

Mechanica

ir. F. Vink

Toepassingen in de bouw en waterbouw

Woord vooraf

De resultaten van wetenschappelijk onderzoek op het gebied van constructies worden zo ongeveer om de tien jaar toegankelijk gemaakt door herziening van de Technische Grondslagen voor de berekening van Bouwconstructies (TGB).

Mijn jarenlange ervaring, eerst als constructeur/architect, later ook als docent, heeft mij tot het inzicht gebracht dat:

- uitvoerige behandeling van de TGB in het onderwijs, van welk niveau dan ook, didactisch onverantwoord is. Het moet wel leuk blijven.
- de TGB voor het onderwijs veel te omvangrijk is geworden en niet meer in de leerplannen past.
- slechts een beperkt aantal afgestudeerden later met de TGB in aanraking komt. Zij kunnen zich autonoom of via applicatiecursussen verder bekwamen.
- voor een doeltreffend technisch-constructieve opleiding de ontwikkeling van het denkvermogen belangrijker is, dan een min of meer encyclopaedisch overzicht van de constructie-techniek.

De laatste uitspraak is van Ir .I.W. Nortier wiens leerstof aan de basis van dit boek heeft gestaan.

Waarom dan toch in deze druk een aantal wijzigingen die het gevolg zijn van de laatste herziening van de TGB ? Daarvoor zijn een aantal redenen:

- de TGB lanceert de "Unity Check". De belasting op de constructie, gedeeld door de weerstand die de constructie kan bieden, moet kleiner zijn dan 1. Dat is een andere benadering dan in de TGB 1972; zie hoofdstuk 11 van dit boek. Het begrip toelaatbare spanning is daarmee volledig weg. Voor alle materialen wordt nu op dezelfde manier gerekend.
- de sterktewaarden zijn, als gevolg van voortgaand onderzoek, nogal gewijzigd.
- een student mag geen begrippen en vaardigheden leren die later in strijd blijken te zijn met de dan geldende werkelijkheid.

Het mechanicadeel van dit boek is vanzelfsprekend onveranderd. In het constructieleer-deel wordt steeds getoetst of de berekende waarden aan de sterkte-en vervormingseisen voldoen.

De uitwerking van de vele opdrachten kan opnieuw worden getoetst, omdat ook het antwoordenboekje aangepast gaat worden.

De doelstelling was een boek dat op MBO/KOB-niveau kan worden gebruikt. Didactisch verantwoord, inhoudelijk juist, goed van omvang en door een andere uitgever leuk en goedkoper gepresenteerd. Ik meen dat die opzet is geslaagd, maar er kan over gediscussieerd worden.

Het boek is ook geschikt om HAVO/VWO-abituriënten, in bouw-en civieltechnisch opzicht, op MTS-niveau te brengen.

Inhoud

I DE BELANGRIJKSTE HISTORISCHE CONSTRUCTIEVORMEN

1	Architraafbouw	13
2	Boogbouw	17
3	Verdere ontwikkelingen	20

II STATICA EN STERKTELEER

	Symbolenlijst	24
--	----------------------	-----------

4	Kracht, spanning, massa, gewicht, soortelijk gewicht, wrijving	25
4.1	Kracht en beweging	25
4.1.1	Eigenschappen	28
4.1.2	Belasting	29
4.2	Opdrachten	29
4.3	Spanning	32
4.4	Massa en gewicht	33
4.5	Soortelijke massa	34
4.5.1	Vragen	34
4.6	Wrijving	34
4.6.1	Hellingen	35
4.7	Opdrachten	36
5	Momenten, momentenstelling	39
5.1	Momenten	39
5.1.1	Afspraken ten aanzien van momenten en koppels	41
5.2	Momentenstelling	41
5.3	Opdrachten	42
6	Evenwichtsvoorwaarden	47
6.1	Evenwichtsvoorwaarden	47
6.2	$\sum F_v = 0$	47
6.3	$\sum F_h = 0$	49
6.4	$\sum M = 0$	49
6.5	Opdrachten	50
7	Opleggingen	52
7.1	Oplegreacties	52
7.2	Soorten opleggingen	52
7.2.1	Roloplegging	52
7.2.2	Scharnierende oplegging	52
7.2.3	Inklemming	53

7.3	Berekenen van reacties	53
7.3.1	De grafische methode	53
7.3.2	De analytische methode	54
7.4	Opgaven	56
8	Dwarskracht en dwarskrachtenlijn	58
8.1	Dwarskrachten	58
8.2	Dwarskrachtenlijn	60
8.3	Opgaven	61
9	Buigend moment en momentenlijn	63
9.1	Inleiding	63
9.2	Buigend moment	64
9.3	Momentenlijn	65
9.4	Opgaven	67
10	Normaalkrachten	71
10.1	Normaalkrachten	71
10.2	Opgaven	71
11	Sterkte en spanningen	72
11.1	Inleiding	72
11.2	Drukspanning	74
11.3	Trekspanning	74
11.4	Schuifspanning	75
11.5	Opgaven	75
12	Elasticiteit	79
12.1	Lengteverandering	79
12.2	Elasticiteitsmodulus	80
12.3	Spanning-rekdiagrammen	82
12.4	Opgaven	82
13	Lineaire uitzetting	83
13.1	Lengteverandering	83
13.2	Lineaire-uitzettingscoëfficiënt	84
13.3	Het verband tussen lineaire-uitzettingscoëfficiënt en lengteverandering	84
13.4	Exponenten	85
13.5	Opgaven	86
14	Buigend moment, buigspanning	87
14.1	Buigspanning	87
14.2	Spanningen tengevolge van M	88
14.3	De homogene rechthoekige doorsnede	88
14.4	Opgaven	90
15	Weerstandsmoment	91
15.1	Weerstandsmoment	91
15.2	Opgaven	93
16	Traagheidsmoment	94
16.1	Traagheidsmoment	94
16.2	Opgaven	96
17	Dwarskracht en schuifspanning	97
17.1	Dwarskracht en dwarskrachtenlijn	97
17.2	Schuifspanningen tengevolge van de dwarskracht	97
17.3	Opgaven	102

