

**Vraag 6**

*Wat is het voordeel van de versterking volgens afbeelding 13?*

## 4 Verzwakking in een pijpwand

### verzwakking in pijpwand

Het spreekt vanzelf dat een opening in een pijpwand een verzwakking van deze pijpwand oplevert. Door een verzwakkingsfactor 'z' in te voeren (zie de vorige lessen) kan de wanddikte hiermee worden verdisconteerd. Deze verzwakkingsfactor is 1 of kleiner. Is de verzwakking ernstig, bijvoorbeeld omdat er een groot gat wordt gemaakt in een relatief dunwandige pijp, dan is de kans groot dat de constructie te zwak is. Er zullen hoge spanningen kunnen ontstaan die leiden tot schade. Teneinde de verzwakking op te heffen, zal men rondom of in de opening proberen het weggenomen materiaal als het ware 'terug te plaatsen'. Dit 'terug te plaatsen' materiaal moet zodanig worden aangebracht, dat het zoveel mogelijk één geheel vormt met de rest van het pijpmateriaal. Dat wil zeggen: het moet zo goed mogelijk worden aangebracht.

*Dit is in het algemeen de grondslag voor de berekening van de sterkte van een aftakking in de verschillende codes.*

### voorwaarden

Er moet nu:

- rekening worden gehouden met reservewanddikte, zowel van de hoofdleiding als van de aftakpijp, als deze aanwezig is;
- rekening worden gehouden met een beperking van de materiaalafmetingen die mogen worden meegerekend. Dit geldt zowel voor de hoofdleiding als voor de aftakking;
- tevens rekening worden gehouden met een beperking van de afmetingen van een versterkingsring die mogen worden meegerekend.

**Vraag 7**

*Waardoor kan, in het algemeen, een verzwakking ontstaan en hoe kan deze, geheel of gedeeltelijk, worden opgeheven?*

## 5 Berekening van de verzwakkingsfactor volgens de Regels

### verzwakkingsfactor volgens de Regels

Op afbeelding 15 stelt de zwarte rand de totale toeslag voor, die men op de berekende wanddikte geeft voor corrosie en minus-tolerantie. Deze oppervlakte mag dus niet worden meegerekend.

Op de afbeelding zijn:

$d$  = rekenwanddikte (= plaatdikte – toeslagen)

$d_2$  = plaatdikte van de aftakking met aftrek van de toeslagen rekenwanddikte van de aftakpijp)

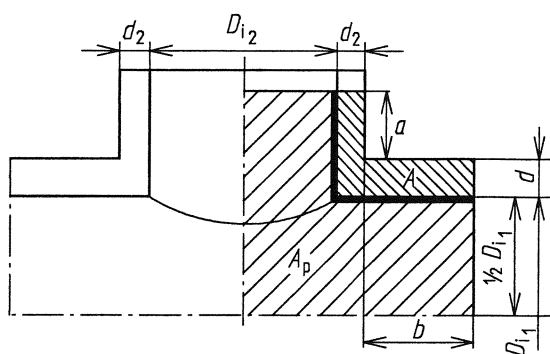
$D_{11}$  = inwendige middellijn van de hoofdleiding

$D_{12}$  = inwendige middellijn van de aftakking

$a$  = deel van de aftakking dat meegerekend mag worden voor de

### berekening van de delen a en b

$$\text{versterking en bedraagt } 1,25 \times \sqrt{d_2 \times (D_{12} + d_2)} \quad (42)$$



