

IR. J. KUIPERS

DE VEILIGHEID VAN CONSTRUCTIES,
ONDERWORPEN AAN COMBINATIES VAN
VERSCHILLENDE BELASTINGENU.D.C. 624.046.5;
624.01.

In een eerder artikel ¹⁾ is gepoogd de belangrijkste factoren die de veiligheid van een constructie beïnvloeden te definiëren en deze op de juiste plaats in een statistische berekening in te voeren. Thans volgt een nadere uitwerking van de vroeger afgeleide formule voor de statistische index, waarbij speciale aandacht is besteed aan de toelaatbare combinaties van spanningen die door verschillende belastingscomponenten worden veroorzaakt. Het aldus verkregen volledige overzicht van die combinaties kan basis zijn voor het verminderen van het aantal uitzonderingsbepalingen in bestaande c.q. te herziene voorschriften.

0 Inleiding

Bij het bepalen van een veilige marge tussen de sterkte van een constructie en de daarin opgewekte krachten en spanningen, wordt in de laatste tijd steeds meer gebruik gemaakt van statistische beschouwingen. Hoewel daarop gebaseerde berekeningen wegens het ontbreken van voldoende gegevens voorlopig in kwantitatieve zin slechts benaderend kunnen zijn, dragen zij bij tot een beter begrip van het vraagstuk van de veiligheid.

In een vorig artikel ¹⁾ is voorgesteld om de zgn. „statistische index” te hanteren als maat voor de veiligheid. De waarde van deze statistische index kan worden bepaald wanneer de gemiddelde waarde en de standaardafwijking van de sterkte van de constructie en van de daarop werkende belastingen bekend zijn.

Met behulp van de bestaande relatie tussen deze grootheden is nagegaan welke de waarde van deze statistische index voor verschillende materialen zou kunnen zijn bij de thans gebruikelijke toelaatbare spanningen.

De veronderstelling dat de verschillende op een constructie werkende belastingen niet dezelfde variaties vertonen leidde daarbij tot formules waarin deze belastingscomponenten en de daardoor veroorzaakte krachten en span-

¹⁾ KUIPERS, J., Enkele beschouwingen over de veiligheid in constructies. IBC-mededelingen 8 (1960), no. 1.

ningen afzonderlijk voorkomen. Op deze wijze kan aan de spanningen veroorzaakt door de vrij nauwkeurig in grootte bekend zijnde rustende belasting een ander gewicht worden toegekend dan aan die, veroorzaakt door de veranderlijke belasting.

In het volgende wordt nagegaan tot welke toelaatbare combinaties van spanningen de gevolgde methode leidt, waarbij ook aandacht wordt besteed aan de gevallen waarbij de verschillende belastingen spanningen van tegengesteld teken opwekken.

Daarbij is er naar gestreefd de verschillende grootheden op de juiste plaats in een berekening in te voeren, zodat een logisch geheel kon worden verkregen. Gelijke invloeden behoren dan ook gelijk behandeld te worden, terwijl verschil moet worden gemaakt in wat verschillend is of werkt. Onlogisch is het b.v. de grootte van een belasting op een constructie te laten afhangen van het toegepaste constructiemateriaal (TGB 1955: matige en hoge windbelasting); wel kan het effect van deze zelfde belastingen op de verschillende materialen verschillend zijn.

Het blijkt dat de gevolgde methode voldoet aan de gestelde wens en daarbij leidt tot een overzichtelijk beeld van toelaatbare belastingen en spanningen.

1 Begrippen, definities, notaties

Alvorens enkele in het bovengenoemde artikel gebruikte notaties te herhalen wordt verwezen naar de daarbij gegeven definities van verschillende begrippen. Op een enkel punt wordt nog nader ingegaan.

Met de term „belasting” wordt bedoeld de krachtswerking in een constructie-deel, zoals die door uitwendige krachten op de constructie ontstaat. De „sterkte” is de grootste waarde van deze krachtswerking die nog juist zonder bezwaar kan worden opgenomen.

Het is de taak van de constructeur om op grond van de optredende „belasting” een geëigende „sterkte” aan de constructie te geven. Daartoe dienen deze grootheden in dezelfde eenheden te zijn uitgedrukt. Veelal zijn dit spanningen, daarnaast kunnen echter ook optredende momenten, krachten of vervormingen worden vergeleken met de uiterste waarden daarvan, die voor de sterkte gelden. De in het vervolg gegeven getallenvoorbeelden hebben betrekking op spanningen, ten aanzien waarvan in voorschriften de meeste bepalingen voorkomen.

Voor de uitwendige krachten op een constructie dienen de maximaal gedurende de levensduur te verwachten waarden in rekening te worden gebracht. De werkelijk optredende maxima zijn voor alle constructies van hetzelfde type niet gelijk, doch zullen een zekere variatie vertonen. Het gemiddelde van al deze maxima is de in rekening te brengen verwachting; de variatie wordt uitgedrukt in de standaardafwijking. Evenzo is de sterkte geen constante grootte; ook daarvoor geldt een frequentieverdeling met een gemiddelde waarde

en een standaardafwijking. Ter bepaling van de mate van veiligheid moet worden gerekend met deze variabele grootheden.

Wegens hun verschillend karakter zijn permanente en veranderlijke belastingen gescheiden in de berekeningen; in het vervolg worden deze belastingen resp. „rustende” en „veranderlijke” genoemd.

De volgende notaties worden gebruikt:

\bar{G} = gemiddelde rustende belasting

\bar{P} = gemiddelde veranderlijke belasting

$\bar{Q} = \bar{G} + \bar{P}$ = gemiddelde totale belasting

\bar{S} = gemiddelde sterkte

s_g = standaardafwijking van G

s_p = standaardafwijking van P

$s_q = \sqrt{s_g^2 + s_p^2}$ = standaardafwijking van Q

$v_g = \frac{s_g}{\bar{G}}$ = variatiecoëfficiënt van G

$v_p = \frac{s_p}{\bar{P}}$ = variatiecoëfficiënt van P

$v_s = \frac{s_s}{\bar{S}}$ = variatiecoëfficiënt van S

$f_{st} = \frac{\bar{S} - \bar{Q}}{\sqrt{s_s^2 + s_q^2}}$ = statistische index

2 Het verband tussen de verschillende grootheden

In het eerder aangehaalde artikel is afgeleid dat de kans op overschrijding van de sterkte S samenhangt met de waarde van de statistische index f_{st} waarvoor geldt:

$$f_{st} = \frac{\bar{S} - \bar{Q}}{s_{s-q}} = \frac{\bar{S} - \bar{Q}}{\sqrt{s_s^2 + s_q^2}} \dots \dots \dots (1)$$

Wordt hierin de totale belasting \bar{Q} vervangen door de belastingscomponenten \bar{G} en \bar{P} , dan gaat (1) over in:

$$f_{st} = \frac{\bar{S} - \bar{G} - \bar{P}}{\sqrt{v_s^2 \bar{S}^2 + v_g^2 \bar{G}^2 + v_p^2 \bar{P}^2}} \dots \dots \dots (1a)$$

zodat:

$$(\bar{S} - \bar{G} - \bar{P})^2 = f_{st}^2 (v_s^2 \bar{S}^2 + v_g^2 \bar{G}^2 + v_p^2 \bar{P}^2) \dots \dots \dots (2)$$

Met behulp van deze formule kan worden nagegaan welke combinaties van \bar{G} en \bar{P} in bepaalde gevallen toelaatbaar zijn. In een grafiek met coördinaatassen \bar{G} en \bar{P} leveren deze toelaatbare combinaties bij bepaalde, vaste, waarden van de andere grootheden een hyperbool zoals in fig. 1 is aangegeven.

