CULTUURTECHNISCHE DIENST

MINISTERIE VAN LANDBOUW EN VISSERIJ

CENTRALE DIRECTIE

Utrecht, Maliebaan 21
Telefoon 030-321422
Telex 47542
Postrekening 268182

Aan Geadresseerde

Bericht op schrijven:
Uw kenmerk:
Onderwerp: Beschrijving computer-programma BUIS.

Dagtekening: 23 februari 1973
Ons kenmerk: 1091
Bijlagen: 1

Door de Afdeling Waterhuishouding van de Cultuurtechnische Dienst is het programma BUIS ontwikkeld. Met dit programma kunnen momenten, normaalkrachten, dwarskrachten, buigspanningen en vervormingen van ronde buizen berekend worden, die optreden tengevolge van uitwendige belasting, eigen gewicht, vloeistofdruk of vloeistofvulling.

Ter kennisneming bieden wij U hierbij een beschrijving van dit programma aan.

Voor verdere informatie over het gebruik van het programma kunt U zich wenden tot de heer Gelok van de Afdeling Waterhuishouding.

DE CULTUURTECHNISCHE DIENST,

Ir. N.H.A. Greve,
Inspectie Algemene Zaken

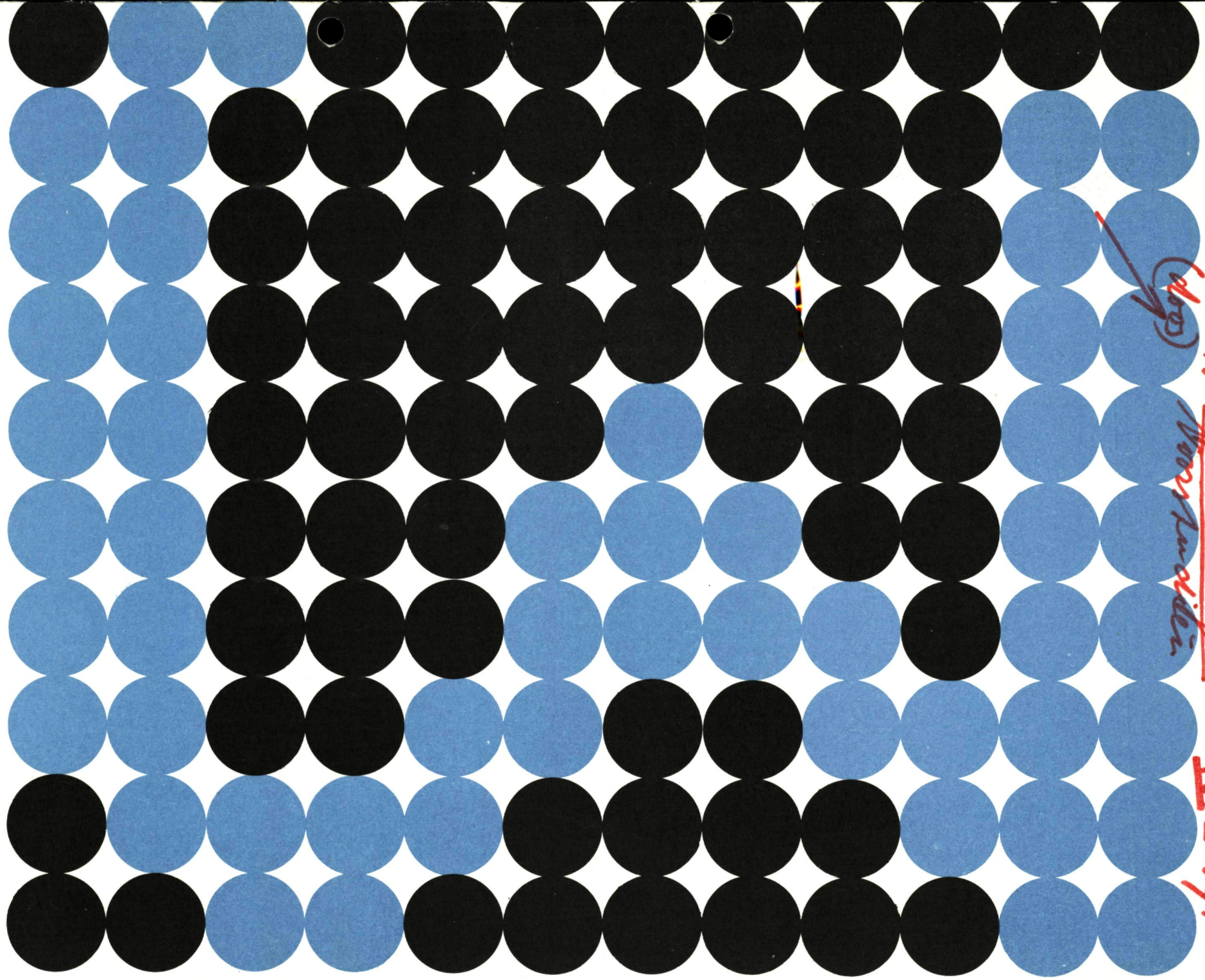
Buis

een computer-programma voor het berekenen van momenten, normaalkrachten, dwarskrachten, vervormingen en buigspanningen in ronde buizen

Ton Gelok

Cultuurtechnische Dienst

afdeling waterhuishouding



dors - 1.79 Hogeschoolbibliotheek Wageningen

IV - 59.

Beschrijving

van het computerprogramma BUIS

waarmee de momenten, normaalkrachten, dwarskrachten, buigspanningen en vervormingen van ronde buizen bij verschillende belastingsgevallen berekend kunnen worden

door

A.J. Gelok, ing.

Cultuurtechnische Dienst
Afdeling Waterhuishouding

Utrecht, januari 1973

I N H O U D

	Blz.
1. Inleiding	1
2. Omschrijving van het programma	2
2.1. Beschrijving van de belastingsgevallen	2
2.2. Berekening van de momenten, normaalkrachten, dwarskrachten en vervormingen	6
2.3. Berekening van de buigspanning	7
2.4. Berekening van het gewicht van de vloeistofvulling en het eigen gewicht	8
3. Beschrijving input	10
3.1. Voorloopkaart 0, algemene gegevens	10
3.2. Voorloopkaart 1, gegevens vervorming	12
3.3. Kaartsoort 2, gegevens te berekenen buizen	12
3.4. Sluitkaart 3	13
3.5. Kaartsoort 4, gegevens gemeten vervorming	13
3.6. Sluitkaart 5	14
4. Beschrijving output	15
4.1. Output momenten en buigspanningen	15
4.2. Output vervorming	17
4.3. Output eindblad	19
5. Computer	20
6. Assistentie	21
7. Literatuur	22

1. Inleiding

Door de Afdeling Waterhuishouding van de Cultuurtechnische Dienst is het programma BUIS ontwikkeld. Met dit programma kunnen de momenten, normaalkrachten, dwarskrachten, buigspanningen en vervormingen van ronde buizen bij vijf verschillende belastingsgevallen berekend worden. Buiten de uitwendige belasting van de buizen, kan ook de invloed van het eigen gewicht, van een eventuele vloeistofvulling en vloeistofdruk berekend worden.

Dit programma is ontwikkeld, omdat er behoefte is aan een snel toegankelijk berekeningssysteem voor ronde buizen. Vooral bij de aanleg van buisleidingen met grote diameters zijn er nogal eens moeilijkheden, die door een goed inzicht in het optredende krachtenspel opgelost kunnen worden. De Afdeling Waterhuishouding kan nu sneller en beter adviezen geven over de aanleg van buisleidingen in ruilverkavelingswerken en aan het Projectbureau Leidingstraten dan voorheen mogelijk was. Ook wordt dit programma gebruikt voor de werkzaamheden van de afdeling in de KOMO-Commissie Ongewapende Betonbuizen en in de NNI-Commissie Asbest-Cement Rioolbuizen.

Met behulp van het programma kan een relatie aangegeven worden tussen de belastingssituatie van de buis in de grond en die tijdens de beproeving op de keuringsinstallatie. Bovendien is het programma geschikt om beproevingsresultaten te verwerken van een serie tot breuk belaste buizen. Het is bijvoorbeeld mogelijk om uit de gemeten vervorming van de buis de elasticiteitsmodulus te berekenen. Daar het programma momenten, normaalkrachten, dwarskrachten en buigspanningen berekent, kan het gebruikt worden zowel voor gewapende en voorgespannen als voor ongewapende betonbuizen. Ook asbestcementbuizen en stalen buizen kunnen berekend worden.

Na een omschrijving van het programma wordt in de volgende hoofdstukken aangegeven hoe het programma bestuurd, de input verzorgd en de output geïnterpreteerd moet worden.

2. Omschrijving van het programma

2.1. Beschrijving van de belastingsgevallen

Met behulp van het programma kunnen vijf belastingsgevallen berekend worden. Per geval is de belasting in de volgende onderdelen te onderscheiden:

a. uitwendige belasting ten gevolge van grond- en verkeersbelasting of beproevingsbelasting;
b. belasting ten gevolge van het eigen gewicht van de buis;
c. belasting ten gevolge van eventuele inwendige vloeistofdruk in de buis;
d. belasting ten gevolge van eventuele vloeistofvulling in de buis.