18	Knik	103
18.1	Knikspanning	103
18.2	Slankheid	104
18.3	Opdrachten	105
19	Bouwfysica	107
19.1	Warmte	107
19.1.1	Warmtebalans	107
19.1.2	Warmteweerstand	108
19.1.3	Temperatuurverloop	109
19.2	Vocht	111
19.2.1	Soorten vocht	111
19.2.2	Luchtvochtigheid	111
19.2.3	Condensatie	112
19.2.4	Vermijden van condensatie	113
19.3	Geluidintensiteit en geluidsniveau	116
19.4	Toonhoogte	116
19.5	Lawaaibestrijding	116
19.5.1	Geluidsabsorptie	116
19.5.2	Geluidsisolatie	116
19.6	Licht	118
19.7	Opdrachten	119

III CONSTRUCTIELEER, THEORIE EN PRAKTIJK

20	Hout	123
20.1	Inleiding	124
20.2	Sterktewaarden	124
20.3	Spanningen	124
20.4	Krimpen en zwellen	125
20.4.1	Manieren van zagen	125
20.4.2	Krimpen	125
20.4.3	Zwellen	127
20.5	Elasticiteit en uitzetting	128
21	Steen	129
21.1	Algemeen	129
21.2	Sterktewaarden	129
21.2.1	Druksterkten en soortelijke massa	129
21.2.2	Trekspanning	131
21.2.3	Schuifsterkte	132
21.2.4	Buigspanning	132
21.2.5	Druksterkte in verband met knikgevaar	132
21.3	Elasticiteit	132
21.4	Uitzetting	132
21.5	Krimp	133
21.6	Mortels	134
21.7	Opdrachten	134
22	Staal	135
22.1	Spanningen / sterkte	135
22.2	Sterkte	135
22.2.1	Druksterkte	135
22.2.2	Treksterkte	135
22.2.3	Schuifsterkte	135
22.2.4	Buigsterkte	135
22.2.5	Ideële spanning	135
22.2.6	Kniksterkte	135

22.3	Elasticiteit	136
22.4	Uitzetting	136
22.5	Soortelijke massa	137
22.6	Construeren in staal	137
23	Gewapend beton	138
23.1	Materialen	138
23.1.1	Gewapend beton = beton + staal	138
23.1.2	Wapening	138
23.1.3	Water	138
23.1.4	Mengverhouding (in maaddelen)	139
23.2	Spanningen	139
23.2.1	Principe van de krachtsoverdracht	139
23.2.2	Schuifspanning	140
23.3	Opdrachten	144
24	Voorgespannen beton	145
24.1	Materialen; sterkte	145
24.2	Principe van de krachtsoverdracht	145
24.3	Verschillende systemen van verankering en voorspanning	147
24.4	Materiaalbenutting	148
24.5	Opdrachten	150
25	Grond	151
25.1	Grondsoorten; soortelijke massa's	151
25.2	Spanningen; grondboring en sondering	152
25.3	Spanningsgebieden	152
25.4	Opdrachten	155
25.5	Zetting	156
25.6	Vorstgrens	157
25.7	Toelaatbare grondspanning	157
25.8	Horizontale belasting door grond en water	157
25.8.1	Waterspanning	158
25.8.2	Gronddruk; korrelspanning	159
25.8.3	Invloed van de bovenbelasting	161
25.9	Uitlevering en inklinking	162
25.10	Opdrachten	163
26	Funderingen	164
26.1	Funderingstypen	164
26.2	Fundering op staal	164
26.3	Fundering op palen	169
26.3.1	Algemeen	169
26.3.2	Afmetingen en draagvermogen van palen i.v.m. de sterkte	170
26.3.3	Draagvermogen en sondcrweerstand	170
26.3.4	Kleef	172
26.3.5	Zettingen	173
26.4	Samenvatting	174
26.5	Vragen	175
27	Vloeren, liggers	176
27.1	Algemeen	176
27.2	Stijlheidseisen	176
27.2.1	Houten liggers	176
27.2.2	Stalen liggers	177
27.2.3	Gewapend-betonliggers	177
27.3	Verbindingen	178
27.3.1	Scharnierverbinding of -oplegging	178