Van deze hyperbool heeft alleen de binnenste, naar de oorsprong gekeerde, tak betekenis voor ons. Punten op deze kromme gelegen stellen combinaties van \bar{G} en \bar{P} voor, waarbij de kans op overschrijding van \bar{S} juist zo klein is als overeenkomt met de aanvaarde waarde van f_{st} .

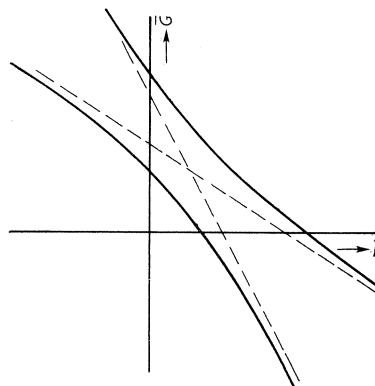


Fig. 1. Hyperbool volgens formule (2).

Punten op de andere tak gelegen stellen daarentegen combinaties van \bar{G} en \bar{P} voor waarbij de kans dat de sterkte niet wordt overschreden juist even klein is; deze laatste \bar{G} - en \bar{P} -waarden zullen de constructie dus met grote waarschijnlijkheid doen bezwijken.

In overeenstemming met het gebruik spanningen e.d. van een teken te voorzien wordt ook aan de sterkte \bar{S} een teken toegekend. Zo wordt in het vervolg een treksterkte positief en een druksterkte negatief genoemd. Voor een materiaal met even grote positieve en negatieve sterkte kunnen nu op dezelfde wijze als in fig. 1 twee hyperbolen worden getekend, behorende bij $+\bar{S}$ resp. $-\bar{S}$. De twee naar elkaar toegekeerde takken van deze hyperbolen omsluiten nu het gebied waarbinnen de toelaatbare combinaties van \bar{G} en \bar{P} vallen. Daar de veranderlijke belasting P niet altijd aanwezig is, moet gerekend worden op de aanwezigheid van G alleen, hetgeen leidt tot het horizontaal afsnuiten van het gebied tussen de hyperbolen, zoals aangegeven in fig. 2. Punt A in fig. 2, buiten deze afsnuitlijnen gelegen, levert bij wegvallen van \bar{P} immers een waarde \bar{G} , die, nu gecombineerd met $\bar{P} = 0$, ontoelaatbaar is.

Er blijft dan het in fig. 2 dubbel gearceerde gebied over waarbinnen de toelaatbare combinaties van \bar{G} en \bar{P} zijn gelegen. Door de veronderstelling dat de waarden van $+\bar{S}$ en $-\bar{S}$ even groot zijn is dit een symmetrische figuur.

In bepaalde gevallen, zoals b.v. bij knikstaven, is de (negatieve) druksterkte echter kleiner dan de (positieve) treksterkte. Ook bij deze kleinere waarden van $-\bar{S}$ behoren hyperbolen; in fig. 3 is aangegeven hoe het oorspronkelijke totale gebied van toelaatbare combinaties van \bar{G} en \bar{P} tussen de grenslijnen $+\bar{S}$ en $-\bar{S}$ wordt verkleind, wanneer de negatieve sterkte achtereenvolgens $-0,8\bar{S}$, $-0,6\bar{S}$ enz. bedraagt.

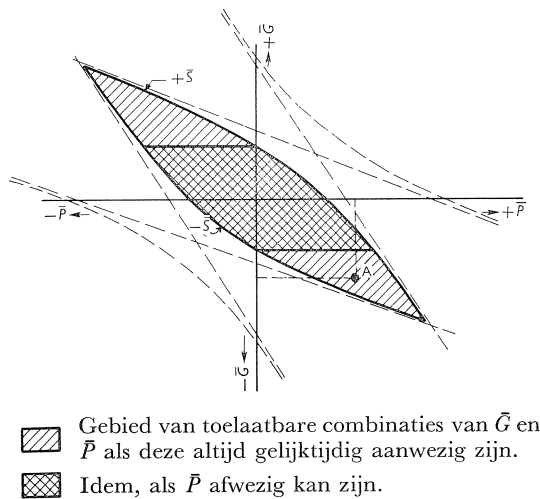


Fig. 2. Hyperbolen behorende bij $+\bar{S}$ en $-\bar{S}$.

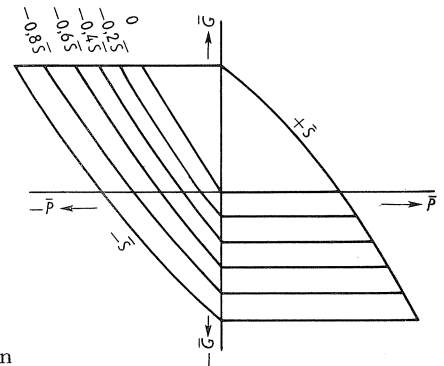


Fig. 3. Grenslijnen behorende bij verschillende waarden van de negatieve sterkte.

3 Enkele karakteristieke eigenschappen van de krommen uit fig. 3

Alvorens de krommen van fig. 3 voor bepaalde waarden van de verschillende grootheden nader uit te werken, worden enkele algemene eigenschappen daarvan vermeld die een inzicht kunnen geven in de invloed van bepaalde grootheden. Daarbij wordt, voor zover dit nodig is, aan de „statistische index” de waarde 2,5 resp. 3 gegeven; blijkens het in het voorgaande aangehaalde artikel kunnen deze waarden als representatief voor verschillende materialen worden beschouwd.

a. De snijpunten met de assen

De snijpunten van de hyperbool, behorende bij een sterkte \bar{S} , met de \bar{P} -as volgen uit

$$\bar{P} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - (1 - f_{st}^2 v_s^2)(1 - f_{st}^2 v_p^2)}}{1 - f_{st}^2 v_p^2} \bar{S}$$

Hiervan is de kleinste waarde van belang.

Het snijpunt met de \bar{G} -as wordt gevonden door in de formule v_p te vervangen door v_g .

In fig. 4 zijn deze snijpunten met de assen voor verschillende gevallen aangegeven en eenvoudigheidshalve verbonden door rechten. Daar in alle gevallen $v_p > v_g$ is gekozen wordt steeds op de horizontale as een kleiner stuk afgesneden dan op de verticale as. Bij de waarde van $f_{st} = 3$, die op een grotere veiligheid duidt dan de waarde van $f_{st} = 2,5$, zijn de snijpunten met de assen dichter naar de oorsprong toe gelegen.

De aandacht wordt gevestigd op de afnemende helling van de lijnen bij toenemende waarden van v_s ; bij de grootst gekozen waarde voor v_s verlopen deze rechten onder een helling van bijna 45° , als \bar{G} en \bar{P} op gelijke schaal langs de assen zijn uitgezet.