N.B. Inwendige vloeistofdruk kan in twee delen gesplitst worden, namelijk in een alzijdige vloeistofdruk en een hydrostatische vloeistofdruk ten gevolge van het eigen gewicht. Het programma berekent dan de momenten en de buigtrekspanningen ten gevolge van de opgegeven vloeistofdruk en het eigen gewicht van de vloeistof.

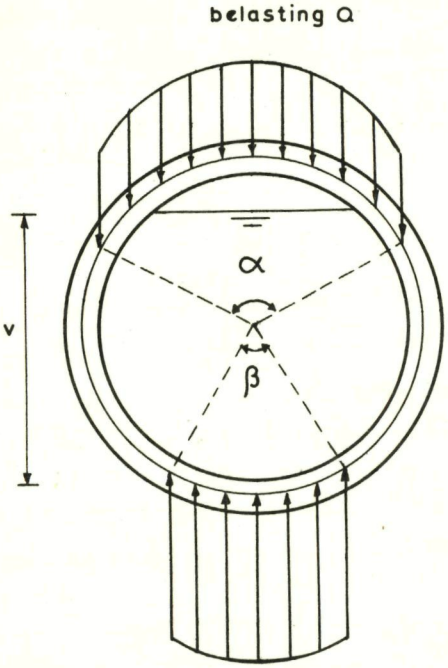
Belastingsgeval I

Belastingsgeval I (zie figuur 1) kan optreden:

a. in de grond, waarbij hoek α meestal 180° bedraagt en hoek β meestal zal variëren van $0\text{-}90^{\circ}$. Bij dit belastingsgeval wordt ervan uitgegaan dat de buis nagenoeg geen zijdelingse steundruk krijgt van de grond;
b. op de keuringsinstallatie, waarbij de buis beproefd wordt tussen twee platte vlakken. De hoeken α en β zijn dan meestal ca 10° afhankelijk van het buismateriaal en de wijze van opleggen bij de keuringsinstallatie.

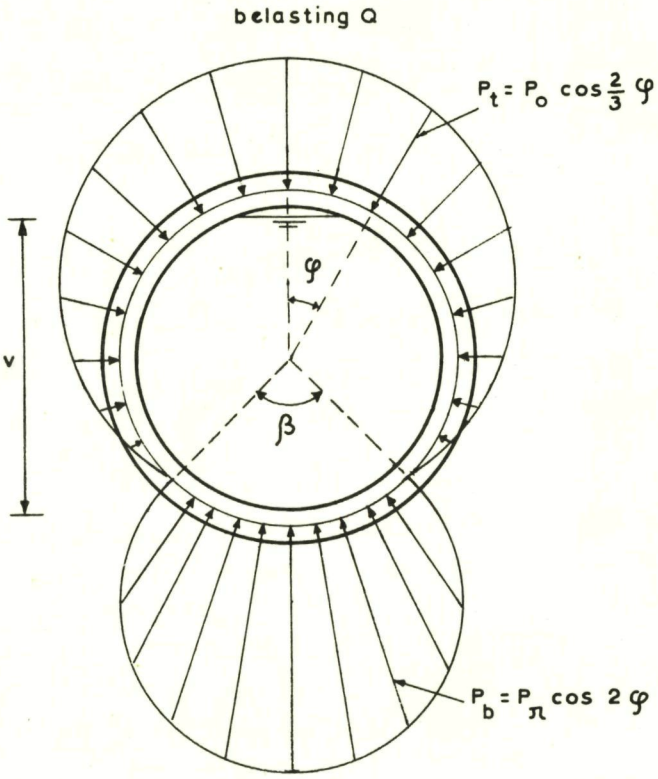
Belastingsgeval II

Belastingsgeval II (zie figuur 2) kan in de grond optreden. Hierbij wordt wel rekening gehouden met zijdelingse steundruk van de grond. Deze berekeningsmethode is ontwikkeld door Olander (9)[1] van het U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (Denver, Colorado). Aan de hand van vele proefnemingen is geconcludeerd, dat deze berekeningsmethode bij $\beta = 90^{o}$ voor vele gevallen de belastingssituatie van in de grond gelegde betonbuizen het best benaderde (4).



Geval I

figuur 1



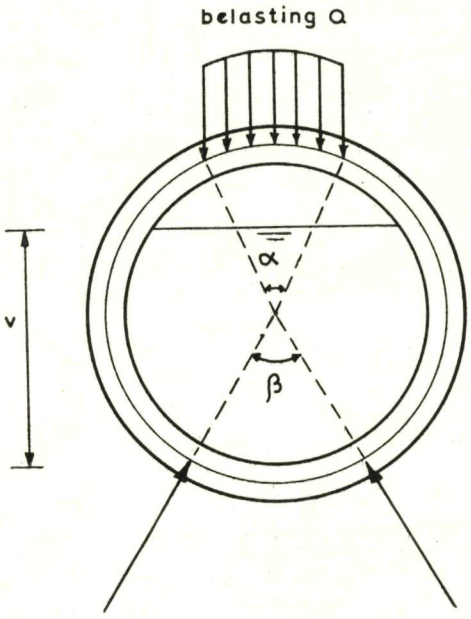
Geval II

figuur 2

[1] Dit nummer verwijst naar de literatuurlijst.

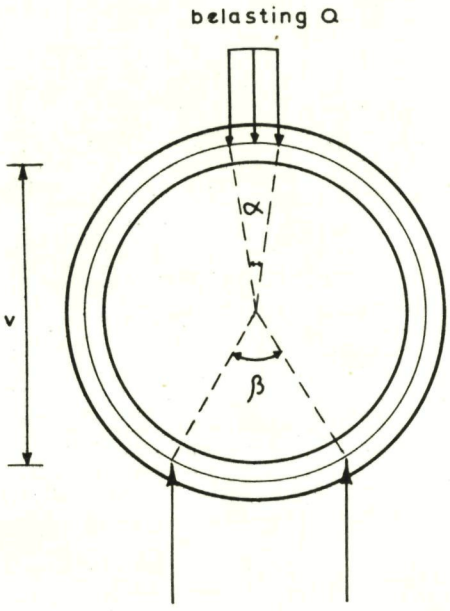
Belastingsgeval III

Belastingsgeval III (zie figuur 3) zal in het algemeen op de keurings-installatie optreden. Bij bijzondere buisvormen of oplegconstructies kan deze belastingssituatie zich ook in de grond voordoen. Bij het keuren zal de hoek α afhangen van de breedte van de drukbalk en de hoek β van de oplegconstructie voor de buis.



Geval III

figuur 3



Geval IV

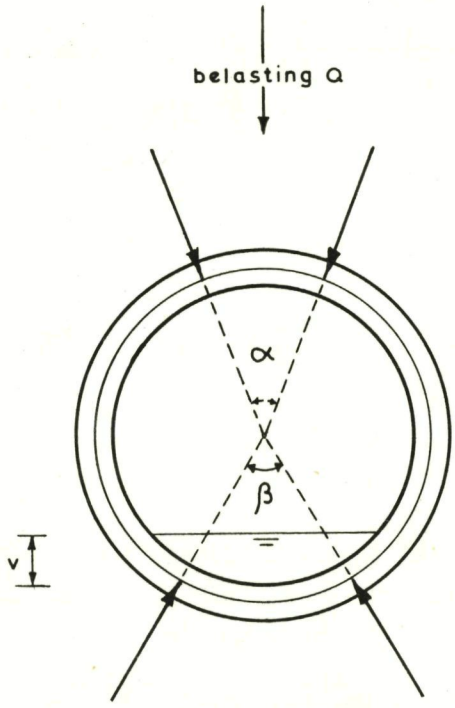
figuur 4

Belastingsgeval IV

Belastingsgeval IV (zie figuur 4) is identiek aan belastingsgeval 3, met dien verstande dat de oplegreacties verticaal in plaats van middelpunts-gericht zijn.

Belastingsgeval V

Belastingsgeval V (zie figuur 5) treedt alleen op bij de beproeving van buizen. Bij een bepaalde waarde van α en β benadert dit belastingsgeval het meest die van de buis in de grond. Bovendien wordt bij deze methode de buis op verschillende plaatsen maximaal belast in tegenstelling tot de methoden, die leiden tot de belastingsgevallen III en IV, waar maar één plaats maximaal belast wordt.