27.3.2	Roloplegging	178
27.3.3	Inklemming of stijve-hoekverbinding	179
27.3.4	Slappe verbinding	180
27.4	Vloeren en liggers	181
27.4.1	Doorsneden	181
27.4.2	Vuistregels	182
27.4.3	Gewapend-betonbalken en -platen	183
27.4.4	Profielbalken	184
27.5	Scheurvorming en bouwfysische problemen	187
27.6	Samenvatting	190
27.7	Vragen	191
28	Wanden, kolommen, stabiliteit, muuropeningen	192
28.1	Algemeen	192
28.1.1	Massieve bouw	192
28.1.2	Skeletbouw	192
28.2	Stabiliteit	192
28.3	Dragende muren	199
28.4	Geluidsisolatie	200
28.5	Gevels	202
28.5.1	Warmteisolatie	202
28.5.2	Warmteaccumulatie	202
28.5.3	Condensatie	202
28.6	Scheurvorming in wanden	204
28.7	Overspannen van muuropeningen	206
28.7.1	Boogconstructie	206
28.7.2	Strek en rollaag	211
28.7.3	Latei	212
28.7.4	Bouwfysische en uitvoeringstechnische moeilijkheden bij lateiconstructies	213
28.8	Kruip	215
28.9	Vragen	215
29	Daken	216
29.1	Belasting en constructie	216
29.2	Isolatie van daken	217
29.2.1	Platte daken	217
29.2.2	Andere dakvormen	221
30	Constructieve vormgeving	222
30.1	Algemeen	222
30.2	Voorbeelden	222
31	Opdrachten (algemene herhaling)	231
TABELLEN		
I	Waarden materiaaleigenschappen	244
IIA	Profielgegevens van ongeschaafd Europese naaldhout	245
IIB	Profielgegevens van vierzijdig geschaafd Europese naaldhout	245
III	Pijpprofielen	246
IV	IPE-profielen	247
V	Breedflensbalken met parallelle flenzen, HE...A	248
VI	Breedflensbalken met parallelle flenzen, HE...B	249
Index		250

11

Sterkte en spanningen

11.1 Inleiding

Voor elke constructie gelden de volgende eisen:

- 1 De constructie moet sterk genoeg zijn.
- 2 De constructie moet in evenwicht zijn.
- 3 De constructie moet stijf genoeg zijn.

Punt 2 hebben we al eerder behandeld en we behandelen nu punt 1: de constructie moet sterk genoeg zijn, dus de constructie mag niet bezwijken.

We beoordelen dat in de uiterste "grenstoestand". De karakteristieke waarden van de belastingen (S_k) en de sterkte (R_k) worden vermenigvuldigd met respectievelijk de belastingsfactor (γ_F) en gedeeld door de materiaalfactor (γ_M).

De constructie heeft voldoende sterkte (resistance) als

$$S_k \cdot \gamma_F \leq \frac{R_k}{\gamma_M}$$

óf als: $S_d \leq R_d$, zie fig. 11-1-a en b. In de Europese voorschriften is het Engels voertaal. De index d komt van het Engelse woord "design". Het liefst schrijven we de voorgaande formule in de vorm van een zogenaamde eenheidstoets, de "Unity check":

$$\frac{S_d}{R_d} \leq 1$$

De basis van deze veiligheidsfilosofie ligt in de karakteristieke waarden van R en S . Deze zijn gedefinieerd als de waarde waarvoor de kans dat grotere belastingen, respectievelijk kleinere sterkten voorkomen, een percentage van 5% is.

Nu kijken we eerst naar de belastingen.

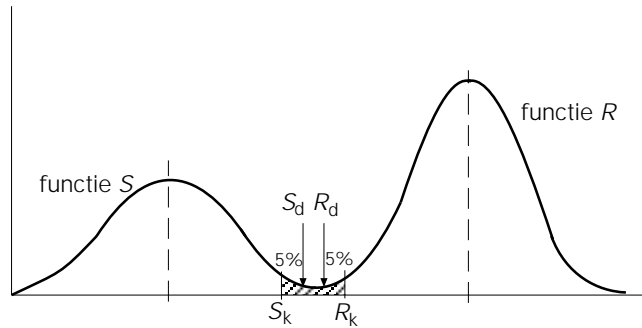


fig. 11-1-a

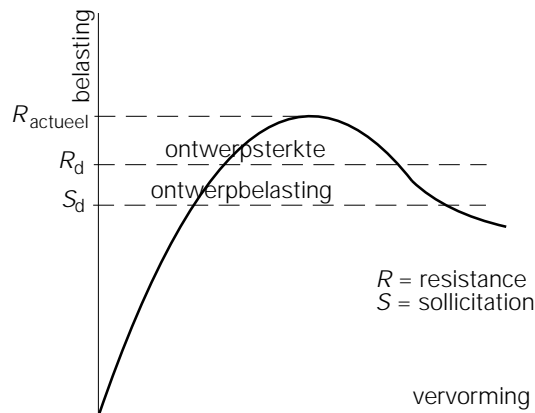


fig. 11-1-b

De belasting die een constructieonderdeel moet dragen is bekend. We noemen dit de *gebruiksbelasting* F . Nu geldt weer

$$F_d = \gamma_F \cdot F$$

of in woorden: de rekenwaarde van de belasting is gelijk aan de belastingsfactor maal de gebruiksbelasting.

Deze rekenbelasting F_d veroorzaakt in de constructie spanningen σ_d in N/mm^2 , volgens $\sigma_d = F_d/A$; lees paragraaf 4.3 nog eens na.