Praktisch betekent dit dat er bij materialen met een kleine spreiding in de sterkte reden is om verschil te maken tussen de spanningen en andere krachtweringen, veroorzaakt door de rustende belasting G en die, veroorzaakt door de veranderlijke belasting P , indien mag worden verondersteld dat v_p verschilt van v_g . Bij materialen met een grote spreiding is er voor een dergelijk onderscheid nauwelijks reden. Dat er bij bepaalde materialen andere redenen kunnen zijn voor het maken van soortgelijke verschillen komt later aan de orde.

b. De druksterkte $-\bar{S} = 0$

In het voorgaande is onderscheid gemaakt tussen positieve (b.v. trek-)sterkte en negatieve (b.v. druk-)sterkte. Meestal zal een constructiedeel zowel een positieve als een negatieve sterkte bezitten, die echter numeriek niet aan elkaar gelijk behoeven te zijn. Denkt men b.v. aan een vakwerkstaaf waarin door de

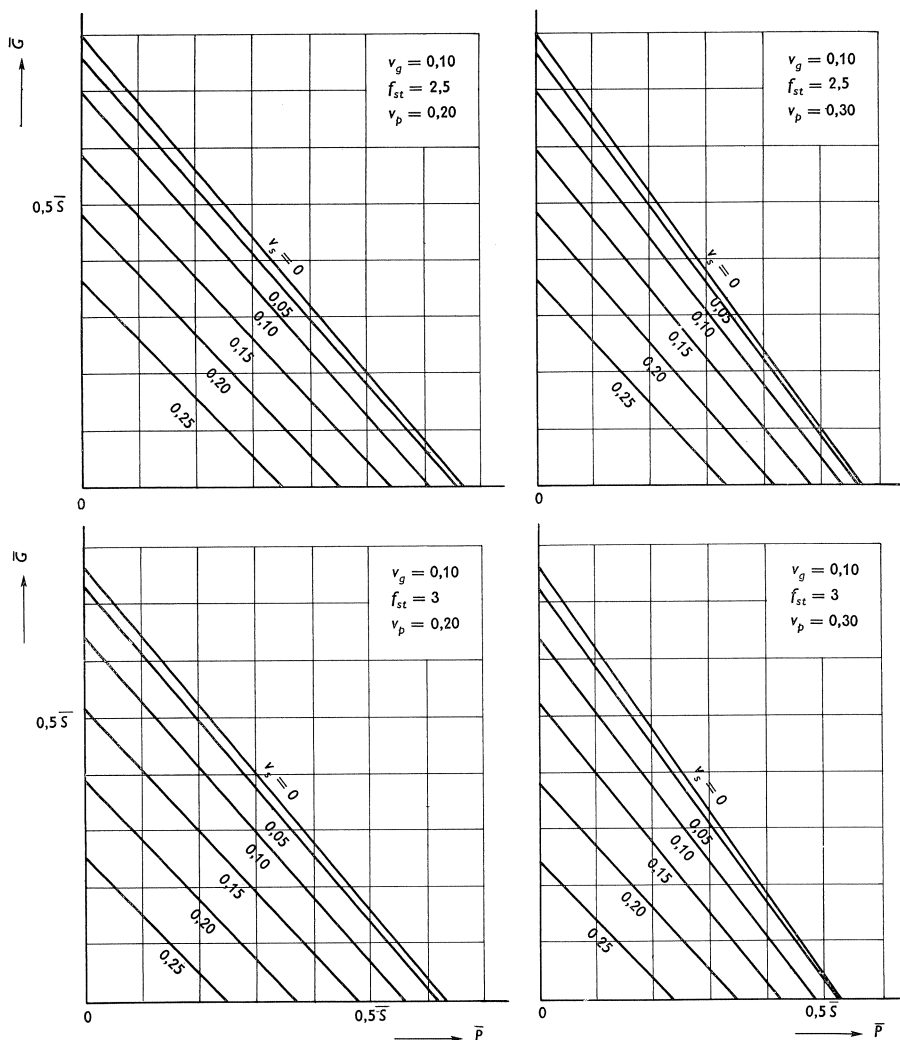
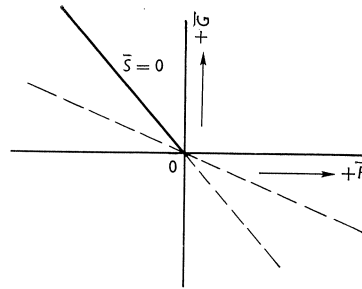


Fig. 4. De snijpunten van de hyperbool met de assen $+\bar{G}$ en $+\bar{P}$ bij verschillende waarden van de variabelen. Eenvoudigheidshalve zijn de snijpunten door rechten met elkaar verbonden.

rustende belasting een trekkracht wordt opgewekt, dan is voor het opnemen daarvan een zekere treksterkte $+\bar{S}$ vereist. Indien in deze zelfde staaf door een veranderlijke belasting een drukkracht wordt opgewekt, dan rijst de vraag hoe groot deze drukkracht mag zijn voordat ook een druksterkte wordt vereist. In de gevolgde gedachtengang markeert een lijn voor $\bar{S} = 0$ de combinatie van \bar{G} en \bar{P} waarbij nog juist niet op druk gerekend behoeft te worden.

Voor deze waarde $\bar{S} = 0$ ontardt de hyperbool in twee rechte lijnen door de oorsprong (zie fig. 5). Interessant is daarvan alleen het getrokken gedeelte; het andere deel valt weg door het samenvallen van de afsnuitlijn met de \bar{P} -as.

Fig. 5. Rechte door O voor $\bar{S} = 0$. Gedeelte onder de \bar{P} -as valt weg door afsnuitlijn, die hier samenvalt met de \bar{P} -as.



De vergelijking van deze lijn luidt:

$$\bar{G} = \frac{-1 - \sqrt{1 - (1 - f_{st}^2 v_g^2)(1 - f_{st}^2 v_p^2)}}{1 - f_{st}^2 v_g^2} \bar{P}$$

Voor verschillende waarden van v_p is deze lijn uitgezet in fig. 6. In beide getekende grafieken is $v_g = 0,10$; voor f_{st} zijn weer twee waarden gekozen nl. $f_{st} = 2,5$ en $f_{st} = 3$. In beide gevallen is de helling van de lijnen steeds groter dan 45° (ook als $v_g = v_p = 0,10$). De oorzaak hiervan is gelegen in het mee in de beschouwingen betrekken van de variatie in de belastingen; de grootte van de variatiecoëfficiënten v_g en v_p bepaalt de helling van deze rechten. Deze helling is dus onafhankelijk van het toegepaste constructiemateriaal.

Samenvattend blijkt uit het voorgaande dat op grond van de formule voor de statistische index toelaatbare combinaties van \bar{G} en \bar{P} uitgezet kunnen worden in een grafiek met \bar{G} en \bar{P} als coördinaatassen. Deze toelaatbare combinaties liggen binnen het gebied dat omsloten wordt door twee hyperbolen en door een tweetal horizontale rechten (fig. 2). De zo gevormde figuur zal in het vervolg kortweg „spanningshuisje” worden genoemd.

De helling van de hyperbolen in de figuur wordt groter naar mate de variatiecoëfficiënt v_p groter is dan v_g . Dit effect wordt echter minder duidelijk bij toenemende v_s en hangt dus af van het beschouwde constructiemateriaal.

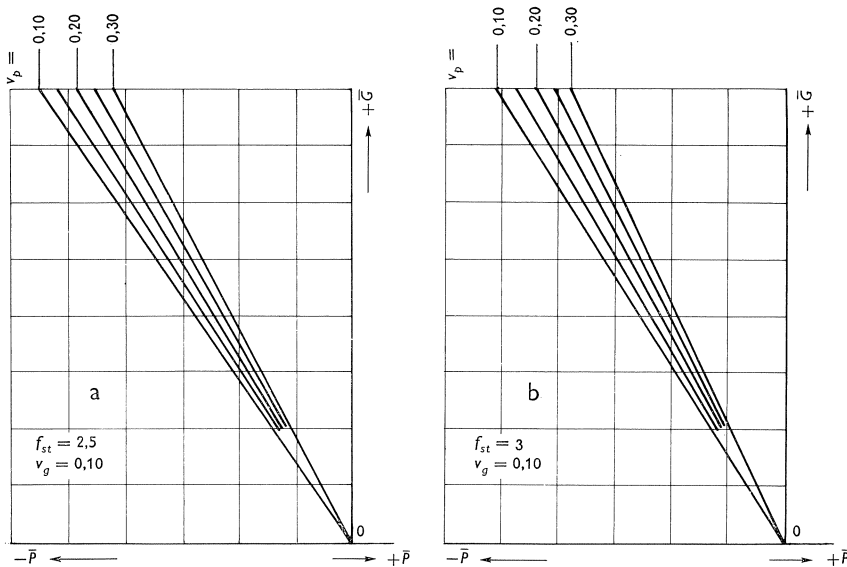


Fig. 6. De rechte voor $\bar{S} = 0$, bij verschillende waarden van de variabelen f_{st} en v_p ; $v_g = 0,10$.