Afbeelding 15

5797-050-009-P

$b$  = deel van de hoofdleiding dat meegerekend mag worden voor de

$$\text{versterking en bedraagt } \sqrt{d \times (D_{i1} + d)} \quad (43)$$

### oppervlak $A$ en $A_p$

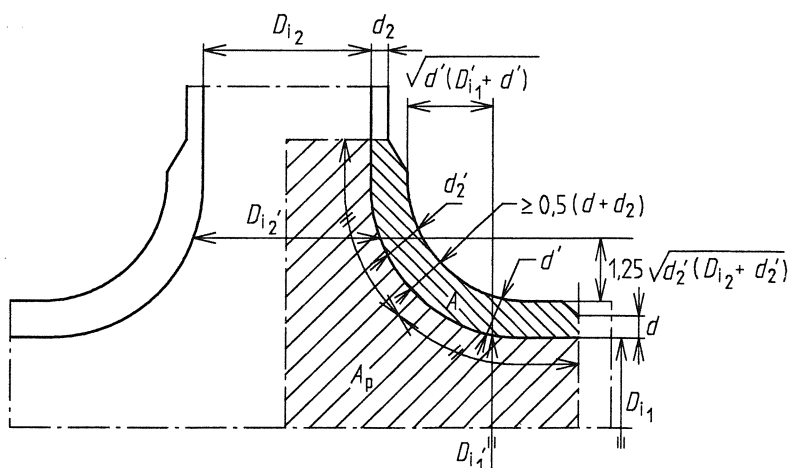
Het oppervlak  $A_p$  is nu het grof gearceerde deel en het oppervlak  $A$  het fijn gearceerde deel. De ligging van de grenslijn wordt, zoals de afbeelding aangeeft, bepaald door de middellijnen van de hoofdleiding en de aftakking en de wanddikte ter plaatse van die grenslijnen. Bij verlopende wanddikte en/of middellijn is een nauwkeurige vaststelling van de grenslijnen alleen door proberen mogelijk. Door opmeten (bijvoorbeeld door planimetren) kunnen de oppervlakten worden vastgesteld.

### Vraag 8

Met welke toeslagen moet bij leidingen rekening worden gehouden?

### verlopende wanddikte

Afbeelding 16 geeft een voorbeeld van verlopende wanddikte en middellijn. Het deel  $A_p$  en  $A$  mag voor de berekening van de versterking in rekening worden gebracht.



Afbeelding 16

5797-050-010-P

Eenvoudigheidshalve kan echter ook worden volstaan met de bepaling van de grenslijnen op basis van de *minimale* middellijn en wanddikte van de hoofdleiding en de aftakking.

**bepaling van 'z'**

De verzwakkingsfactor 'z' moet nu als volgt worden berekend:

$$z = c \times \frac{\left[ \frac{D_{i1} + d}{d_{ber}} \right] \times \frac{A}{\left[ 2 \times A_p + A \right]}}{d_{ber}} \quad (44)$$

Hierin is:

$c$  = hulpwaarde en is 1

$A_p$  = de oppervlakte waarop de druk werkt (op de afbeelding is dit met een grove arcering aangegeven)

$A$  = de in rekening te brengen doorsnede-oppervlakte rond de opening in de wand van de hoofdleiding + doorsnede-oppervlakte van de aftakking

$D_{i1}$  = de inwendige middellijn van de hoofdleiding

$d$  = de berekende wanddikte van de hoofdleiding

Indien materialen worden gebruikt met verschillende rekgrenzen bij ontwerptemperatuur voor de hoofdleiding en de aftakking, moet dit in rekening worden gebracht met de factor  $\frac{f_1}{f}$ , waarin  $f$  = ontwerpspanning bij ontwerptemperatuur van de hoofdleiding en  $f_1$  = ontwerpspanning van de aftakking. De factor  $\frac{f_1}{f}$  mag nooit groter worden genomen dan 1.  $\frac{f_1}{f} \neq 1$

Uit afbeelding 15 kunnen de oppervlakten  $A_p$  en  $A$  worden bepaald:

$$A_p = 0,5 \times D_{i1} \times (0,5 \times D_{i2} + d_2 + b) + 0,5 \times D_{i2} \times (d + a) \quad (45)$$

$$A_p = 0,5 \times D_{i1} \times \left\{ 0,5 \times D_{i2} + d_2 + \sqrt{d \times (D_{i1} + d)} \right\} +$$

$$+ 0,5 \times D_{i2} \times \left\{ d + 1,25 \times \sqrt{d_2 \times (D_{i2} + d_2)} \right\}$$

$$A = d \times (d_2 + b) + d_2 \times a$$

$$A = d \times \left\{ d_2 + \sqrt{d \times (D_{i1} + d)} \right\} +$$

$$+ d_2 \times 1,25 \times \sqrt{d_2 \times (D_{i2} + d_2)} \quad (46)$$

**Vraag 9**

*Wat wordt verstaan onder de oppervlakten  $A_p$  en  $A$ ?*

**Rekenvoorbeeld 1**

Op een hoofdleiding is een haakse aftakking gelast. De pijpen zijn naadloos. De berekeningsdruk bedraagt 12 bar. Corrosietoetslag is 1 mm.