Nu kijken we naar de weerstand, de

sterkte. De uiterste weerstand die de constructie kan bieden noemen we de *bezwijksterkte* F_u , zie fig. 11-2.

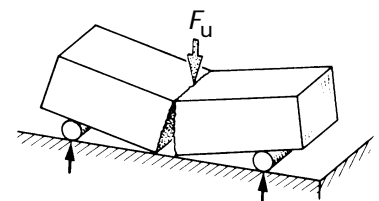


fig. 11-2

Onder de belasting F_u bezwikt de constructie net wel of net nog niet.

Tussen de gebruiksbelasting F en de bezwijksterkte F_u moeten we voldoende afstand nemen. Dit is de veiligheid!

Een deel van de afstand is beschikbaar voor de belastingsfactor γ_F , die is ingevoerd vanwege:

- benaderingen in de berekeningstheorie;
- onvoorziene belastingen;
- onvolkomenheden in de uitvoering;
- het aantal mensen dat slachtoffer kan worden;
- de materiële schade die tijdens de levensduur kan ontstaan.

Een ander deel van die afstand is beschikbaar voor de materiaalfactor γ_M . Zie fig. 11-3-a. In een constructie worden materialen verwerkt zoals hout, steen, beton, staal, kunststoffen, grond. In het laboratorium is door een groot aantal proeven de sterkte van die materialen nauwkeurig bepaald. De daaruit volgende materiaalsterkte noemen we f_u , de uiterste sterkte.

Nu is het zo dat door ongelijkmatigheden in het materiaal de in het laboratorium bepaalde waarden een zekere spreiding hebben. De gevonden sterktewaarden moeten we delen door de materiaalfactor γ_M , in formule

$$f_d = \frac{f_u}{\gamma_M}$$

waarin f_d = de rekenwaarde van de sterkte in N/mm^2 . Enkele waarden:

	γ_M		γ_M
staal	1,0	beton op druk	1,2
staal op trek	1,25	beton op trek	1,4
betonstaal	1,15	hout	1,2
		steen	1,8

Nu moet natuurlijk gelden:

$$\sigma_d \leq f_d \quad \text{of} \quad \frac{\sigma_d}{f_d} \leq 1$$

overeenkomstig de "Unity Check", of in woorden:

De rekenwaarde van de spanning σ_d die door de rekenbelasting $F_d = \gamma_F \cdot F$ in de constructie wordt opgewekt moet kleiner of gelijk zijn aan de rekenwaarde van de sterkte $f_d = \frac{f_u}{\gamma_M}$

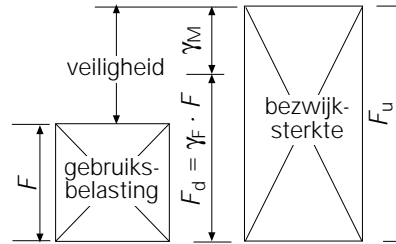


fig. 11-3-a

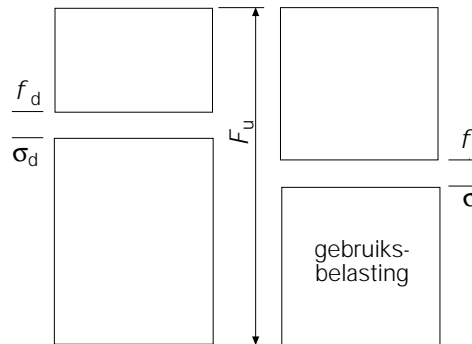


fig. 11-3-b

van het materiaal waarvan de constructie is gemaakt.

Er kan nog wel ruimte over blijven; zie fig. 11-3-b, het linker deel. Dat komt omdat bijvoorbeeld met handelsprofielen wordt gewerkt, zie de staal- en houtprofielen achter in dit boek. Voor metselwerk zijn de formaten gestandaardiseerd en bij beton worden de maten meestal afgerond op een veelvoud van 50 mm.

Het *aardige* van deze manier van rekenen is nu dat we met behulp van de toegepaste mechanica de spanningen σ kunnen berekenen en dat het nog niet uitmaakt welk materiaal we gebruiken. Ná de materiaalkeuze gaan we *toetsen* of de berekende spanning voldoet.

Dit was misschien een moeilijke paragraaf.

We zullen in dit boek deze moderne rekenmethode vereenvoudigen door steeds te toetsen:

$$\frac{\sigma}{f} \leq 1? \quad \text{ó} \quad \sigma \leq f?$$

Dat wil zeggen dat we constructies zullen berekenen met de *gebruiksbelasting* en de daaruit volgende spanningen gaan vergelijken met

sterktewaarden waarin zowel γ_F als γ_M al zijn verwerkt. Zie fig. 11-3-b, rechter deel. Deze sterktewaarden staan bijvoorbeeld vermeld in tabel I of worden in de opdracht gegeven. In de inleiding van dit hoofdstuk zijn de eisen genoemd waaraan een constructie moet voldoen:

- 1) sterk genoeg
- 2) in evenwicht
- 3) stijf genoeg.

Over de eerste twee punten is nu voldoende gezegd. Tenslotte nog enkele korte opmerkingen over de derde eis.

Stijf, dat is niet te slap.