Voor waarden van \bar{G} en \bar{P} met tegengesteld teken wordt in het kwadrant $(+\bar{G}; -\bar{P})$, het gebied waarin nog juist geen negatieve sterkte wordt vereist, begrensd door een rechte, waarvan de helling uitsluitend wordt bepaald door de waarden van v_g en v_p , ongeacht het toegepaste constructiemateriaal.

4 Kwantitatieve uitwerking van enkele voorbeelden

Bij elke poging met behulp van de ontwikkelde theorie ook in kwantitatieve zin toelaatbare spanningen e.d. te berekenen, stuit men op het gebrek aan voldoende gegevens. Het is een van de voordelen van de statistische beschouwingswijze dat men wordt herinnerd aan deze onwetendheid, die dus zeker niet als wapen tegen de theorie gebruikt kan worden.

De in dit hoofdstuk gegeven voorbeelden van „spanningshuisjes” hebben tot doel enkele invloeden nog eens duidelijk te laten spreken en voorts om een vergelijking met enkele andere spanningshuisjes mogelijk te maken. Om deze laatste reden zijn enige waarden van de in formule (2) voorkomende groot-heden zo gekozen dat de daaruit resulterende waarden van \bar{G} en \bar{P} aansluiten bij toelaatbaar geachte spanningen voor staal.¹⁾

In fig. 7 en 8 zijn de spanningshuisjes getekend voor de in onderstaande tabel vermelde gevallen.

materiaal	\bar{S}	v_s	v_g	v_p	fig.
A	2500	0,10	0,10	0,20	7a
				0,30	7b
B	4000	0,20	0,10	0,20	8a
				0,30	8b

Overall is $f_{st} = 3$ aangehouden; het geval A is bedoeld voor staal; geval B geldt voor een denkbeeldig materiaal met grotere variatie in de sterkte. Voor de variatie in de veranderlijke belasting zijn telkens twee waarden gekozen.

Uit de spanningshuisjes blijkt dat de toelaatbare spanningen voor de materialen A en B ongeveer dezelfde zijn; wegens de twee keer zo grote variatie in de sterkte van materiaal B moet de gemiddelde waarde \bar{S} daarvan 1,6 keer zo groot worden om dit te bereiken. Deze grotere waarde van v_s heeft voorts tot gevolg dat de verhouding van de waarden op de assen verandert, zoals reeds eerder werd vermeld. De waarde op de horizontale as hangt sterk af van de waarde v_p , zoals verwacht kan worden.

¹⁾ Bij de commissie tot herziening van de TGB 1955 is een voorstel in beraad dat tot overeenkomstige toelaatbare spanningen leidt. In het concept van de VOSB 1963 is de toelaatbare spanning voor staal Qm(c) 37 op 1600 kgf/cm² gesteld voor trek en buiging; voor druk blijft 1400 kgf/cm² toelaatbaar.

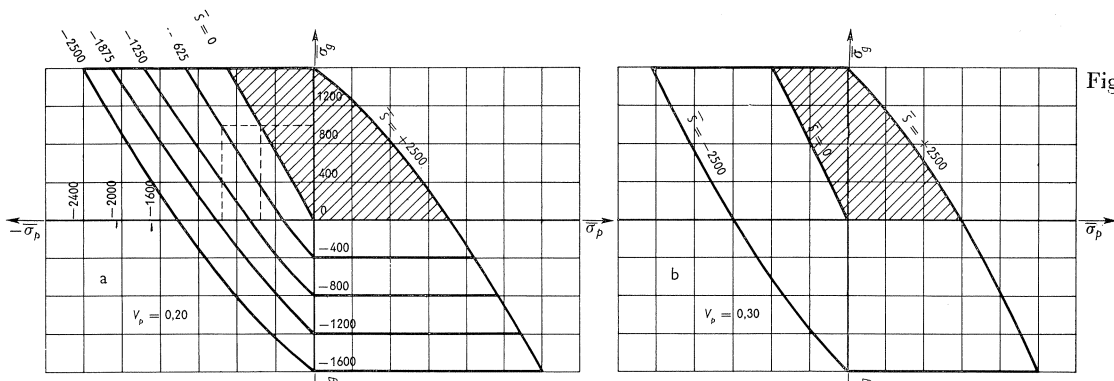


Fig. 7.

spanningshuisje voor materiaal A
 $(\bar{S} = 2500 \text{ kgf/cm}^2 \cdot v_p = 0,10); f_{st} = 3$

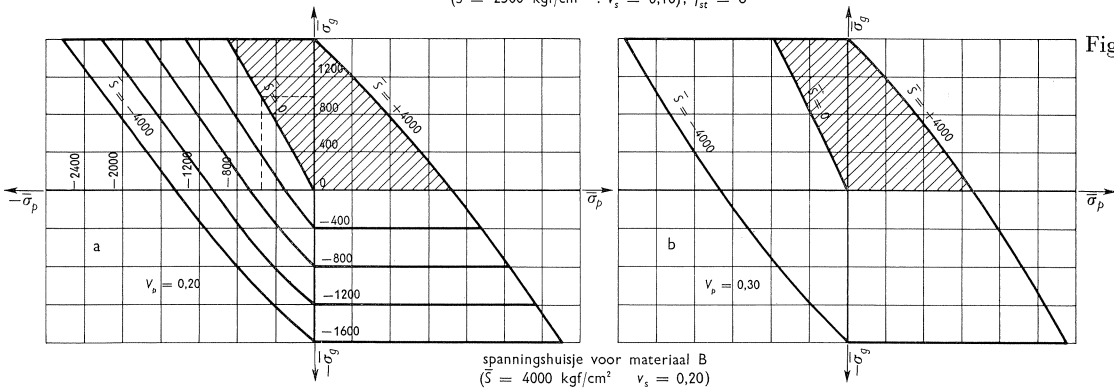


Fig. 8.

spanningshuisje voor materiaal B
 $(\bar{S} = 4000 \text{ kgf/cm}^2 \cdot v_s = 0,20)$

In alle vier gevallen is aangegeven de lijn voor $\bar{S} = 0$; de praktische betekenis van die lijn is reeds eerder toegelicht. Voor het geval dat $v_p = 0,20$ blijkt uit fig. 7a en 8a dat een staaf waarin door de rustende belasting een trekspanning $\sigma_g = +1000 \text{ kgf/cm}^2$ wordt opgewekt nog juist geen druksterkte hoeft te krijgen als de veranderlijke belasting een drukspanning kleiner dan $\sigma_p = 560 \text{ kgf/cm}^2$ veroorzaakt.

In fig. 7a en 8a zijn nog enkele lijnen ingetekend voor negatieve waarden van \bar{S} . Uit fig. 7a volgt dat bij een combinatie van $\sigma_g = +1000 \text{ kgf/cm}^2$; $\sigma_p = -960 \text{ kgf/cm}^2$ een gemiddelde druksterkte $\bar{S} = -625 \text{ kgf/cm}^2$ nodig is.