Tolerantietoetslag is 12,5 %.

Hoofdleiding  $\varnothing 521 \times 8$ .  $R_e = 190 \text{ N/mm}^2$ .

Aftakking  $\varnothing 325 \times 6$ .  $R_e = 170 \text{ N/mm}^2$

**berekeningsdruk**

Bepaal de verzwakking.

*Uitwerking*

Hoofdleiding:  $\rightarrow 0,125$

$$d_1 = 8 - 12,5\% - 1 = 6 \text{ mm.}$$

$$D_{i1} \text{ wordt nu } 521 - (2 \times 6) = 509 \text{ mm.}$$

Aftakking:

$$d_2 = 6 - 12,5\% - 1 = 4,25 \text{ mm.}$$

$$D_{i2} \text{ wordt } 325 - 2 \times 4,25 = 316,5 \text{ mm.}$$

$$a = 1,25 \times \sqrt{4,25 \times (316,5 + 4,25)}$$

$$a = 46,15$$

$$b = \sqrt{6 \times (509 + 6)}$$

$$b = 55,59$$

$$A_p = 0,5 \times 509 \times (0,5 \times 316,5 + 4,25 + 55,59) + 0,5 \times 316,5 \times (6 + 46,15)$$

$$A_p = 63756,64 \text{ mm}^2$$

$$A = 6 \times (4,25 + 55,59) + 4,25 \times 46,15$$

$$A = 555,178 \text{ mm}^2$$

$$A_1 \text{ wordt: } \frac{170}{190} \times 555,178 = 496,74 \text{ mm}^2$$

(De factor  $\frac{170}{190}$  omdat de aftakpijp een lagere ontwerpspanning heeft dan de hoofdpijp.)

$$z = \frac{(509 + 6)}{6} \times \frac{496,74}{(2 \times 63756,64 + 496,74)}$$

$$z = 0,333$$

## 6 Aanbrengen van een versterking

Volgens de Regels komen alleen in aanmerking:

- een versterkingsring volgens afbeelding 17;
- een neutrale plaat volgens afbeelding 18;
- een triform-versterking volgens afbeelding 19;
- een doorgestoken tubulure volgens afbeelding 20.

Bij pijpleidingen komen een versterkingsring en de triform-versterking het meest voor.

**versterkingsvormen**

**versterkingsrendement**

Voor een versterkingsring met een constante breedte mag het op afbeelding 17 kruislings gearceerde oppervlak in rekening worden gebracht met een versterkingsrendement van 75 %. Het versterkingsrendement  $k = 0,75$  wil zeggen, dat niet het totale kruislings gearceerde oppervlak in rekening kan worden gebracht.

De berekening van  $A$  is nu als volgt:

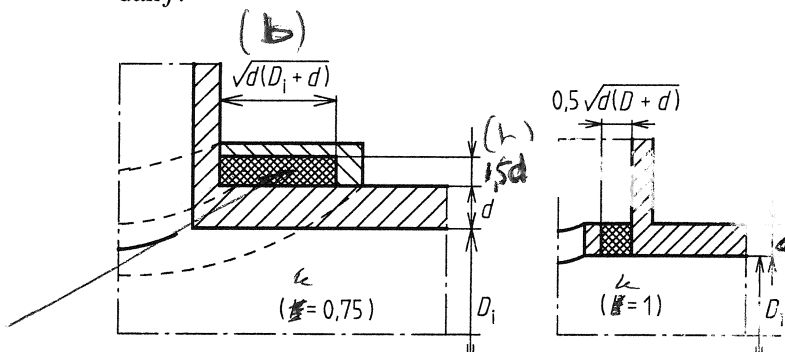
$$A = A_0 + \frac{f_1}{f} \times A_1 + k \times \frac{f_2}{f} \times A_2 \quad (47)$$

waarin:

$A_0$  = het in rekening te brengen doorsnede-oppervlak van het om de opening in de wand en de aftakking aanwezige materiaal, voor zover de ontwerpspanning daarvan ten minste gelijk is aan die van de wand;

$A_1$  = het in rekening te brengen doorsnede-oppervlak van het om de opening in de wand en de aftakking aanwezige materiaal, indien de ontwerpspanning  $f_1$  (van de aftakking) kleiner is dan de ontwerpspanning ' $f$ ' van de pijpwand;

$A_2$  = het in rekening te brengen doorsnede-oppervlak van extra versterkingsmateriaal met een versterkingsrendement kleiner dan ontwerpspanning  $f_2$ .  $f_2$  wordt niet hoger in rekening gebracht dan  $f$ .