Bijvoorbeeld:

- Een brug mag niet te veel doorbuigen of niet te veel trillen.
- Een flatgebouw mag aan de top niet te veel uitbuigen.
- Een plank over een sloot mag slapper zijn dan een vloer van een kantoorgebouw.
- Een natte dijk mag niet in elkaar zakken.

Stijfheidseisen worden in de TGB vastgesteld; zie hiervoor o.a. ook hoofdstuk 27 van dit boek. Het toetsen of een constructie stijf genoeg is, gebeurt ook met de hiervoor genoemde *gebruiksbelastingen*. Het

gaat immers om de werkelijke doorbuigingen van balken, vloeren of bruggen die bij normaal gebruik optreden. Stijfheidseisen kunnen vooral bij lange of hoge constructies vaak maatgevend zijn. Te grote vervormingen kunnen ontoelaatbare schade of hinder veroorzaken nog lang voordat de constructie is bezwaken. Alvorens daar verder op in te gaan wordt nu eerst verdere aandacht besteed aan spanningen

In hoofdstuk 4 hebben we gezien wat men onder "spanning" en "belasting" verstaat.

We kunnen "spanning" onderverdelen in een aantal verschillende soorten spanningen, nl.:

- drukspanningen;
- trekspanningen;
- schuifspanningen;
- buigspanningen (zie hoofdstuk 14);
- knik (gevaarlijke drukspanningen) (zie hoofdstuk 18).

In dit hoofdstuk zullen we de drie eerstgenoemde soorten spanningen nader bekijken.

11.2 Drukspanning

Indien de balk uit fig. 11-4 gedrukt wordt door een kracht F (in de balkas), dan is de drukspanning in de balkvlakjes loodrecht op de balkas:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Hierin is:

F = drukkracht;

A = oppervlakte balkdoorsnede;

σ_c = drukspanning
(c = compression).

(Zie ook fig. 11-5 en fig. 11-6.)

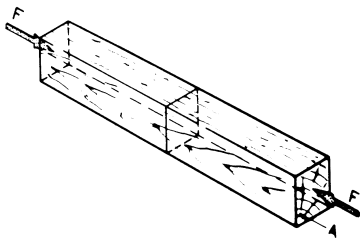
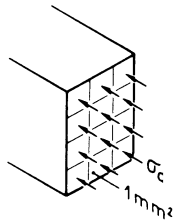
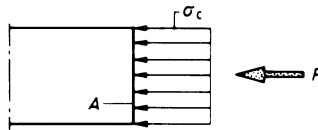


fig. 11-4 Drukkrachten



iedere oppervlakte-eenheid, b.v. 1 mm² brengt een "krachtje" σ_c over.

fig. 11-5



spanningsdiagram t.g.v. F

fig. 11-6

In het vervolg wordt steeds over lichamen in rust gesproken. In fig. 11-4 zijn beide krachten gelijk doch tegengesteld. Vergelijk fig. 11-4 met fig. 6-8.

VOORBEELD 1

Gegeven: Op een balk wordt een drukkracht van 63 kN = 63000 N uitgeoefend. De balk heeft een (dwars)doorsnede A van 9000 mm².

Gevraagd: de drukspanning σ_c .

Oplossing:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{63\,000\text{ N}}{9\,000\text{ mm}^2} = 7\text{ N/mm}^2$$

OPDRACHT 1

De doorsnede A van een balk is 8000 mm².

De drukspanning $\sigma_c = 7,5\text{ N/mm}^2$.
Dedrukkracht

$$F = A \cdot \sigma_c = \dots \times \dots = \dots$$

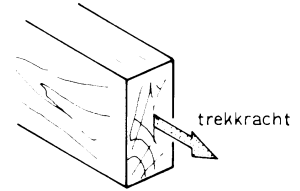


fig. 11-7

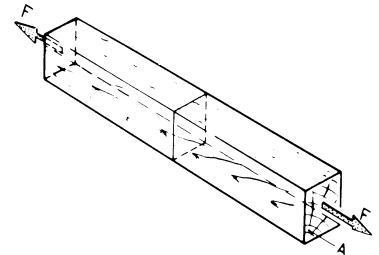


fig 11-8

11.3 Trekspanning

Door een trekkracht ontstaan *trekspanningen* (fig. 11-8).

Als formule hebben we nu:

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Hierin is:

F = trekkracht;

A = oppervlakte balkdoorsnede;

σ_t = trekspanning (t = tension).

Zie ook fig. 11-9 en 11-10.

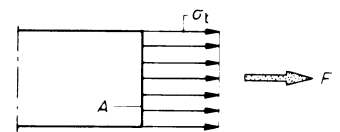
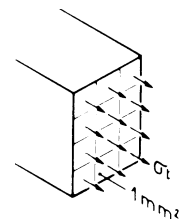


fig. 11-9 Spanningsdiagram t.g.v. F



iedere oppervlakte-eenheid, b.v. 1 mm² brengt een "krachtje" σ_t over.

fig. 11-10

VOORBEELD 2

Gegeven: Op een balk wordt een trekkracht van 72 kN = 72 000 N uitgeoefend. De balk heeft een (dwars)doorsnede van 8 000 mm².

Gevraagd: de trekspanning σ_t .