Ter vergelijking worden thans eerst de spanningshuisjes beschreven die volgen uit het toenmalige concept van de VOSB 1963 en uit de TGB 1955.

5 Het spanningshuisje volgend uit het concept-VOSB 1963

In het concept van de redactiecommissie voor de VOSB 1963 komt een artikel voor, dat in verband met het voorgaande van belang is, namelijk:

Art. 30. *Berekening met verminderd eigen gewicht. Stabiliteit. Berekeningsmethode voor tegengestelde krachten.*

1. Bij onderzoek naar de mogelijkheid van kantelen van de brug moet met slechts $\frac{2}{3}$ van het eigen gewicht van de brug (ankerblokken inbegrepen) worden gerekend. Indien de windbelasting op voertuigen het kantelen van de brug bevordert, maar het gewicht van de voertuigen de stabiliteit verhoogt (in de regel is dit het geval), dan moet rekening worden gehouden met één rij voertuigen in de ongunstigste stand, wegende 1000 kgf/m' (10 kN/m') voor spoorwegbruggen en 400 kgf/m' (4 kN/m') voor bruggen voor gewoon verkeer.

Noot: Het eerste deel van dit artikel dient mede om alle invloeden, zoals lift, vermindering van het eigen gewicht enz. in rekening te brengen.

2. Indien door het eigen gewicht van de brug in een onderdeel een kracht of moment $P_{e.g.}$ ontstaat, tegengesteld aan de kracht of moment $P_{m.l.}$, veroorzaakt door de mobiele of horizontale belasting en tevens voor de absolute waarden geldt dat

$|\frac{2}{3}P_{e.g.}| < |P_{m.l.}| < |\frac{3}{2}P_{e.g.}|$, dan moet het onderdeel naast de belastingscombinatie genoemd in artikel 26 worden berekend op een kracht of moment gelijk aan $\frac{1}{3}P_{m.l.}$. In alle andere gevallen moet het onderdeel normaal worden berekend volgens artikel 26.

In de uitvoerige toelichting bij dit artikel wordt betoogd dat het aanwezige eigen gewicht van de brug, in het bijzonder dat van aan slijtage onderhevige rijdekken, kleiner kan zijn dan het in rekening gebrachte. Als belangrijker argument voor het op de aangegeven wijze rekenen wordt aangevoerd dat een geringe verhoging van de veranderlijke belasting op de brug de krachten in sommige onderdelen b.v. de in het voorgaande ook reeds vermelde vakwerkstaven, van teken kan doen omkeren.

In het concept wordt voor staal Qm(c) 37 de toelaatbare trek- en buigspanning op $\bar{\sigma} = 1600$ kgf/cm² gesteld, terwijl de toelaatbare drukspanning 1400 kgf/cm² bedraagt. Samen met de bepalingen van het hier aangehaalde artikel 30 leidt dit tot een spanningshuisje als is aangegeven in fig. 9. In het kwadrant (+G; +P) geldt $\sigma_g + \sigma_p \leq 1600$; dit is een lijn onder 45°, die op beide assen een stuk van 1600 kgf/cm² afsnijdt. In het kwadrant (-G; -P) geldt evenzo $\sigma_g + \sigma_p \leq -\bar{\sigma}$, waarbij $\bar{\sigma}$, afhankelijk van de slankheid van de staaf b.v., verschillende waarden kan aannemen. De daarbij behorende grenslijnen verlopen allemaal weer onder 45°. Vervolgen we b.v. de lijn $\bar{\sigma} = 200$ kgf/cm² naar het kwadrant (+G; -P), dan blijft deze onder 45° lopen tot

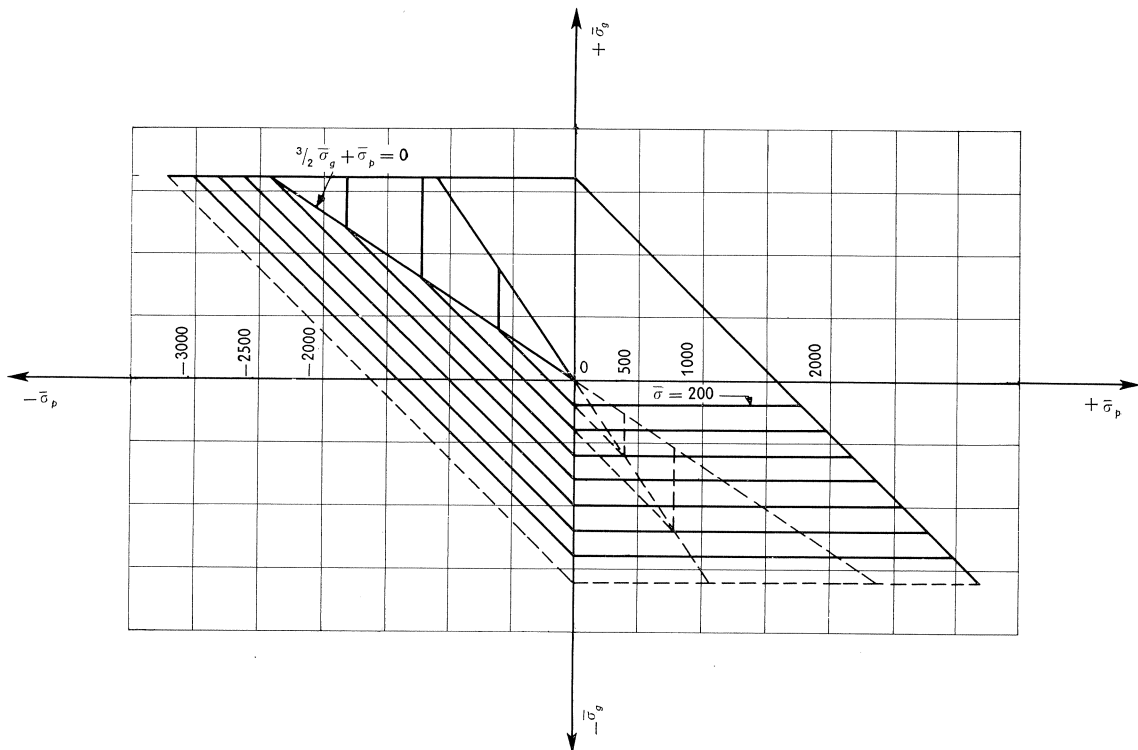


Fig. 9. Spanningshuisje op grond van concept VOSB 1963 (toelaatbare trek- en buigspanning 1600 kgf/cm², toelaatbare drukspanning 1400 kgf/cm²).

aan een lijn waarvan de vergelijking luidt $\frac{2}{3}\sigma_g + \sigma_p = 0$ ($-P_{m.l.} = \frac{2}{3}P_{e.g.}$ volgens art. 30). Daarna geldt $\bar{\sigma}_p = 3 \cdot (-200) = -600$ kgf/cm²; dit is een verticale lijn. Deze lijn geldt tot aan het snijpunt met de rechte $\frac{2}{3}\sigma_g + \sigma_p = 0$ ($\frac{2}{3}P_{e.g.} = -P_{m.l.}$ volgens art. 30) welke lijn verder de grenslijn is tussen het gebied waarin nog juist geen druksterkte wordt geëist en het gebied waarin dit wel het geval is.

In het kwadrant $(-G; +P)$ ontstaan op overeenkomstige wijze als in fig. 3, horizontale grenslijnen, waardoor de in art. 30 gestelde bepalingen die tot gebroken lijnen zouden leiden, niet maatgevend zijn.

Het aldus op grond van de bepalingen in de VOSB ontstane spanningshuisje ziet er gecompliceerd uit, en geeft aanleiding tot discontinuïteiten. Verder doet het vreemd aan dat in de aangehaalde toelichting een kans op overschrijding van de mobiele belasting als motief dient voor een vermindering van het in rekening te brengen eigen gewicht.