Afbeelding 17

Afbeelding 18

5797-050-011-P

### Voorbeeld 2

Voortzetting van voorbeeld 1.

Er is uitgerekend dat een plaatselijke opening een verzwakking geeft van 0,333. De vraag is nu of dit acceptabel is! Er moet nu worden berekend wat bij de ontwerpcondities van de leiding de verzwakkingsfactor minimaal moet bedragen.

Indien we uitgaan van de berekeningsdruk en uitwendige middellijn kan met de overige gegevens de wanddikte van de leiding worden berekend, namelijk:

$$P = 1,2 \text{ N/mm}^2$$

$$D_e = 521 \text{ mm}$$

$$d_1 = 2 - 12,5\% = 1,6 \text{ mm}$$

$$d = \frac{1,2 \times 521}{2 \times 1 \times (0,67 \times 190) + 1,2}$$

$$d = 2,44 \text{ mm (ontwerpwanddikte)}$$

De wanddikte is na aftrek van de toeslagen 6 mm, dit houdt in dat de verzwakkingsfactor  $z$  veel kleiner mag zijn dan 1.

Bepaling van  $z$  geeft:

$$z = \frac{p_d \times (D_e - d)}{2 \times d \times f} = \frac{1,2 \times (521 - 6)}{2 \times 6 \times (0,67 \times 190)} = 0,405$$

$$z = \frac{1,2 \times (521 - 6)}{2 \times 6 \times 0,67 \times 190}$$

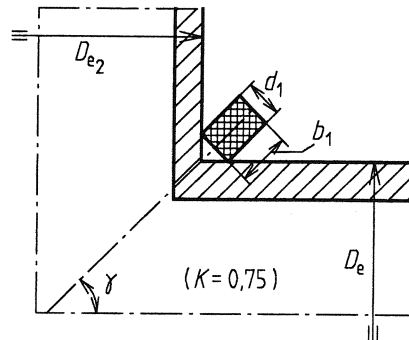
$$z = 0,405$$

Druck von 12 bar =  $1,2 \text{ N/mm}^2$ .

Er moet bij deze druk ten minste een verzwakking aanwezig zijn van 0,405. We zagen echter dat de aftakking een verzwakkingsfactor heeft van slechts 0,333, dat wil zeggen dat de aftakconstructie in de wand van de hoofdleiding met de aftakking niet voldoende sterk is!

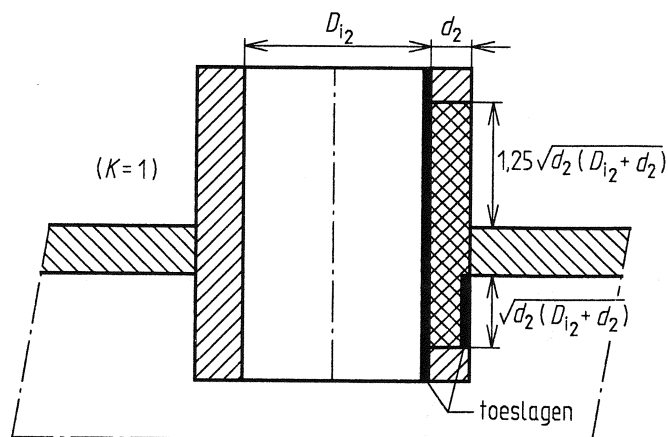
Om de aftakking verder te versterken, waardoor een hogere  $z$  ontstaat, wordt een vlakke plaat rond de aftakking aangebracht. Deze heeft een ontwerpspanning  $f_2 = 210 \text{ N/mm}^2$ . Volgens afbeelding 17 zijn de afmetingen van een vlakke versterkingsplaat begrensd, althans: de mate waarmee we ermee mogen rekenen. De vraag is nu, om zo economisch mogelijk te werken, wat de afmetingen moeten zijn van deze versterkingsring.

