temperatuur. Deze eigenschap maakt de N.T.C.-weerstand zeer geschikt om op eenvoudige wijze temperaturen te meten. Fig. 3 geeft enkele typen N.T.C.-weerstand weer.

Daar deze meetelementen in het beton ingestort worden is het noodzakelijk voor een vochtdichte afsluiting te zorgen. Deze kan op de volgende wijze verkregen worden: De aansluitdraden worden aan de N.T.C.-weerstand gesoldeerd. Om het meetelement wordt nu een stukje isolatiekous geschoven, dat aan de onderzijde met een rubber stopje is afgesloten. De ruimte tussen de N.T.C.-weerstand en de omhullende isolatiekous wordt opgevuld met een isolerende stof, b.v. was of giethars. Daar dit geheel gemakkelijk beschadigd kan worden, wordt voor mechanische bescherming om de isolatiekous nog een messing buisje geschoven. Fig. 4 geeft een overzicht van de verschillende stadia bij het gereedmaken van een meetelement. Het meetelement kan nu

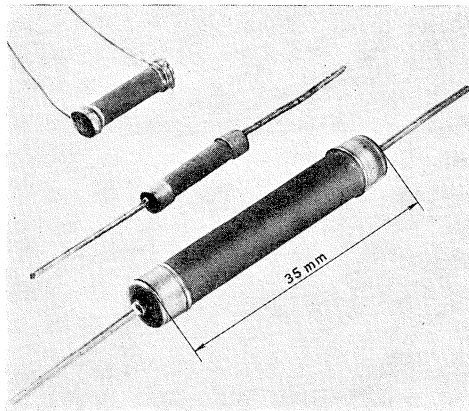
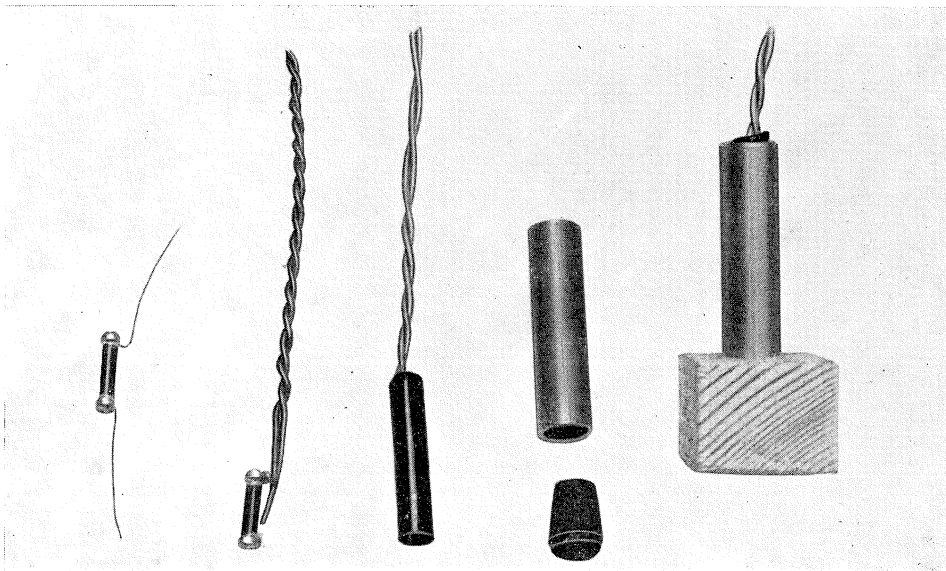


Fig. 3. Enkele N.T.C.-weerstand.

Fig. 4. Stadia bij het gereedmaken van een meetelement.



met vlechtdraad aan een wapeningsstaaf gebonden worden, teneinde de temperatuur ter plaatse te meten. Daar bij een bepaalde temperatuursverandering de weerstandsverandering van de N.T.C.-weerstand vrij groot is (orde van grootte 4% van de momentane grootte per °C) kan het meten op eenvoudige wijze geschieden.

Fig. 5 toont een meetapparaat voor 24 meetpunten, dat bij het Instituut gebruikt wordt. Dit meetapparaat is uitgevoerd als een brug van Wheatstone. Er moet voor gezorgd worden, dat de voedingsstroom zwak is, omdat anders de N.T.C.-weerstand door de stroom te veel verwarmd wordt en men daardoor een te hoge waarde voor de temperatuur zou vinden. Daar de weerstand van de N.T.C.-weerstand vrij groot is, is de invloed van temperatuursveranderingen in de aansluitkabels te verwaarlozen.