De grenslijn $\frac{2}{3}\sigma_g + \sigma_p = 0$ blijkt ongeveer dezelfde helling te hebben als die voor $\bar{\sigma} = 0$ in fig. 7a; deze laatste loopt nog iets steiler.

Tenslotte wordt opgemerkt dat in dit voorschrift geen verschillend gewicht wordt toegekend aan de rustende en de niet-dynamische veranderlijke belasting, zodat de grenslijnen in principe onder 45° in de grafiek verlopen.

6 De TGB 1955

Ook in de TGB 1955 komen enkele artikelen voor die in verband met het voorgaande van belang zijn. Zo luidt:

Art. 4.1 Indien het eigen gewicht een gunstige invloed op de optredende spanning in enig bouwdeel uitoefent, kan als eis worden gesteld dat slechts een gedeelte er van, dat in de regel op 90% kan worden aangenomen, in rekening wordt gebracht.

Art. 4.2 Indien het eigen gewicht van een constructie of een deel daarvan een gunstige invloed op de stabiliteit uitoefent, moet bij het berekenen van de veiligheid tegen kantelen 90% van dit eigen gewicht (eventuele ankerblokken inbegrepen) in rekening worden gebracht.

Uit de toelichting bij art. 4.1 blijkt dat men vooral denkt aan een „veiligheids-halve” aan de hoge kant geschat eigen gewicht van bepaalde constructiedelen, die in de dragende constructies op sommige plaatsen een gunstige invloed uitoefenen. Als voorbeeld wordt vermeld een op een vloer of liggeroverstek rustende muur, die in het aangrenzende veld ontlastende momenten veroorzaakt.

Art. 4.1 schrijft de reductie niet voor alle gevallen dwingend voor. In het spanningshuisje van fig. 10 is deze 90% lijn gestippeld aangegeven; de normale grenslijnen lopen onder 45° daar in de TGB 1955 in het algemeen geen onderscheid wordt gemaakt tussen de rustende en de veranderlijke belasting.

In dit verband vraagt wel het hoofdstuk over de windbelasting aandacht. Daarin worden twee „soorten” windbelasting onderscheiden, nl. de matige en de hoge windbelasting. Bij hout- en steenconstructies (ook betonconstructies?) moet met de hoge windbelasting worden gerekend. Bij staalconstructies is bij de berekening op hoge windbelasting een verhoging van de toelaatbare spanningen toegestaan. Daarnaast moet worden gerekend met de matige windbelasting, voor welk belastingsgeval de gewone toelaatbare spanningen gelden. Globaal geldt dat de matige windbelasting W' 60% bedraagt van de hoge windbelasting W (zie toelichting TGB).

Alle constructies moeten op hoge windbelasting worden berekend. Het spanningshuisje voor hout en steenconstructies is aangegeven in fig. 10, waarbij niets bijzonders valt op te merken. Voor staal mag echter de toelaatbare spanning worden verhoogd, zodat geldt (art. 20 TGB)

$$\begin{aligned}\sigma_g + \sigma_w &\leq 1,15 \bar{\sigma} \\ &\leq 1610 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

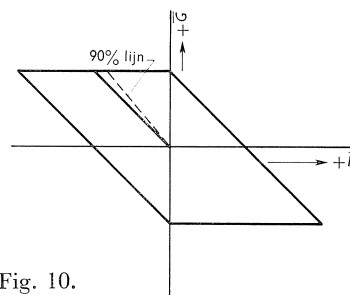


Fig. 10.

Daarnaast moet voor de matige windbelasting worden aangetoond dat

$$\sigma_g + \sigma_w' \leq \bar{\sigma} \text{ of wel}$$

$$\sigma_g + 0,6\sigma_w \leq 1400 \text{ kgf/cm}^2$$

In fig. 11 is het spanningshuisje aangegeven dat bij deze twee gestelde eisen behoort.

Voor de hoge windbelasting wordt het normale spanningshuisje, dat op de assen stukken van 1400 kgf/cm² afsnijdt, vergroot tot het 1,15-voudige (stukken van 1610 kgf/cm² op de assen). De berekening op matige windbelasting (gaande door het punt 1400 kgf/cm² op de σ_g -as en 1400/0,6 kgf/cm² op de σ_w -as) neemt een deel van de spanningsverhoging bij hoge wind terug.

Uit dit voorschrift blijkt weer dat men, door veranderingen in de grootte van bepaalde belastingen aan te brengen, zekere spanningsverhogingen of verlagingen kan bereiken; deze verkapte werkwijze verduidelijkt echter de problemen niet.

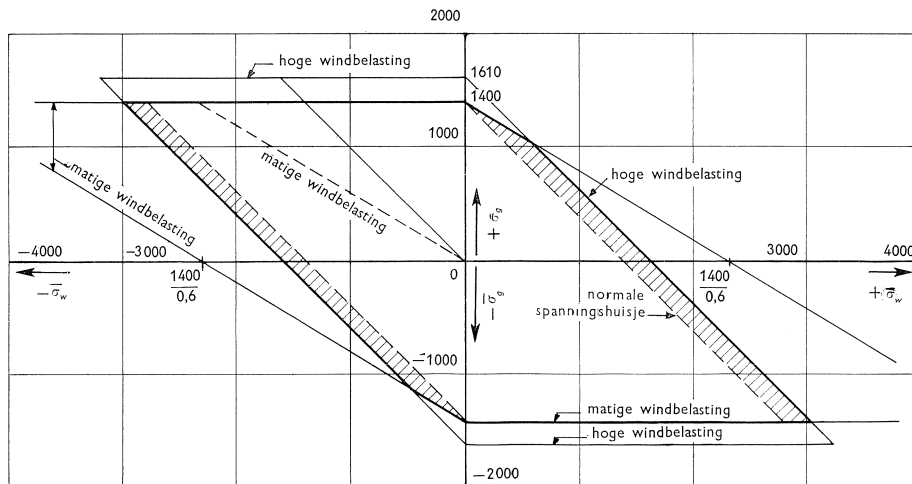


Fig. 11. Spanningshuisje voor staal volgens TGB 1955.

7 Materialen met tijdeffecten

In het vroeger aangehaalde artikel in de IBC-mededelingen is enige aandacht besteed aan het feit dat niet altijd sterkte en belasting onafhankelijk van elkaar bestaande grootheden zijn, doch dat daartussen soms een bepaalde wisselwerking kan bestaan. Vermeld is b.v. dat bij hout en bij beton lang durende belastingen gevaarlijker kunnen zijn dan kort durende. Om deze reden zijn de belastingen indertijd vermenigvuldigd met zgn. tijdfactoren; de tijdfactor t_g voor de rustende belasting is daarbij dus groter dan de tijdfactor t_p voor de veranderlijke belasting.

Een iets gewijzigde redenering, die tot dezelfde resultaten leidt, maar beter aanspreekt is de volgende.