AFB.7.  $b = \sqrt{d \times (D_{int} + d)}$   
 $d = 1/2 d$



*Afbeelding 19*

5797-050-012-P



*Afbeelding 20*

5797-050-013-P

Nu geldt:

$$z = c \times \frac{(D_{il} + d)}{d} \times \frac{A_{tot}}{2 \times A_p + A_{tot}}$$

HIEREN IS

$$A_{\text{tot}} = A_{\text{VAN}} \quad A = \int_1^2 A_2 + A_2$$

$A_2 = \text{OPPERVL. VAN DE VERSTERKINGSRING} = k \times \frac{P_2}{f} \times A_2 =$

$$0,405 = 1 \times \frac{(509 + 6)}{6} \times \frac{A}{2 \times A_p + A}$$

$$\frac{A}{2 \times A_p + A} = 0,00472$$

$$A_p = 63756,64 \text{ mm}^2 \text{ (zie voorbeeld 1)}$$

$$\frac{A}{2 \times 63756,64 + A} = 0,00472$$

$$A = 604,72 \text{ mm}^2 \text{ (totaal)}$$

$$A_1 = 555,178 \text{ (voorbeeld 1)}$$

$$A = \left[ \frac{f_1}{f} \times A_1 \right] + \left[ k \times \frac{f_2}{f} \times A_2 \right] \quad \text{(zie formule 47)}$$

$$604,72 = \frac{170}{190} \times 555,178 + 0,75 \times \frac{210}{190} \times A_2,$$

$$\text{maar } \frac{210}{190} \text{ wordt: } \frac{190}{190}$$

$A_2 = 144 \text{ mm}^2$ , dat wil zeggen de versterkingsring moet een doorsnede-oppervlak hebben van  $144 \text{ mm}^2$ . De in rekening te brengen dikte van de ring is maximaal  $1,5 \times d \rightarrow 1,5 \times 6 = 9 \text{ mm}$ . De in rekening te brengen breedte van de ring is maximaal  $\sqrt{d \times (D_i + d)} \rightarrow \sqrt{6 \times (509 + 6)} = 55,59 \text{ mm}$ . Dit levert een doorsnede-oppervlak van  $9 \times 55,59 = 500 \text{ mm}^2 > 144 \text{ mm}^2$ .

Neem nu een versterkingsring met een dikte van 4 mm en een breedte van 50 mm, dan is het oppervlak  $4 \times 50 = 200 \text{ mm}^2$ . De afmetingen van de versterkingsring worden nu  $\varnothing 425 \times \varnothing 325 \times 4$ .

#### Toelichting

#### factor c

Bij de formule (44) is de factor 'c' ingevoerd.

Voor cilinders, dus ook voor pijpen, geldt:  $c = 1$ .

Voor een kegel moet voor  $c = 1/\cos \alpha$  genomen worden, waarbij  $\alpha$  = tophoek van de kegel. In alle overige gevallen is  $c = 0,5$ .

#### neutrale versterking

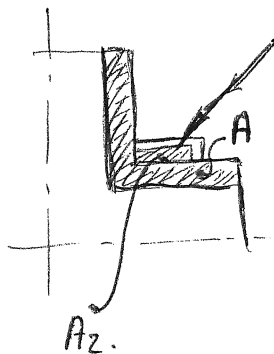
Op afbeelding 18 wordt gesproken van een neutrale versterkingsplaat. Dit is bijvoorbeeld van toepassing bij een opgelaste tubulure, waarbij de inwendige middellijn van de tubulure groter is dan het gat in de wand van de hoofdleiding. De druk werkt nu aan weerszijden van dit deel van de pijpwand. Bij de berekening moet dan, indien nodig,  $2 \times$  de corrosietoeslag worden afgetrokken. Zowel het binnenoppervlak als het buitenoppervlak worden immers aangetast. Dit geldt ook voor een doorgestoken tubulure, volgens afbeelding 20.

#### Vraag 10

Wanneer wordt, in het algemeen, een triform-versterking toegepast?

#### Vraag 11

Wat is het verschil tussen de oppervlakten  $A_0$ ,  $A_1$  en  $A_2$  in de formule 47?



$$A = \frac{f_1}{f} \times A_1 \text{ OF } A = k \times \frac{f_2}{f} \times A_2$$