Het nadeel van het gebruik van N.T.C.-weerstand voor temperatuursmetingen is, dat elke N.T.C.-weerstand vooraf geijkt moet worden. Daar de meetelementen toch vocht dicht moeten zijn in verband met het inbetonneren, kan het ijken op eenvoudige wijze geschieden door de klaargemaakte meetelementjes in een bak met heet water te leggen. De temperatuur van het water, dat voortdurend geroerd wordt, wordt met een thermometer bepaald, en de bijbehorende weerstanden worden op het meetapparaat afgelezen. Het water laat men afkoelen en bij verschillende temperaturen worden de waarden afgelezen. Op deze wijze kan men vrij eenvoudig de ijkgrafieken bepalen tot temperaturen van 70 à 100 °C. Wil men ijkwaarden voor lage temperaturen verkrijgen, dan kan men dit bereiken door stukjes ijs in het water te werpen. Beneden 0 °C kan men ijken door gebruik te maken van een koudmakend mengsel. Fig. 6 geeft een voorbeeld van een aldus verkregen ijkgrafiek. Uit deze ijkgrafiek blijkt, dat de weerstand vrij sterk verandert

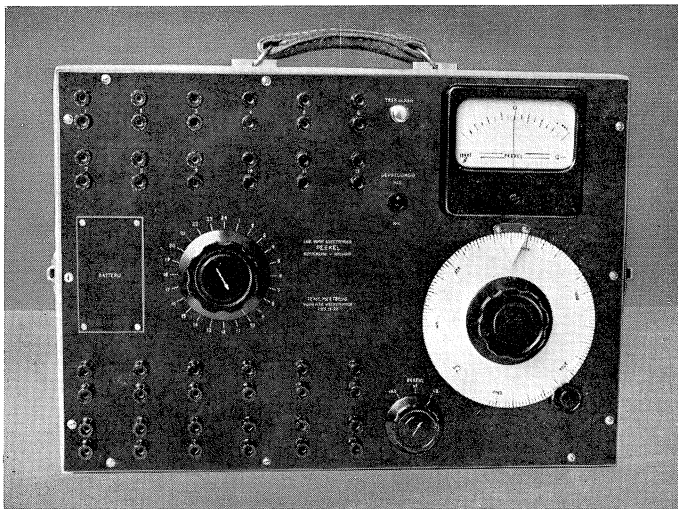


Fig. 5. Meetkast voor N.T.C.-weerstand.

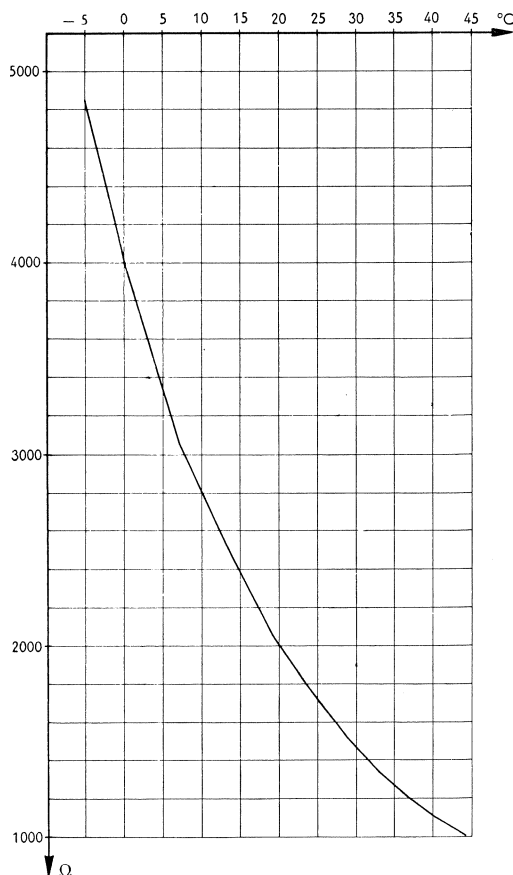


Fig. 6. Voorbeeld van een ijkgrafiek.

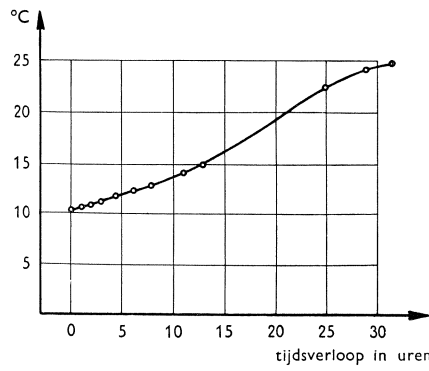


Fig. 7. Temperatuurverloop in een betonconstructie.

(in dit geval van 1000 Ω bij 44 °C tot 4850 Ω bij -5 °C). Het voordeel van deze grote weerstandsveranderingen is, dat kleine storingen ten gevolge van sporen vocht e.d. de meting slechts zeer weinig beïnvloeden. De nauwkeurigheid van op deze wijze verrichte temperatuursmetingen in betonconstructies bedraagt ongeveer 1 °C. Fig. 7 toont de gemeten temperatuurstoename in een betonconstructie over een periode

van 30 uur. Bij de tot nu toe verrichte metingen met N.T.C.-weerstandsen kon een goede nauwkeurigheid worden bereikt.

Samenvattend kan worden gezegd, dat het meten van temperaturen volgens de hier beschreven methoden een ruim veld van toepassingsmogelijkheden heeft voor constructies van gewapend beton. De eenvoud van deze metingen is vooral gelegen in het feit dat in een bepaald punt een scalaire grootte gemeten wordt, zodat hierbij geen bepaalde meetlengte vereist is.

SUMMARY

In this article first several cases are mentioned in which it is desirable to measure temperatures in concrete constructions. The occurring of stresses due to temperature changes is also considered.

From the available measuring instruments thermo electric couples and thermistors (thermally sensitive resistors) are dealt with.