Uit proeven is gebleken, dat een constante belasting, lager dan de zgn. korte-duur-sterkte S_0 , na verloop van tijd tot breuk kan leiden; blijkbaar is de aanwezige belasting op een zeker tijdstip gelijk aan de dan aanwezige sterkte. De sterkte S_0 is dus op een tijdstip t afgenomen tot S_t . De over dit onderwerp bekende gegevens zijn slechts beperkt en hebben alle betrekking op belastingen die meer dan de helft van de korte-duur-sterkte bedragen. Of er ook bij de gebruikelijke toelaatbare spanningen nog sprake is van een dergelijke sterkte-afname wordt door sommige auteurs betwijfeld. Veiligheidshalve wordt hiermede evenals in verschillende buitenlandse voorschriften wel rekening gehouden, en wordt verondersteld, dat elke belasting een afneming van de sterkte veroorzaakt, zodanig dat bij een belasting G een tijdfactor t_g' en bij een veranderlijke belasting P en tijdfactor t_p' behoort, terwijl voor de sterkte op een tijdstip t geldt

$$S_t = S_0 - t_g' G - t_p' P$$

Deze sterkte S_t moet, ook op het tijdstip t dus voldoende veiligheid bieden, zodat daarvoor moet gelden de formule (1a)

$$f_{st} = \frac{\bar{S}_t - \bar{G} - \bar{P}}{\sqrt{s_{st}^2 + s_g^2 + s_p^2}},$$

of na uitwerking

$$\begin{aligned} [\bar{S}_0 - (t_g' + 1)\bar{G} - (t_p' + 1)\bar{P}]^2 &= \\ &= f_{st}^2 [v_{s_0}^2 S_0^2 + (t_g' + 1)^2 v_g^2 \bar{G}^2 + (t_p' + 1)^2 v_p^2 \bar{P}^2] \end{aligned}$$

Deze formule is dezelfde als die, welke in de IBC mededelingen is gebruikt wanneer $t_g' + 1 = t_g$ en $t_p' + 1 = t_p$ wordt gesteld en luidt dan

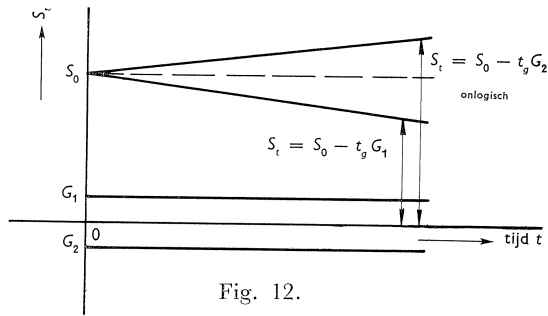
$$[\bar{S}_0 - t_g \bar{G} - t_p \bar{P}]^2 = f_{st}^2 [v_{s_0}^2 S_0^2 + t_g^2 v_g^2 \bar{G}^2 + t_p^2 v_p^2 \bar{P}^2].$$

In deze formule nemen $t_g \bar{G}$ en $t_p \bar{P}$ dezelfde plaats in als \bar{G} en \bar{P} in formule (2). Bij bepaalde waarden van t_g en t_p kunnen dan ook op dezelfde wijze spanningshuisjes worden berekend als vroeger; indien men langs de assen uitzet $t_g \bar{G}$ en $t_p \bar{P}$ dan ontstaan identieke figuren. Wil men langs de assen \bar{G} en \bar{P} zelf uitzetten, dan worden de grafieken in twee onderling loodrechte richtingen a.h.w. verkort.

De gehouden redenering gaat echter niet geheel op en behoeft enige aanvulling. De veronderstelling $S_t = S_0 - t_g' \bar{G} - t_p' \bar{P}$ zou namelijk bij tegengesteld teken van \bar{S}_0 en \bar{G} een sterktevermeerdering in houden. Nu lijkt het onlogisch dat b.v. de druksterkte van een staaf zou toenemen doordat er gedurende een zekere tijd aan getrokken wordt (zie fig. 12).

Dit leidt tot de aanvulling dat sterktevermindering alléén wordt veroorzaakt

door belastingen van hetzelfde teken als de sterkte.¹⁾ Bij het bovengenoemde verkorten of inkrimpen van het spanningshuisje in de asrichtingen moet daarmee dus rekening gehouden worden; dit verkorten dient slechts te geschieden voor zover de totale belasting hetzelfde teken heeft



als de sterkte. In de kwadranten $(+G; +P)$ en $(-G; -P)$ levert dit geen moeilijkheden op: in de G -richting worden de waarden $1/t_g$ maal zo groot en in de P -richting $1/t_p$ maal (zie fig. 13). In de kwadranten waar G en P van teken verschillen kan G als een voorspanning worden beschouwd die door P moet worden overschreden vóórdát de sterkte S wordt verminderd. De rechte door O , geldend voor $S = 0$ geeft aan de waarden van P die, met de door f_{st}

1) Het is denkbaar dat verbindingen door dergelijke wisselingen in de richting van de belasting ongunstig worden beïnvloed.

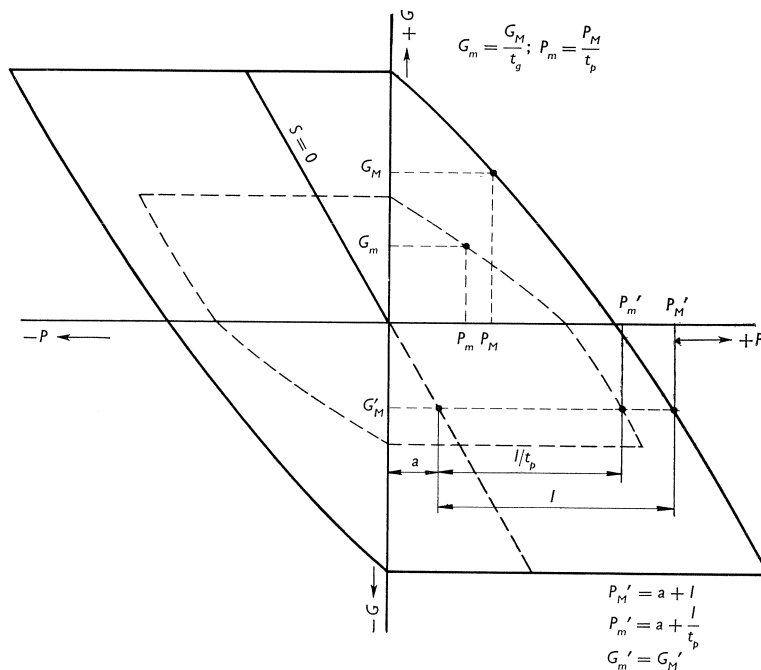


Fig. 13. Vervorming van een spanningshuisje door invoering van tijdfactoren t_g en t_p
 ————— spanningshuisje niet-tijdgevoelig materiaal
 - - - - - spanningshuisje tijdgevoelig materiaal.