Geval V

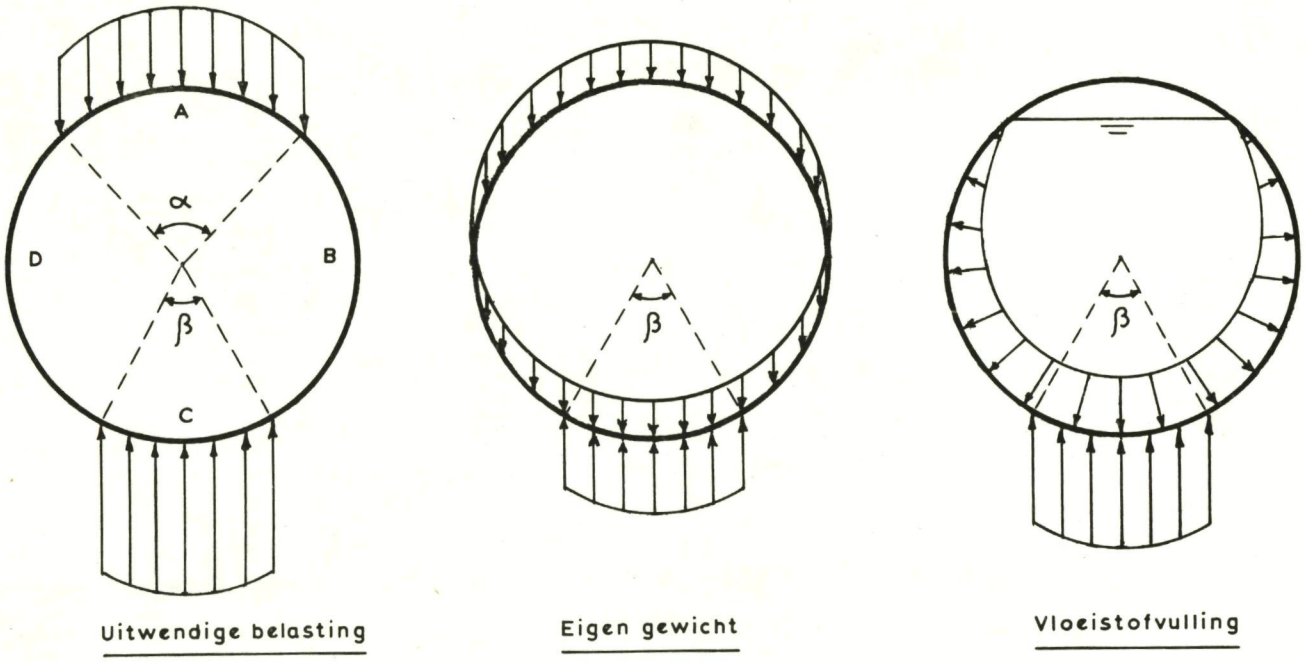
figuur 5

Voor alle belastingsgevallen geldt dat het programma bij elke waarde van α en β, op elke op te geven plaats van de buisomtrek, de momenten, de normaalkrachten, de dwarskrachten en de buigspanningen kan berekenen.

2.2. Berekening van momenten, normaalkrachten, dwarskrachten en vervormingen

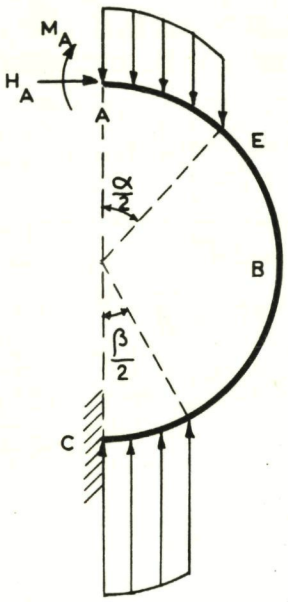
In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de berekening van de momenten, normaalkrachten, dwarskrachten en vervormingen van de buizen bij de verschillende belastingsgevallen.

Per geval kan de belasting opgebouwd zijn uit belastingen ten gevolge van uitwendige krachten, eigen gewicht, vloeistofdruk en vloeistofvulling. Voor belastingsgeval I zijn in figuur 6 de belastingssituaties weergegeven voor

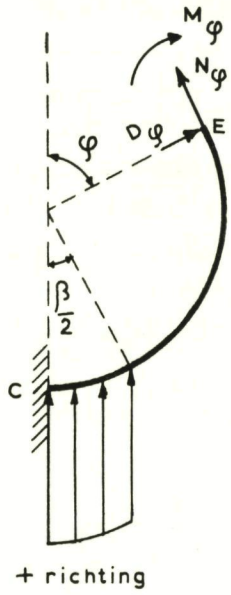


figuur 6

uitwendige belasting, eigen gewicht en vloeistofvulling. De afgeleide formules waarmee de momenten, normaalkrachten, dwarskrachten en vervormingen voor deze belastingssituaties kunnen worden berekend, staan vermeld op de bijlagen 1, 2 en 3. Deze zijn verkregen door de halve buis ABC in C ingeklemd te beschouwen (zie figuur 7).



figuur 7



figuur 8

Opgemerkt wordt nog dat de voor de berekening gebruikte straal = inwendige straal + halve wanddikte van de buis. De hoekverdraaiing en de horizontale verplaatsing in A zijn gelijk aan nul, zodat hierdoor het moment M_A en de kracht H_A in A berekend kunnen worden. Als deze bekend zijn dan kunnen op elke plaats E van de buisomtrek de normaalkracht N_Φ, de dwarskracht D_Φ en het moment M_Φ berekend worden.

In figuur 8 is de positieve richting van N_Φ, D_Φ en M_Φ aangegeven.

Verder is nog de verticale vervorming d_v en de horizontale vervorming d_h van de buis berekend. De vervorming d_v is de verticale verplaatsing van het punt A van de buis en d_h is de horizontale verplaatsing van punt B. Alleen bij de uitwendige belasting zijn de vervormingen berekend. Voor belastingsgeval II is alleen d_v berekend. Op de output wordt de gesommeerde horizontale verplaatsing van de punten B en D weergegeven.

Voor de formules van H_A, M_A, N_Φ, D_Φ, M_Φ, d_h en d_v voor de belastingsgevallen II t/m V wordt verwezen naar de bijlagen 4 t/m 13. De afleidingen van deze formules zijn beschreven in de nr. 5 d t/m h van de literatuurlijst.

De normaalkracht N die optreedt tengevolge van de eventuele vloeistofdruk wordt berekend met de formule: N = druk x inwendige straal.

2.3. Berekening van de buigspanning

Behalve de momenten, normaal- en dwarskrachten worden door het programma ook de buigspanningen berekend. Wordt voor de berekening van de buigspanning de formule

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

σ = buigspanning
M = moment ter plaatse van de breuk
W = weerstandsmoment

gebruikt, dan moet hierbij opgemerkt worden dat deze formule voor gebogen balken en dus ook voor buizen niet meer op gaat. De wiskundige C. Bach (1) heeft een bruikbare theorie ontwikkeld aan de hand waarvan de buigspanning in een buis berekend kan worden. Uit deze theorie volgt, dat de maximale buigspanning in de buiswand ter plaatse van hoek Φ (figuur 8) berekend kan worden met de formules:

binnenkant buis $$\sigma_{bi} = \frac{1}{f}\left\{ N_\Phi - \frac{M_\Phi}{r} + \frac{M_\Phi . w}{2.x.r(r-\frac{1}{2}w)} \right\}$$

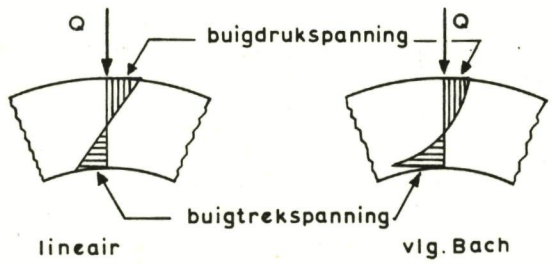
buitenkant buis $$\sigma_{bu} = \frac{1}{f}\left\{ N_\Phi - \frac{M_\Phi}{r} - \frac{M_\Phi . w}{2.x.r(r+\frac{1}{2}w)} \right\}$$

f = oppervlakte van het te beschouwen breukvlak
N_Φ = normaalkracht ter plaatse van hoek Φ
$M\Phi$ = moment ter plaatse van hoek Φ

N_Φ en M_Φ worden door het programma berekend, door de waarden van deze grootheden voor de verschillende belastingen (uitwendige belasting, eigen gewicht, vloeistofdruk en vloeistofvulling) te sommeren.

w = wanddikte
r = inwendige straal + $\frac{1}{2}$w

$$x = -1 + \frac{r}{w} \ln \frac{r+\frac{1}{2}w}{r-\frac{1}{2}w}$$



Vergelijking lineair en niet-lineair spanningsverloop in de buiswand

figuur 9

Voor de afleiding van deze formules wordt verwezen naar de nrs. 1 en 5 a en c van de literatuurlijst. In figuur 9 is schematisch het verschil aangegeven tussen de buigspanning berekend met $\sigma = \frac{M}{W}$ dus lineair verlopend en die berekend volgens Bach. Het programma berekent nu de buigspanningen volgens Bach voor de top, opzij, van onder en in een willekeurig op te geven punt van de buis. De optredende buigtrekspanningen ten gevolge van het eigen gewicht, de vloeistofdruk en de vloeistofvulling worden afzonderlijk op de "output" vermeld.