Oplossing:

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{72\,000\text{ N}}{8\,000\text{ mm}^2} = 9\text{ N/mm}^2$$

OPDRACHT 2

De doorsnede van een balk is 9 000 mm².

De trekspanning $\sigma_t = 10\text{ N/mm}^2$. De trekkracht

$$F = A \cdot \sigma_t = \dots \times \dots = \dots$$

11.4 Schuifspanning

Als een kracht F op vlak CDGF werkt, zal het bovenste blokje materiaal willen afschuiven over vlak BCDE (fig. 11-11).

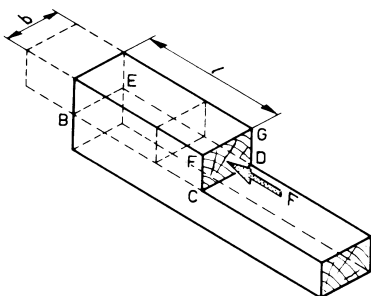


fig. 11-11

In dit vlak ontstaat dan een gemiddelde schuifspanning:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Hierin is:

F = de afschuifkracht;

A = afschuivende oppervlakte = $l \cdot b$

τ = de gemiddelde schuifspanning (τ is de Griekse letter "tau").

Zie ook fig. 11-12.

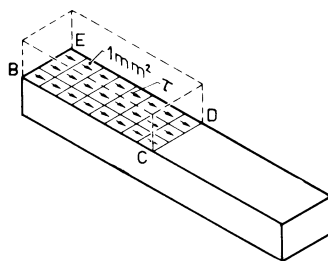


fig. 11-12

De schuifsterkte waarbij nog juist geen breuk optreedt, noemen we de schuifsterkte τ_B .

De schuifsterkte waarmee we de waarde van τ toetsen is $f_v = \frac{f_u}{\gamma_M}$.

VOORBEELD 3

Gegeven: Op een balk wordt een afschuifkracht van 20 kN = 20 000 N uitgeoefend. De "afschuivende" oppervlakte A bedraagt 25000 mm².

Gevraagd: de gemiddelde schuifspanning τ .

Oplossing:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{20\,000\text{ N}}{25\,000\text{ mm}^2} = 0,8\text{ N/mm}^2$$

OPDRACHT 3

De afschuivende oppervlak van een balk is 15 000 mm².

De gemiddelde schuifspanning is $\tau = 1,2\text{ N/mm}^2$. De afschuifkracht

$$F = A \cdot \tau = \dots \times \dots = \dots$$

11.5 Opdrachten

1 *Gegeven:* Een paal met een doorsnede van 80 mm x 150 mm staat op een voetplaat met een oppervlakte van 600 mm x 600 mm.

mm. De paal wordt belast door een drukkracht $F = 72\text{ kN}$.

Gevraagd: Hoe groot is de drukspanning in de paal? En hoe groot is de drukspanning in de grond, direct onder de voetplaat?

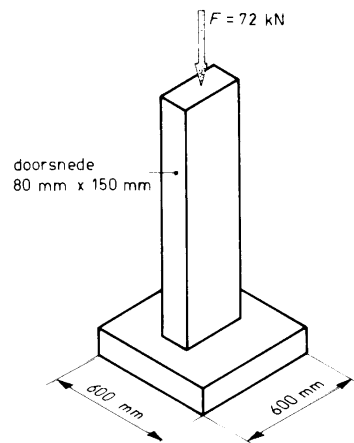


fig. 11-13

2 Toetsvragen:

(Het antwoord staat op blz. 78).

Geef de volgende beweringen in formulevorm:

- de rekenwaarde van de belastingen is een factor groter dan de gebruiksbelastingen;
- de rekenwaarde van de sterkte is een factor kleiner dan de bezwijksterkte;
- de "Unity Check" moet kleiner of gelijk zijn aan 1;
- in dit boek moeten de spanningen tengevolge van de gebruiksbelastingen kleiner of gelijk zijn aan de gegeven sterktewaarden.

3 *Gegeven:* Aan een ronde stalen staaf met een diameter van 35 mm wordt getrokken met een kracht $F = 10\text{ kN}$.

Gevraagd: De trekspanning in de staaf

4 *Gegeven:* De stalen staaf van opdracht 3 breekt bij een trekkracht van 300 kN. $\gamma_M = 1,25$.

Gevraagd: Bereken f_d .

5 *Gegeven:* De breuksterkte van een stalen staaf is 700 N/mm².

De doorsnede van deze staaf is 6 mm^2 . $\gamma_M = 1,25$.

Gevraagd: Bereken f_d en F_u .

- 6 *Gegeven:* Op een houten kolom wordt een drukkracht van $F = 20 \text{ kN}$ uitgeoefend. De druksterkte bedraagt 6 N/mm^2 (geen knikgevaar).

Gevraagd: Hoe groot moet de doorsnede van de kolom zijn?

- 7 *Gegeven:* Zie fig. 11-14.

Gevraagd: De schuifspanning τ .

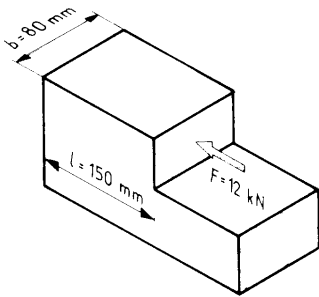


fig. 11-14

- 8 *Gegeven:* De haaklas in fig. 11-15 wordt getrokken met een kracht van 12 kN . $l = 125 \text{ mm}$; $d = 20 \text{ mm}$.