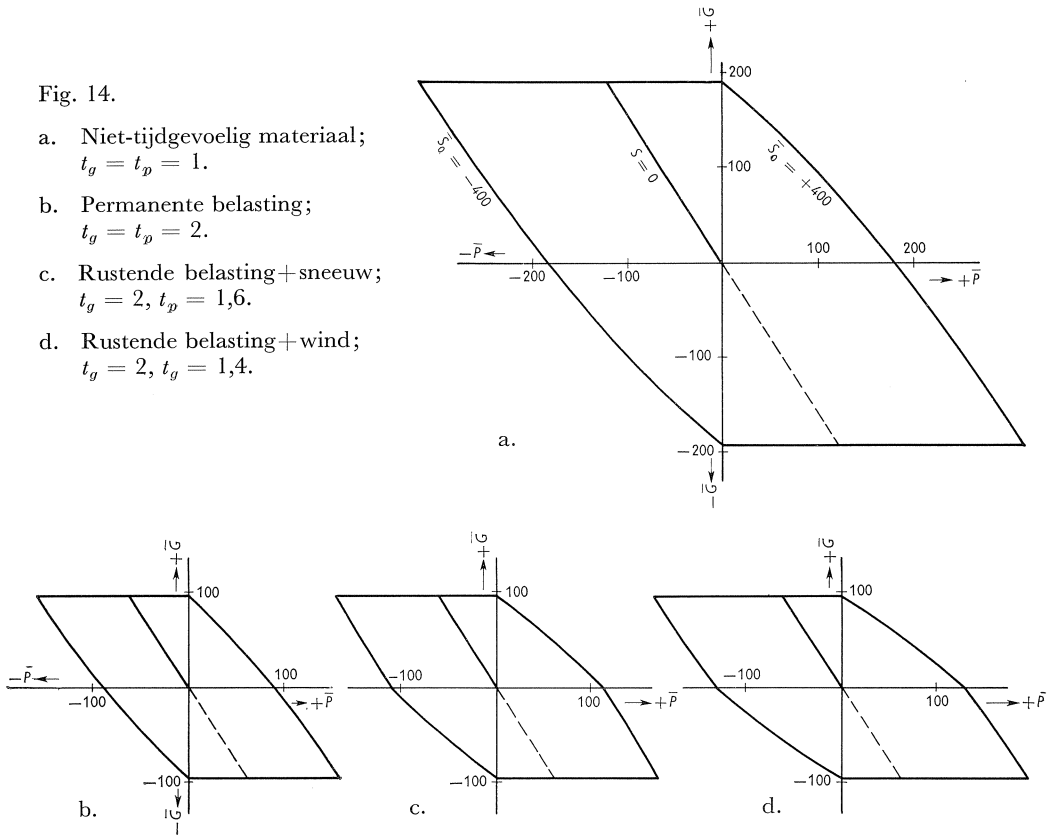
vastgelegde kans, de waarden van de voorspanning ten gevolge van G teniet doen. De inkrimping of verkorting van de figuur begint dus pas vanaf deze lijn, waarmee het verkorte spanningshuisje is vastgelegd.

In fig. 14 zijn deze spanningshuisjes getekend voor onderstaande gevallen, waarbij $f_{st} = 2,5$ is genomen (vergelijk ook IBC-mededelingen tabel II en fig. 11).

\bar{S}_0 (kgf/cm ²)	v_s	t_g	t_p	opmerkingen
400	0,2	1	1	materiaal zonder tijdeffecten
		2	2	materiaal met tijdeffecten, zoals hout; tijdfactor voor permanente belastingen $t_g = t_p = 2$ gekozen
		2	1,6	als boven; tijdfactor voor (permanente) rustende be- lasting $t_g = 2$ onveranderd; tijdfactor voor de verander- lijke belasting, b.v. sneeuw $t_p = 1,6$ gesteld
		2	1,4	als boven, maar met tijdfactor voor de veranderlijke belasting, b.v. wind, $t_p = 1,4$ gesteld

Fig. 14.

- Niet-tijdgevoelig materiaal;
 $t_g = t_p = 1$.
- Permanente belasting;
 $t_g = t_p = 2$.
- Rustende belasting + sneeuw;
 $t_g = 2, t_p = 1,6$.
- Rustende belasting + wind;
 $t_g = 2, t_p = 1,4$.



Duidelijk blijkt de grote reductie van de toelaatbare spanningen als gevolg van de tijdfactor, terwijl verder de veranderde vorm van de figuren opvalt wanneer de tijdfactoren t_g en t_p niet aan elkaar gelijk zijn. Dit laatste heeft tot gevolg dat de verschillende grenslijnen in de kwadranten $(+\bar{G}; +\bar{P})$ en $(-\bar{G}; -\bar{P})$ een flauwere helling vertonen naarmate de veranderlijke belasting korter van duur is, d.w.z. naarmate t_p kleiner wordt. De knikken ter plaatse van de horizontale as ontstaan door de veronderstelling dat een belasting geen gunstige invloed kan hebben op de sterkte.

Voor tijdgevoelige materialen zoals hout zou het gewenst kunnen zijn dat er voor de wind onderscheid wordt gemaakt tussen een vrijwel permanente windbelasting en een hoogste te verwachten waarde daarvan. Dit is slechts het geval wanneer

$$t_w \cdot W < t_w' W',$$

waarin W de windbelasting is overeenkomstig de definitie, en W' een „permanente” windbelasting.

Indien $W = 70 \text{ kgf/m}^2$ en $t_w = 1,4$, terwijl $t_w' = 2$ wordt gesteld, zou invoering van de permanente windbelasting alleen betekenis hebben als daarvoor een waarde groter dan $1,4 \cdot 70/2 \approx 50 \text{ kgf/m}^2$ zou gelden. Een dergelijke stuw-drukwaarde die overeenkomt met een windsnelheid van 28 m/sec, d.i. windkracht 11 volgens de Beaufortschaal, kan echter zeker niet als permanent worden beschouwd. Invoering van zulk een permanente windbelasting lijkt dus weinig zin te hebben.

8 Conclusies

Uit het voorgaande blijkt dat door de invoering van de statistische index als grondslag voor de veiligheidsberekening van constructies op elegante wijze conclusies kunnen worden getrokken omtrent de toelaatbaarheid van bepaalde spanningscombinaties.

In de numerieke uitwerking van enige voorbeelden is aansluiting gezocht bij bestaande voorschriften. Daarbij zijn in sommige gevallen andere waarden ingevoerd dan in het eerder aangehaalde IBC-artikel, hetgeen vooral wordt veroorzaakt doordat thans op eenvoudiger wijze een vergelijking met en aanpassing aan het bestaande mogelijk is. In alle gevallen is verondersteld dat de spreiding v_p in de maximale veranderlijke belasting groter is dan die in de rustende belasting v_g .

Dit leidt er toe dat, bij niet-tijdgevoelige materialen, op de horizontale as van de spanningshuisjes steeds een kleiner stuk wordt afgesneden dan op de verticale as. Bij tijdgevoelige materialen kan dit beeld veranderen wegens de kortere duur van sommige veranderlijke belastingen. Beschouwing van het grensgeval $\bar{S} = 0$ maakt duidelijk, dat bij het dimensioneren van constructiedelen waarin zgn. omkeerkrachten kunnen optreden de nodige voorzichtigheid

moet worden betracht. In bestaande voorschriften wordt aan dit laatste op vrij onoverzichtelijke of op onvoldoende wijze aandacht besteed, hetgeen blijkt uit de daarvoor getekende spanningshuisjes.

De methode om door veranderingen in de grootte van de in rekening te brengen belastingen bepaalde verhogingen van de toelaatbare spanningen te bewerkstelligen draagt niet bij tot de overzichtelijkheid van een voorschrift. Deze overzichtelijkheid zal beter gediend zijn door er naar te streven de in rekening te brengen belastingen te kiezen in overeenstemming met de daarvoor in het meer aangehaalde artikel gegeven definities.

De spanningshuisjes die in het voorgaande zijn uitgewerkt vormen als zodanig een compleet voorschrift van toelaatbare spanningen voor een bepaald materiaal. Overzichtelijk en duidelijk kan daarin worden afgelezen welke spanningscombinaties wel en welke niet toelaatbaar zijn bij bepaalde waarden van de sterkte (positief en/of negatief).

Indien men in voorschriften niet dergelijke grafieken zou willen opnemen voor verschillende materialen, doch in artikelen het geheel van toelaatbare spanningen wenst te omschrijven zal men er al gauw toe komen de gevonden theoretische krommen door rechten te benaderen. Hiertegen is gezien de slechts globale kennis van de numerieke waarden van de verschillende variabelen geen bezwaar. Wel is het van belang zoveel mogelijk het algemene karakter van bepaalde invloeden ook in een algemeen gedeelte van zo'n voorschrift te laten uitkomen en zaken die aan de materiaaleigenschappen zijn gekoppeld onder te brengen in de daarbij behorende hoofdstukken.