2.4. Berekening van het gewicht van de vloeistofvulling en het eigen gewicht

Het programma berekent ook nog het gewicht Q_v van de vloeistofvulling, afhankelijk van de vulhoogte en het eigen gewicht Q_{eg} van de buis. Dit gebeurt met de volgende formules:

$$Q_v = \gamma_v \left\{ r_i^2 \, \mathrm{bgtg} \frac{v-r_i}{\sqrt{2.v.r_i-v^2}} + (v-r_i)\sqrt{2.v.r_i-v^2} + \tfrac{1}{2}\pi r_i^2 \right\}$$

γ_v = soortelijk gewicht vloeistof
r_i = inwendige straal buis
v = vulhoogte van de vloeistof in de buis

$$Q_{eg} = 2\,\pi.r.w.\gamma_{eg}$$

w = wanddikte
r = $r_i + \frac{1}{2}w$
γ_{eg} = soortelijk gewicht buismateriaal

3. Beschrijving input

Om het programma te kunnen gebruiken, is het noodzakelijk, de daarvoor benodigde gegevens op enkele inputformulieren in te vullen. Deze gegevens worden in ponskaarten geponst en kunnen zo door de computer verwerkt worden. De te gebruiken ponskaarten worden onderscheiden in:

a. een voorloopkaart 0, waarop algemene informatie staat voor de besturing van het programma (bijlage 14);
b. een voorloopkaart 1, waarop informatie staat voor de berekening van de vervorming van de buizen (bijlage 14);
c. kaartsoort 2, waarop de gegevens staan van de te berekenen buizen (bijlage 16);
d. sluitkaart 3, die de computer meedeelt, dat alle gegevens van de buizen zijn ingelezen (bijlage 14);
e. kaartsoort 4, waarop de gegevens van de eventueel gemeten vervorming van de buizen staan (bijlage 17);
f. sluitkaart 5, die de computer meedeelt, dat alle gegevens van de gemeten vervorming zijn ingelezen (bijlage 14).

Het invullen van de inputformulieren wordt hierna besproken.

3.1. Voorloopkaart 0, algemene gegevens (bijlagen 14 en 15)

Kolomnummer[1]

1. Het ingevulde getal in deze kolom is een controle op het op het juiste moment inlezen van de juiste kaart.
2. Het projectnummer mag ieder getal zijn.
5. Hier kan de datum of andere informatie ingevuld worden, die rechts boven op elke pagina van de output afgedrukt wordt. Voor elke letter of cijfer moet één kolom gebruikt worden.
25. Hier kan door middel van een cijfer aangegeven worden welk belastingsgeval berekend moet worden (zie 2.1 en bijlage 15):

    geval I = 1
    geval II = 2
    geval III = 3
    geval IV = 4
    geval V = 5 invullen.

26. Het programma kan de in kaartsoort 2 ingevulde wanddikte van een buis stapsgewijze verhogen tot een opgegeven grootste wanddikte. Bij elke stap worden dan de momenten en buigspanningen van de buis berekend. Op deze manier kan de wanddikte van een buis in een gegeven belastingssituatie bepaald worden. In dit veld kan de stapgrootte ingevuld worden.
29. De grootste wanddikte kan hier ingevuld worden. Wordt van de vermeerdering van de wanddikte geen gebruik gemaakt, dan in veld 26-32 niets invullen.
33. De oplegbreedten a en b kunnen in mm of de hoeken α en β in graden opgegeven worden (bijlage 15). Ook kan bijvoorbeeld a in mm en β in graden ingevuld worden.
    In deze kolom moet een 1 ingevuld worden, indien op kaartsoort 2 de oplegbreedte a in mm wordt ingevuld. Wordt niet a in mm maar α in graden opgegeven, dan niets invullen.

[1] Het kolomnummer geeft het eerste nummer aan van een veld op het formulier.

34. Het programma kan de in kaartsoort 2 opgegeven breedte a of hoek α stapsgewijze verhogen tot een grootste breedte of hoek. Bij elke stap worden dan de momenten en buigspanningen van de buis berekend. Op deze manier kan de invloed van breedte a of hoek α op de momenten en buigspanningen snel worden nagegaan. Hier kan de stapgrootte ingevuld worden.
36. De grootste breedte a of hoek α kan hier ingevuld worden. Wordt van de vermeerdering van a of α geen gebruik gemaakt,dan in veld 34-39 niets invullen.
40. Als 33 maar dan voor b en β.
41. Als 34 maar dan voor b en β.
43. Als 37 maar dan voor b en β.
Wordt van de vermeerdering van b of β geen gebruik gemaakt, dan in veld 41-46 niets invullen.
47. Hier kan de meest voorkomende waarde van a of α ingevuld worden, zodat deze dan niet meer op kaartsoort 2 ingevuld behoeft te worden. Wordt niets ingevuld dan neemt het programma aan dat a of $\alpha = 10^{-8}$ is. De exacte waarde 0 geeft problemen bij de berekeningsprocedure.
51. Als 47 maar dan voor b en β.
55. Het programma rekent op een willekeurig op te geven plaats van de buisomtrek de momenten en buigspanningen uit. Deze willekeurige plaats kan aangegeven worden door de afstand e in mm of hoek Φ in graden (bijlage 15). Wordt e in mm opgegeven dan hier een 1 invullen, wordt Φ in graden opgegeven dan niets invullen.
56. Het programma kan de in kaartsoort 2 opgegeven waarde voor e of Φ stapsgewijze verhogen tot een opgegeven grootste afstand e of hoek Φ. Bij elke stap worden dan de momenten en buigspanningen van de buis berekend. Op deze manier wordt een inzicht verkregen in de verdeling van de spanningen langs de buisomtrek. Hier kan de stapgrootte ingevuld worden.
59. De grootste afstand e of hoek Φ kan hier ingevuld worden. Wordt geen gebruik gemaakt van de vermeerdering van e of Φ, dan in veld 56-62 niets invullen.
63. Hier een 1 invullen, indien de invloed van het eigen gewicht meegenomen moet worden in de berekening, anders niets invullen.
64. Is in veld 63 een 1 ingevuld, dan hier het soortelijk gewicht in kN/m3 (ca 100 kgf/m3) van het buismateriaal invullen.
69. Het programma kan de invloed van vloeistofvulling op de momenten en spanningen van de buis berekenen. Indien deze invloed berekend moet worden, dan moet hier het soortelijk gewicht van de vloeistof in kN/m3 ingevuld worden.
74. Moet de invloed van vloeistofdruk berekend worden, dan kan hier de meest voorkomende druk in N/mm2 (ca 0,1 kgf/cm2) ingevuld worden. Deze hoeft dan niet meer in kaartsoort 2 vermeld te worden.
77. Indien de meeste buizen, vermeld op kaartsoort 2, berekend moeten worden als zijnde geheel gevuld met vloeistof, dan hier een 1, anders niets invullen. Behoeft de invloed van vloeistofvulling en -druk niet berekend te worden, dan in veld 69-77 niets invullen.
78. Door hier een 1 in te vullen krijgt men een outputblad met algemene informatie, dat voor een eventuele administratie van de berekeningen gebruikt kan worden (punt 4.3 en bijlage 22).
79. Wordt hier een 1 ingevuld, dan geeft het programma behalve de normale output ook nog detailinformatie, die van belang is voor het testen van het programma.
80. Hier moet een 1 ingevuld worden, indien het programma gebruikt wordt via de terminal van de Cultuurtechnische Dienst. Derden kunnen ook gebruik maken van het programma in "use only mode". In dit geval moet hier niets ingevuld worden.

3.2. Voorloopkaart 1, gegevens vervorming (bijlagen 14 en 15)

Kolomnummer

1. Als 1 bij voorloopkaart 0.
2. Hier moet hetzelfde projectnummer ingevuld worden als bij voorloopkaart 0. Zijn beide nummers niet gelijk aan elkaar, dan stopt het programma de berekening.
5. Hier kan de naam van het project vermeld worden. Voor elke letter of cijfer één kolom gebruiken.
35. Indien de vervorming van de buizen berekend moet worden, dan hier een 1, anders niets invullen.
36. Indien de vervorming van de buizen gemeten is, dan hier een 1, anders niets invullen.
37. Is in kolom 35 een 1 ingevuld, dan moet hier een elasticiteitsmodulus in N/mm2 van het buismateriaal vermeld worden. Deze E-modulus is nodig om de vervorming te kunnen berekenen.
44. Als 37. Wordt de E-modulus, ingevuld in veld 37-43, als voldoende beschouwd, dan hier niets invullen.
51. Als 44.
58. Als 44.
Het programma kan dus bij vier verschillende E-moduli de vervormingen berekenen.
65. Is in kolom 35 een 1 en in kolom 36 niets ingevuld, dan moet hier de beginwaarde van de belasting in kN/m (ca 100 kgf/m) ingevuld worden, waarbij het programma de vervorming van de buis moet berekenen. Is niets ingevuld, dan wordt de beginwaarde automatisch op 10 kN/m gesteld.
70. Hier moet de stapgrootte in kN/m, waarmee de belasting verhoogd wordt voor de berekening van de vervorming, ingevuld worden. Het programma berekent nu bij elke stap de vervorming van de buis. De in kolom 65 ingevulde beginwaarde wordt nu met de stapgrootte verhoogd tot de belasting, die in kaartsoort 2 is ingevuld. Is niets ingevuld, dan wordt de stapgrootte automatisch 10 kN/m.