Gevraagd: Bereken de spanningen op het vlak $d \cdot b$ en op het vlak $l \cdot b$.

- 9 *Gegeven:* De muur in fig. 11-16 heeft als fundering een betonplaat. F (eigen gewicht + belasting) = 60 kN per strekkende meter. De druksterkte van de grond bedraagt $f = 0,05 \text{ N/mm}^2$.

Gevraagd:

- Hoe breed moet de betonplaat zijn?
- Hoe groot is de spanning in het metselwerk?

- 10 *Gegeven:* Een ketting met schalmen (zie fig. 11-17), met een diameter van 10 mm elk, breekt bij een trekspanning van 560 N/mm^2 .

Gevraagd: Hoe groot is F_u (afgezien van andere spanningen)?

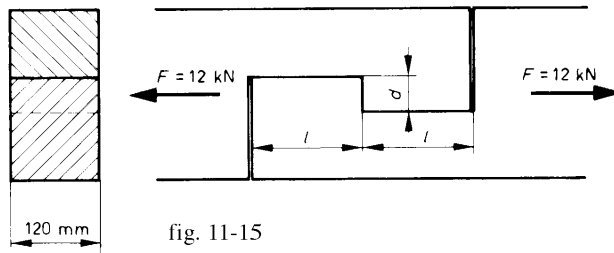


fig. 11-15

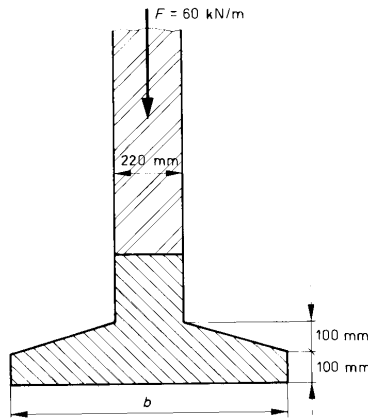


fig. 11-16

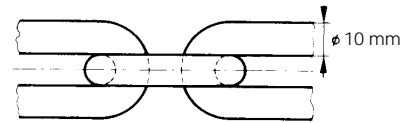


fig. 11-17

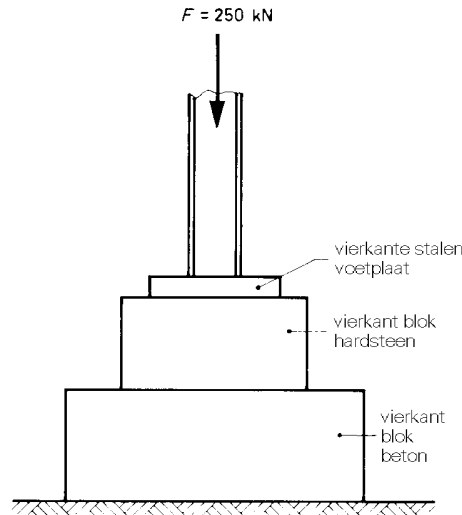


fig. 11-18

- 11 *Gegeven:* Zie fig. 11-18. $F = 250 \text{ kN}$; $f_{\text{hardsteen}} = 3,5 \text{ N/mm}^2$; $f_{\text{grond}} = 0,05 \text{ N/mm}^2$.

Gevraagd: Bereken de lengte (= breedte) van:
a de stalen voetplaat;

b het blok hartsteen;
c het blok ongewapend beton.

- 12 *Gegeven:* Een ketting wordt belast met een trekkracht van 50 kN . $f = 160 \text{ N/mm}^2$.

Gevraagd: Hoe dik moeten de schalmen van deze ketting zijn

(afgezien van andere spanningen)?

- 13 *Gegeven.* Zie fig. 11-19. De drukkracht F in het spantbeen bedraagt 20 kN. De breedte van de trekplaat is 80 mm. De schuifsterkte $f_v = 1 \text{ N/mm}^2$.

Gevraagd. Hoe groot moet l minstens zijn?

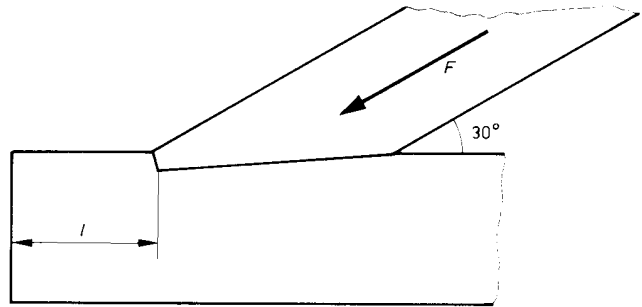


fig. 11-19

- 14 *Gegeven.* Twee stalen strippen die elkaar gedeeltelijk overlappen, zijn met elkaar verbonden door twee klinknagels met een diameter van 19 mm (enkel-snedige verbinding). $f_v = 112 \text{ N/mm}^2$; $f_t = 160 \text{ N/mm}^2$. Zie fig. 11-20.

Gevraagd:

- Welke afschuifkracht kan deze verbinding opnemen?
- Welke trekkkracht kan deze verbinding opnemen?