3.3. Kaartsoort 2, gegevens te berekenen buizen (bijlagen 15 en 16)

kolomnummer

1. Als 1 bij voorloopkaart 0.
2. Nummer van te berekenen buis. Bij het rekenen met gemeten vervormingen moet dit nummer ingevuld worden. In de andere gevallen is dit niet per sé noodzakelijk.
5. Inwendige diameter van de buis in mm.
10. Wanddikte van de buis in mm.
14. De breedte van a in mm of hoek α (bijlage 15) in graden. Alleen invullen indien a of α afwijken van de waarde hiervoor ingevuld in veld 47-50 in voorloopkaart 0.
18. De breedte van b in mm of hoek β in graden. Alleen invullen indien b of β afwijken van de waarde hiervoor ingevuld in veld 51-54 in voorloopkaart 0. In het programma is een bewaking ingebouwd voor de waarden van a, α, b en β Is a of b $<$ 0,01 dan wordt a = b = 10^{-8}. De exacte waarde 0 zou problemen

geven bij het gebruik van de afgeleide formules.
Is a of b > diameter d + wanddikte w, dan wordt a = b = d + w.
Is α of β < 0,01, dan wordt $\alpha = \beta = 10^{-8}$.
Is α of β > 180, dan wordt automatisch $\alpha = \beta = 180^{o}$.

22. De uitwendige belasting Q in kN/m.
27. Moet de buis berekend worden op inwendige vloeistofdruk, dan deze hier in N/mm2 (ca 0,1 kgf/cm2) invullen, anders niets invullen.
Is de vloeistofdruk identiek aan die vermeld in veld 74-76 van voorloopkaart 0, dan behoeft hier niets ingevuld te worden.
30. Is de te berekenen buis met vloeistof gevuld, dan kan hier de hoogte v in mm van de vloeistofvulling (zie bijlage 15) ingevuld worden. Als de buis als geheel gevuld berekend moet worden en in voorloopkaart 0 in veld 77 een 1 is ingevuld, dan hoeft hier niets ingevuld te worden. Het programma neemt nu automatisch de inwendige diameter van de buis als vulhoogte.
38. Hier kan de waarde van e in mm of van Φ in graden ingevuld worden, afhankelijk van wat in veld 55 van voorloopkaart 0 is ingevuld. Wordt hier niets ingevuld, dan berekent het programma automatisch het moment en de buigtrekspanningen op die plaats van de buis, waar deze maximaal zijn.
43. Bij het beproeven van buizen onder de pers komt het nogal eens voor, dat ter plaatse van de optredende breuk de wanddikte afwijkt van de gemiddelde wanddikte. Deze wanddikte kan dan hier ingevuld worden, zodat het programma hiermee ter plaatse van de in veld 38-42 opgegeven breukplaats de buigspanning kan berekenen. Wordt niets ingevuld, dan wordt de wanddikte ingevuld in veld 10 t/m 13, automatisch door het programma aangehouden.

3.4. Sluitkaart 3 (bijlage 14)

Kolomnummer

1. Het ingevulde getal in deze kolom is een controle op het op het juiste moment inlezen van de juiste kaart. De overige kolommen moeten niet worden ingevuld.
Na het lezen van sluitkaart 3 weet het programma dat alle gegevens van de te berekenen buizen zijn ingelezen en kan de berekening van de momenten en buigspanningen beginnen. Moeten van de buizen gemeten vervormingen in de berekening verwerkt worden, dan moeten na sluitkaart 3 nog de kaartsoorten 4 en 5 toegevoegd worden. Is dit niet het geval, dan kan na sluitkaart 3 weer opnieuw met voorloopkaart 0 aan een volgend berekeningsgeval begonnen worden.

3.5. Kaartsoort 4, gegevens gemeten vervorming (bijlage 17)

Kolomnummer

1. Als 1 bij voorloopkaart 0.
2. Hier moet het buisnummer ingevuld worden, wat correspondeert met het nummer van veld 2-4 van kaartsoort 2, van de buizen waar de vervorming van gemeten is.
5. De belasting in kN/m', waarbij de vervorming gemeten is.
10. De gemeten verticale vervorming in mm, die bij de in veld 5-9 ingevulde belasting hoort.

14. De verticale vervorming kan bij verschillende belastingsstappen gemeten zijn. Hier kan de volgende belastingsstap ingevuld worden.
19. Als 10 behorend bij veld 14-18.
23. Als 14.
28. Als 10 behorend bij veld 23-27.
32. Als 14.
37. Als 10 behorend bij veld 32-36.
41. Als 14.
46. Als 10 behorend bij veld 41-45.
50. Als 14.
55. Als 10 behorend bij veld 50-54.
59. Als 14.
64. Als 10 behorend bij veld 59-63.
68. Als 14.
73. Als 10 behorend bij veld 68-72.

Zijn er bij het meten van de verticale vervorming bij een buis meer belastingsstappen dan op één regel van het inputformulier ingevuld kan worden, dan kan op de volgende regel verder gegaan worden. Hierbij moet wel het buisnummer herhaald worden.

3.6. Sluitkaart 5 (bijlage 14)

Kolomnummer

1. Als 1 bij sluitkaart 3.

Na het lezen van sluitkaart 5 weet het programma dat de gegevens van de gemeten vervorming gelezen en in de berekening verwerkt zijn, zodat eventueel met een volgend berekeningsgeval begonnen kan worden. Achter sluitkaart 5 kan dan met kaartsoort 0 verder gegaan worden.

N.B. Voor alle inputformulieren geldt, dat het aan te bevelen is om het cijfermateriaal rechts van het veld in te vullen. Indien van een - teken gebruik gemaakt wordt, dan dient dit direct voor het getal te staan, waarbij het een volledige positie op het inputformulier inneemt. Bij gebruik van gebroken getallen moet de komma aangegeven worden door een punt, waarbij deze een volledige positie op het inputformulier inneemt. De waarde "nul" behoeft op het inputformulier niet aangegeven te worden. Is namelijk een veld geheel blanco, dan geeft het programma dit veld automatisch de waarde "nul".

4. Beschrijving output

De uitkomst van het programma ofwel de output wordt door middel van een regeldrukker door de computer op papier afgedrukt. Behoeft geen vervorming van de buizen berekend te worden dan bestaat de output alleen uit gegevens over de momenten, normaalkrachten, dwarskrachten en buigspanningen. Bij berekening van de vervorming worden apart nog gegevens vermeld over de vervormingen, elasticiteitsmoduli en wanddikten.

Aan de hand van enkele voorbeelden zal de output nader toegelicht worden (bijlagen 18 t/m 22).

4.1. Output momenten en buigspanningen (bijlagen 18 t/m 21)

Op bijlage 18 (bovenste gedeelte) is een voorbeeld van een output weergegeven, waarvan de input op de bijlagen 14 en 16 is weergegeven. In dit voorbeeld zijn de momenten en spanningen berekend van de ongewapende betonnen mof- en spiebuizen op de beproevingsinstallatie. De buizen zijn van boven door middel van een 100 mm brede drukbalk belast en ondersteund door twee middelpuntsgerichte krachten onder een hoek β van 30°.

Op de output wordt midden op de bladzijde een bladnummer en rechtsboven de informatie afgedrukt, die in voorloopkaart 0 in veld 5-24 is ingevuld. Dan volgt in de eerste regel informatie over wat er is berekend. In de tweede regel wordt het belastingsgeval, waarvoor de berekening is uitgevoerd vermeld. De derde regel geeft het soortelijk gewicht van het buismateriaal en de vloeistof weer. Is het eerste nul dan wil dit zeggen, dat de invloed van het eigen gewicht van de buis niet berekend is, is het tweede nul dan is er geen rekening gehouden met vloeistofvulling. Hierna wordt vermeld, dat de buigtrekspanning met een + en de buigdrukspanning met een - teken wordt aangegeven. Dan volgt een regel met vergelijkingen tussen de verschillende eenhedenstelsels.

De volgende regel geeft de in veld 5-34 van kaartsoort 1 ingevulde projectnaam weer en het projectnummer. Dan worden in 23 kolommen de verdere gegevens vermeld, die hieronder nader omschreven zullen worden.

Kolomnummer

1. Buisnummer.
2. Inwendige diameter van de buis in mm.
3. Wanddikte in mm.
4. Oplegbreedte a in mm of hoek α in graden.
   Bij belastingsgeval II wordt hier niets afgedrukt.
5. Oplegbreedte b in mm of hoek β in graden.
6. Uitwendige belasting in kN/m' (ca 100 kgf/m').
7. Buigtrekspanning in N/mm2 boven in de buis ($\Phi = 0^{o}$).
   Door het programma worden de buigspanningen ter plaatse van hoek Φ, zowel aan de binnenkant als aan de buitenkant van de buis berekend. Automatisch drukt het programma hier nu de buigtrekspanning af. Deze zal voor $\Phi = 0^{o}$ over het algemeen aan de binnenkant van de buis optreden.
8. Buigtrekspanning in N/mm2 opzij in de buis ($\Phi = 90^{o}$).
   Over het algemeen zal bij $\Phi = 90^{o}$ de hiervermelde buigtrekspanning aan de buitenkant van de buis optreden.
9. Buigtrekspanning in N/mm2 onder in de buis ($\Phi = 180^{o}$).
   Bij $\Phi = 180^{o}$ zal de hiervermelde buigtrekspanning meestal aan de binnenkant van de buis optreden.

10. De hoek Φ in graden, die de plaats in de buiswand aangeeft, waar de berekende gegevens in de kolommen 11 t/m 19 bijhoren. Is hoek Φ niet in kaartsoort 2 opgegeven, dan geeft Φ de plaats in de buiswand aan waar de buigtrekspanning maximaal is.
11. Wanddikte in mm, die ingevuld is in veld 43-47 van kaartsoort 2.
12. Moment M_Φ in kN.m/m' buis.
13. Normaalkracht N_Φ in kN/m' buis.
14. Dwarskracht D_Φ in kN/m' buis.
    Zijn de waarden voor M_Φ, N_Φ en D_Φ positief, dan treden deze op in de richting zoals in figuur 8 staat aangegeven. Bij negatieve waarden is de richting tegengesteld.
15. Buigspanning aan de binnenkant van de buis σ_{bi} in N/mm2.
16. Buigspanning aan de buitenkant van de buis σ_{bu} in N/mm2.
    Is de waarde voor σ_{bi} of σ_{bu} positief dan staat hier buigtrekspanning.
    Bij negatieve waarde voor σ_{bi} of σ_{bu} is hier buigdrukspanning weergegeven.
    De buigspanningen σ_{bi} en σ_{bu} geven de totale buigspanning weer, dat wil zeggen die tengevolge van uitwendige belasting, eigen gewicht, vloeistofdruk en vloeistofvulling.
17. De buigtrekspanning in N/mm2 ten gevolge van het eigen gewicht.
    Staat hier een 0 dan is het eigen gewicht niet in de berekening betrokken.
18. Als 17 maar dan voor vloeistofdruk.
19. Als 17 maar dan voor vloeistofvulling.
20. De vloeistofdruk in N/mm2, zoals die op kaartsoort 0 of 2 is ingevuld. In kolom 18 staat de hierdoor veroorzaakte buigtrekspanning vermeld.
21. De vulhoogte in mm van de vloeistof in de buis, zoals deze op kaartsoort 0 of 2 is ingevuld. De hierbij behorende buigtrekspanning staat in kolom 19 vermeld.
22. Het gewicht van de hoeveelheid vloeistof, met de in kolom 21 vermelde vulhoogte, in de buis in kN/m'.
23. Het eigen gewicht van de buis in kN/m'.

Om de mogelijkheden van het programma nog wat nader toe te lichten, zijn op de bijlagen 18 t/m 22 verschillende voorbeelden gegeven van belastingsgevallen die met het programma berekend kunnen worden.

Op bijlage 18 (onderste gedeelte) zijn de betonbuizen in de grond volgens de methode van Olander berekend met een opleghoek $\beta = 90^\circ$. De buizen zijn geheel gevuld met water berekend. Ook is de invloed van het eigen gewicht meegenomen in de berekening. Uit de bovenste berekening blijkt dat de buizen bij het beproeven een buigtrekspanning van ca 6,0 N/mm2 kunnen opnemen. Wordt bij het in de grond leggen een veiligheid van 1,5 aangenomen, dan mag de buigtrekspanning in deze situatie niet meer bedragen dan ca 4,0 N/mm2. Uit de onderste berekening blijkt nu bij welke belastingen buigtrekspanningen optreden van 4,0 N/mm2. Door de bovenste en de onderste berekening met elkaar te vergelijken, kan er dus een inzicht verkregen worden in de relatie tussen de belastingssituatie op de beproevingsinstallatie en die in de grond.

Op bijlage 19 (bovenste gedeelte) is een in de grond gelegde asbestcementbuis Ø 1500 berekend volgens de methode van Olander met een opleghoek $\beta = 90^\circ$.

De uitwendige belasting is gesteld op 150 kN/m', de waterdruk bedraagt 0,5 N/mm2, de buis is geheel gevuld met water en de invloed van het eigen gewicht wordt mede in de berekening betrokken. De maximum optredende buigtrekspanning mag 30 N/mm2 zijn. Gevraagd wordt de wanddikte. In voorloopkaart 0 wordt in veld 26-28 een stapgrootte van 2 mm en in veld 29-32 een grootste wanddikte van 68 mm ingevuld. Het programma berekent dan uitgaande van de wanddikte van 60 mm, ingevuld in kaartsoort 2, bij elke wanddiktevermeerdering met 2 mm de buigtrekspanning. Uit bijlage 19 blijkt dat een wanddikte van 66 mm aan de gestelde vraag voldoet.

Op het middelste gedeelte van bijlage 19 staat nog een voorbeeld van een wanddikteberekening van een stalen buis Ø 1000. De uitwendige belasting is gesteld op 100 kN/m en de vloeistofdruk op 3 N/mm2. De optredende buigtrekspanning mag niet groter zijn dan 200 N/mm2. Uit de berekening blijkt dat een wanddikte van 24 mm nagenoeg aan de gestelde eisen voldoet.

Op het onderste gedeelte van bijlage 19 is een voorbeeld gegeven van de berekening van een buis, waarbij de drukbalkbreedte a stapsgewijze is vergroot. Hiervoor is in voorloopkaart 0 in veld 34-35 een stapgrootte van 50 mm en in veld 36-39 een grootste breedte van 200 mm ingevuld. Uit de output is nu gemakkelijk af te lezen welke invloed de drukbalkbreedte heeft op de buigtrekspanning.

Het bovenste gedeelte van bijlage 20 geeft een indruk van de invloed van opleghoek β op de buigtrekspanning van een in de grond gelegde buis. In voorloopkaart 0 is hiervoor in veld 41-42 een stapgrootte van 15° en in veld 43-46 een grootste hoek van 90° opgegeven.

Op bijlage 20 (onderste gedeelte) wordt nog een voorbeeld gegeven van de berekening van de buigspanningen langs de gehele buisomtrek. De hoek Φ loopt van 0° tot 180°. Hiertoe is in voorloopkaart 0 in veld 56-58 een stapgrootte van 10° en in veld 59-62 een grootste hoek van 180° ingevuld. In kaartsoort 2 is in veld 38-42 een hoek van $0{,}01^{\circ}$. Zou hier nul ingevuld worden dan berekent het programma die hoek Φ, waarbij de buigtrekspanning maximaal is. Deze hoek wordt dan als uitgangspunt genomen voor de berekening van de buigspanningen langs de gehele buisomtrek en hoeft dan niet gelijk aan 0 te zijn.

Het bovenste deel van bijlage 21 geeft de berekening van de buigspanningen aan bij een buis, waarvan in kaartsoort 2 de verschillende hoeken Φ zijn opgegeven.

Uit de bovenbeschreven voorbeelden wordt een indruk verkregen over de diverse mogelijkheden die het gebruik van het programma biedt. In de volgende paragraaf zal de output van de berekening van de vervorming besproken worden.

4.2. Output vervorming (bijlagen 21 en 22)

Op bijlage 21 (onderste gedeelte) is een voorbeeld gegeven van de output van de berekende vervorming, indien geen vervorming gemeten is. In dit voorbeeld is van een in de grond gelegde ongewapende betonbuis Ø 1500 de vervorming berekend volgens belastingsgeval I, waarbij hoek $\alpha = 180^{\circ}$ en $\beta = 90^{\circ}$. De vervorming moet met belastingsstappen van 10 kN bij elasticiteitsmoduli van 40.000, 42.500 en 45.000 N/mm2 berekend worden. Op kaartsoort 1 is hiertoe in veld 35 een 1, in veld 37-43 de elasticiteitsmodulus 40.000, in veld 44-50 de E-modulus 42.500, in veld 51-57 de E-modulus 45.000, in veld 65-69 de beginwaarde 10 en in veld 70-74 de stapgrootte 10 ingevuld. Zoals uit bijlage 21 blijkt is de output in eerste instantie identiek aan die beschreven onder punt 4.1, hierna volgt de output voor de vervorming.