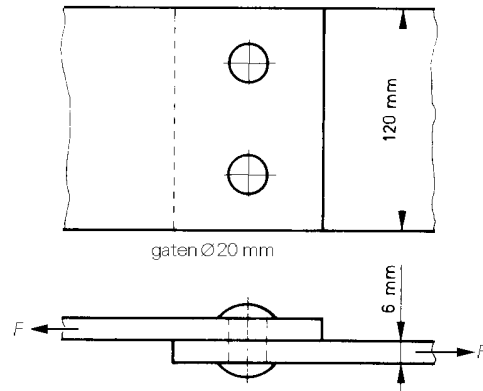


fig. 11-20

- 15 *Gegeven:* Twee staven worden scharnierend met elkaar verbonden zoals aangegeven in fig. 11-21 (dubbelsnedige verbinding). De op te nemen trekkkracht bedraagt 100 kN. $f_v = 93 \text{ N/mm}^2$.

Gevraagd: Hoe groot moet de diameter van de bout worden?

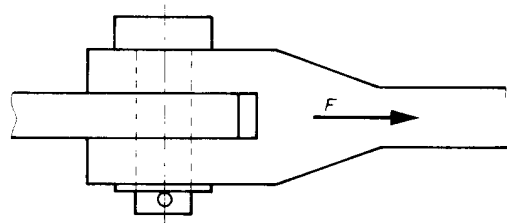


fig. 11-21

- 16 *Gegeven:* Een stalen ligger is opgelegd op een stalen blokje, dat op een stalen plaat ligt. De stalen plaat rust op een fundering van gewapend beton. De oplegkracht bedraagt 350 kN. $f_{c,staal} = 160 \text{ N/mm}^2$; $f_{c,beton} = 7 \text{ N/mm}^2$. Het stalen blokje en de stalen plaat zijn vierkant. Zie fig. 11-22.

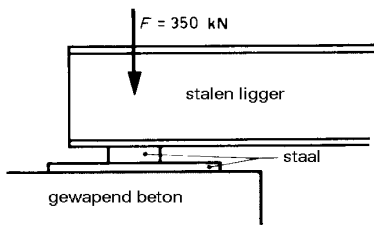


fig. 11-22

Gevraagd: Hoe groot moeten de lengte en de breedte van het

stalen blokje en de stalen plaat minstens zijn?

- 17 *Gegeven:* Een IPE 200 is opgelegd op een blok van gewapend beton. De opleglengte l bedraagt 200 mm. $f_{c,beton} = 7 \text{ N/mm}^2$. Zie fig. 11-23.

Gevraagd: Wat mag de oplegdruk van de IPE op het beton maximaal bedragen? (De "randspanning" is $2 \times$ de gemiddelde spanning bij dit soort opleggingen!)

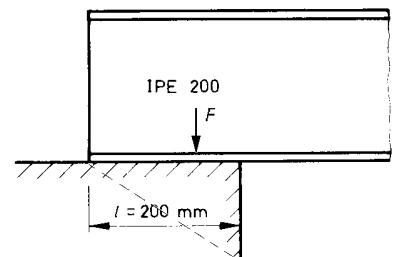


fig. 11-23

- 18 *Gegeven:* Een stalen balk rust op een stalen plaat, die met 6 bouten aan een stalen kolom is bevestigd. De bouten hebben een diameter van 19 mm. De oplegdruk van de balk is 150 kN. Zie fig. 11-24.

Gevraagd: De optredende schuifspanning in de bouten.

- 19 *Gegeven:* Zie fig. 11-25. $f_v = 112 \text{ N/mm}^2$; $f_t = 160 \text{ N/mm}^2$. De diameter van een klinknagel is 17 mm.

Gevraagd: Bereken de trekkracht die de getekende verbinding met klinknagels kan opnemen.

N.B. De berekening met bouten verloopt net zo.

Antwoorden opdracht 2:

$$F_d = \gamma_F \cdot F$$

$$f_d = \frac{f_u}{\gamma_M}$$

$$\frac{\sigma_d}{f_d} \leq 1 \quad \left\{ \frac{S_d}{R_d} \leq 1 \right\}$$

$$\frac{\sigma}{f} \leq 1.$$

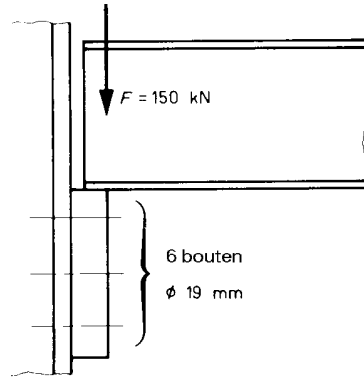


fig. 11-24

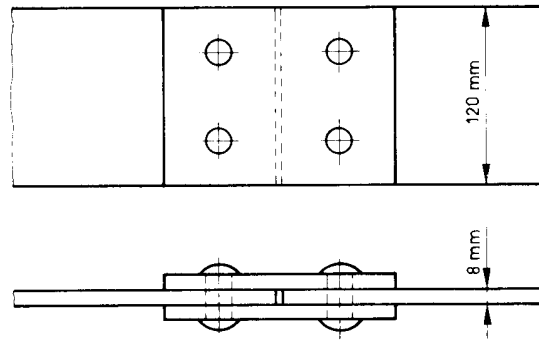


fig. 11-25