Kolomnummer

1. De belasting in kN/m, waarbij de vervorming berekend is. In dit voorbeeld loopt de belasting van 10 kN (dit is de beginwaarde die op voorloopkaart 1 in veld 65-69 ingevuld is) met stappen van 10 kN (ingevuld in veld 70-74 in voorloopkaart 1) tot aan de belasting van 100 kN/m (ingevuld op kaartsoort 2 veld 22-26).
   In de kolommen 2 t/m 9 kunnen de verticale en horizontale vervorming van de buis bij vier verschillende, in voorloopkaart 1 opgegeven, elasticiteitsmoduli weergegeven worden.
2. De verticale vervorming van de buis in mm, behorend bij de op de voorloopkaart 1 in veld 37-43 ingevulde elasticiteitsmodulus.
3. De horizontale vervorming van de buis in mm, behorende bij de onder kolomnummer 2 genoemde elasticiteitsmodulus.
   Het - teken voor de vervorming geeft aan dat de buis naar het middelpunt van de buis toe vervormt, terwijl het + teken aangeeft dat de vervorming van het middelpunt af geschiedt.
4. Als 2, maar dan behorend bij de elasticiteitsmodulus ingevuld in veld 44-50.
5. Als 3, maar dan behorend bij 4.
6. Als 2, maar dan behorend bij de elasticiteitsmodulus ingevuld in veld 51-57.
7. Als 3, maar dan behorend bij 6.
8. Als 2, maar dan behorend bij de elasticiteitsmodulus ingevuld in veld 58-64.
9. Als 3, maar dan behorend bij 8.

Het berekenen van de vervorming kan van belang zijn om een indruk te krijgen van de verplaatsingen van de buis in de grond. Hierdoor kan soms een beter inzicht verkregen worden van de verdeling van gronddruk rondom tegen de buis. Vooral voor asbestcementbuizen, waar de vervorming speciaal bij grote buizen op kan lopen tot enkele tientallen mm, kan dit van belang zijn. Om daarnaast een indruk te krijgen van de optredende elasticiteitsmoduli bij de verschillende buismaterialen kunnen deze met behulp van het programma door verwerking van gemeten vervormingen verkregen worden. Deze vervormingen worden meestal gemeten bij het keuren van de buizen op de beproevingsinstallatie. Een voorbeeld van de output van deze berekening is weergegeven op bijlage 22. Hier is een asbestcementbuis Ø 1200 berekend volgens belastingsgeval 5, terwijl de hoeken α en β 45° zijn. De gemeten verticale vervorming met de daarbij behorende belastingen zijn in kaartsoort 4 op bijlage 17 ingevuld.

Uit bijlage 22 blijkt dat de output bij gemeten vervorming in principe gelijk is aan die, waarbij de vervorming niet gemeten en toch berekend moet worden. Wat in de kolommen 1 t/m 9 staat, is reeds hierboven beschreven. Opgemerkt wordt nog dat de belastingen in kolom 1 dezelfde zijn als die ingevuld zijn op kaartsoort 4. In de kolommen 10 t/m 13 zijn uitgaande van de gemeten vervormingen en de opgegeven elasticiteitsmoduli de daarbij behorende berekende wanddikten weergegeven. De wanddikte langs de buisomtrek is in de praktijk nooit gelijk, maar kan nogal afwijkingen vertonen ten opzichte van de gemiddelde wanddikte. Bij een betonbuis Ø 800 met een wanddikte van 100 mm kan het verschil tussen de maximum en minimum gemeten wanddikte ca 10 mm bedragen. Bij een asbestcementbuis Ø 1500 met een wanddikte van 60 mm kan dit verschil ca 2 mm zijn. Om een indruk te krijgen van de invloed van de wanddikte op de vervorming is deze berekening uitgevoerd.

Kolomnummer

10. Berekende wanddikte in mm, behorend bij de op voorloopkaart 1 in veld 37-43 ingevulde elasticiteitsmodulus.
11. Als 10, maar behorend bij de E-modulus van veld 44-50.
12. Als 10, maar behorend bij de E-modulus van veld 51-57.
13. Als 10, maar behorend bij de E-modulus van veld 58-64.
14. De gemeten verticale vervorming in mm, zoals deze in kaartsoort 4 is ingevuld.
15. De berekende elasticiteitsmodulus in N/mm2, behorende bij de in kolom 1 vermelde belasting en de in kolom 14 vermelde gemeten vervorming.

Uit de berekende elasticiteitsmoduli wordt een indruk verkregen tot welke orde van grootte de elasticiteitsmodulus van de buis behoort.

4.3. Output eindblad (bijlage 22)

Is in veld 78 van voorloopkaart 0 een 1 ingevuld dan wordt door het programma aan het eind van de berekening op een apart blad algemene informatie over de berekening afgedrukt. Onder op bijlage 22 is een voorbeeld van deze output weergegeven. Dit outputblad kan voor de administratie van de uitgevoerde berekeningen gebruikt worden.

5. Computer

Het programma is geschreven in ALGOL 60. Gebruik wordt gemaakt van een Control Data 6600-computer. Via een Marc II-terminal of rechtstreeks is het programma op deze computer te gebruiken. Voor het programma is een zodanige geheugenruimte van de computer gereserveerd dat 200 buizen maximaal in één groep berekend kunnen worden.

Wat het gebruik van het programma betreft, wordt voor de besturing van het systeem verwezen naar bijlage 23, waarop de volgorde van de besturings- en inputkaarten zijn weergegeven. Het programma staat vertaald in zogenaamde "object-code" op een magneetband. Deze tape bevindt zich bij de Control Data 6600 in Rijswijk. Via een terminal en met behulp van de besturingskaarten is het programma vanaf deze tape te gebruiken. Het programma is ook voor derden in "use only mode" beschikbaar.

6. Assistentie

Bij het invullen van de inputformulieren en de interpretatie van de uitkomst van de berekening kan assistentie gevraagd worden van de Afdeling Waterhuishouding van de Cultuurtechnische Dienst te Utrecht.

7. Literatuur

1. BACH, C. - Elastizität und Festigkeit, Berlin, 1920

2. BELOW, KURT - Betonrohre nach dem Entwurf zur Neubearbeitung von DIN 4032. Gwf-wasser/abwasser 111 (1970) H.11

3. BUJARD, W. und KITTEL, D. - Rohre aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Betonstein-Zeitung, Heft 5/1969

4. BURTON, L.H. and NELSON, D.F. - Study of earth pressures on rigid pipe. Report No. C.B.-3. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. Denver, Colorado, 1967

5. GELOK, A.J. -

   a. Voorstellen tot nieuwe keuringseisen voor ongewapende ronde betonbuizen. Rapport van de Cultuurtechnische Dienst, 1967.
   b. Grafieken voor het bepalen van de momenten in ronde betonbuizen. Polytechnisch Tijdschrift, nr. 16/1968.
   c. Berekening van de maximale buigtrekspanning in "voetbuizen" tijdens beproeving. Polytechnisch Tijdschrift, nr. 1/1970.
   d. Berekening momenten, vervorming, normaalkrachten en dwarskrachten in gelijkmatig belaste en ondersteunde ronde buis, ten gevolge van uitwendige belasting, eigen gewicht en vloeistofvulling.
   e. Als d, maar dan voor de methode volgens Olander.
   f. Als d, maar dan gelijkmatig belast en door twee middelpuntsgerichte krachten ondersteund.
   g. Als d, maar dan gelijkmatig belast en door twee verticale krachten ondersteund.
   h. Als d, maar dan belast door twee middelpuntsgerichte krachten en door twee middelpuntsgerichte krachten ondersteund.

   De rapporten d t/m h zijn uitgaven van de Cultuurtechnische Dienst, 1973.

6. KADNER, W. - Beitrag zur statischen Berechnung von kreisrunden Kanalisationsrohren. Gwf-wasser/abwasser 111 (1970) H.5

7. KITTEL, D. - Betonrohrleitungen für höhere Beanspruchungen. Beton Jahrbuch 1966

8. KITTEL, D. - Neubearbeitung DIN 4032 - Betonrohre und -formstücke. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 1/1972

9. OLANDER, H.C. - Stress Analysis of Concrete Pipe. Engineering Monograph no. 6, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 1950

10. ROSKE, K. - Betonrohr-Taschenbuch 1956, Betonrohre nach DIN 4032, 1961

11. WAGENMAKER, F. - Nieuwe berekeningsmethode asbestcementpersleidingbuizen. H_2O (1) 1968, nr. 24

12. WETZORKE, M. - Uber die Bruchsicherheit von Rohrleitungen in parallelwandigen Gräben, Hannover, 1960

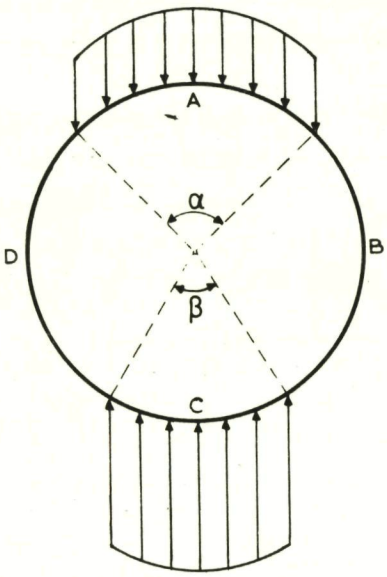
Lijst van verschenen beschrijvingen van computerprogramma's ontwikkeld door de Cultuurtechnische Dienst

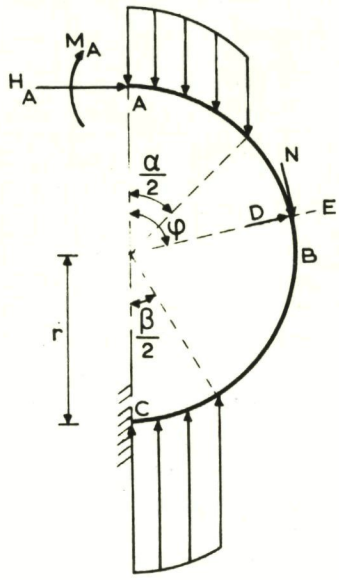
1972 1. HYDROPAK,
programmapakket voor het opslaan, tekenen en correleren van grondwaterstanden
R.H. MEIBORG

2. BEVER,
een programma voor het berekenen van netwerkplanningen volgens de "precedence" methode
G. KLOK

Formules normaalkrachten, dwarskrachten, momenten en vervorming van gelijkmatig belaste en ondersteunde ronde buis

belasting Q





Uitwendige belasting

$$H_A = \frac{Q}{12\pi}(\cos\alpha - \cos\beta)$$

$$M_A = -H_A.r + \frac{Q.r}{8\pi}\left(\frac{\alpha}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + 3\cos\frac{\alpha}{2} - 2\pi\sin\frac{\alpha}{2} + \alpha\sin\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2\sin\frac{\beta}{2}} + \beta\sin\frac{\beta}{2} + 3\cos\frac{\beta}{2}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \frac{\alpha}{2}$:

$$N_\Phi = -H_A\cos\Phi - \frac{Q}{2}\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$D_\Phi = H_A\sin\Phi - \frac{Q}{4}\frac{\sin 2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r(1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4}\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

b. voor $\frac{\alpha}{2} < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \frac{Q}{2} \sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{Q}{2} \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r(1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4} (2 \sin\Phi - \sin\frac{\alpha}{2})$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \frac{Q}{2} \frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\beta}{2}}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{Q}{4} \frac{\sin 2\Phi}{\sin\frac{\beta}{2}}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r(1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4} (2 \sin\Phi - \sin\frac{\alpha}{2}) - \frac{Q.r}{4 \sin\frac{\beta}{2}} (\sin\frac{\beta}{2} - \sin\Phi)^2$$

De verticale verplaatsing d_v van A:

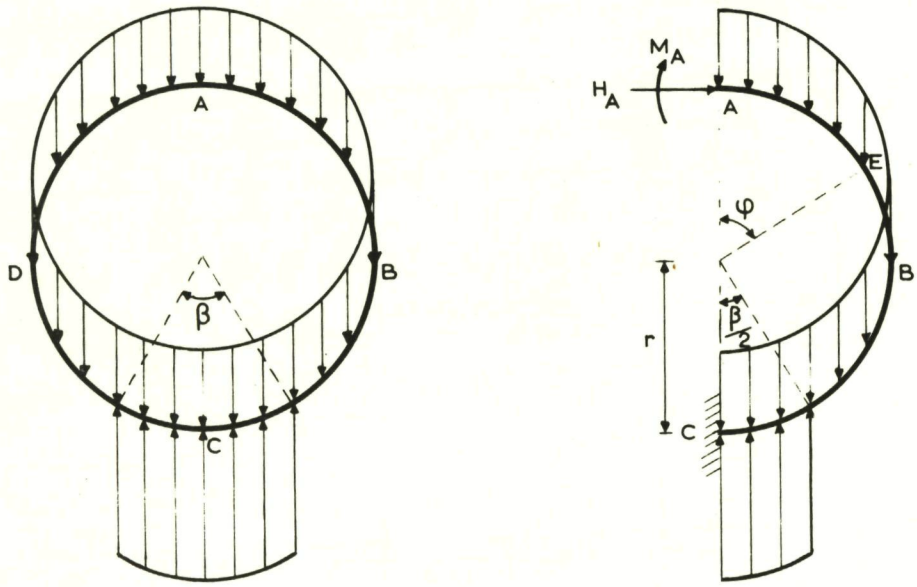
$$d_v = \frac{r^2}{EI} \left\{ 2 M_A + 2 H_A . r - \frac{Q.r}{24} (- 4 \operatorname{cotg}\frac{\alpha}{2} - \sin\alpha + \frac{4}{\sin\frac{\alpha}{2}} + 6\pi - 6 \sin\frac{\alpha}{2} - 3\alpha + 6 \sin\frac{\beta}{2} + \frac{4}{\sin\frac{\beta}{2}} - \sin\beta - 3\beta - 4 \operatorname{cotg}\frac{\beta}{2}) \right\}$$

De horizontale verplaatsing d_h van B:

$$d_h = \frac{r^2}{EI} \left\{ M_B - \frac{\pi}{4} H_A . r + \frac{Q.r}{24} (\cos\alpha + 5) \right\}$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van gelijkmatig ondersteunde ronde buis t.g.v. eigen gewicht

belasting = eigen gewicht buis = Q_{eg}



Eigen gewicht

$Q_{eg} = 2\pi.r.w.\gamma$

w = wanddikte buis
γ = soortelijk gewicht buismateriaal

$$H_A = -\frac{Q_{eg}}{12\pi}(\cos\beta + 2)$$

$$M_A = -H_A.r + \frac{Q_{eg}.r}{8\pi}\left(-4 + \frac{\beta}{2\sin\frac{\beta}{2}} + \beta\sin\frac{\beta}{2} + 3\cos\frac{\beta}{2}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = -H_A\cos\Phi - \frac{Q_{eg}.\Phi}{2\pi}\sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A\sin\Phi - \frac{Q_{eg}.\Phi}{2\pi}\cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\,(1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi}(\Phi\sin\Phi + \cos\Phi - 1)$$

b. <u>voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:</u>

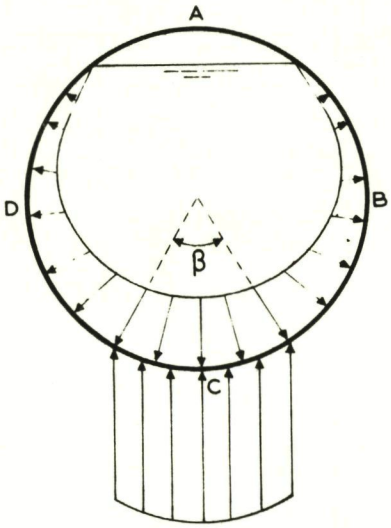
$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \tfrac{1}{2} Q_{eg} \sin\Phi \left(1 - \frac{\Phi}{\pi} - \frac{\sin\Phi}{\sin\frac{\beta}{2}}\right)$$

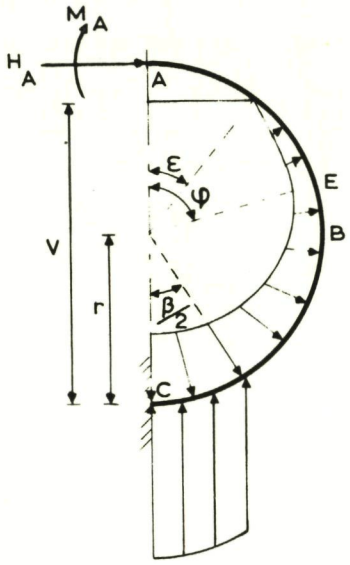
$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \tfrac{1}{2} Q_{eg} \cos\Phi \left(1 - \frac{\Phi}{\pi} - \frac{\sin\Phi}{\sin\frac{\beta}{2}}\right)$$

$$M_\Phi = M_A + H_A \cdot r \,(1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg} \cdot r}{2\pi} (\Phi \sin\Phi + \cos\Phi - 1) - \frac{Q_{eg} \cdot r}{4 \sin\frac{\beta}{2}} \left(\sin\frac{\beta}{2} - \sin\Phi\right)^2$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van gelijkmatig ondersteunde ronde buis t.g.v. vloeistofvulling

belasting = vloeistofvulling buis = Q_v





Vloeistofvulling

$$Q_v = \gamma \left\{ r_i^2 \, \mathrm{bgtg} \frac{v - r_i}{\sqrt{2\, v.r_i - v^2}} + (v - r_i)\sqrt{2\, v.r_i - v^2} + \tfrac{1}{2}\pi . r_i^2 \right\}$$

γ = soortelijk gewicht vloeistof

v = vloeistofvullingshoogte in de buis

r_i = inwendige straal buis

$$H_A = \frac{\gamma . r^2}{8\pi} \left\{ 2\pi - 2\varepsilon - 8 \sin\varepsilon - 8 (\pi - \varepsilon) \cos\varepsilon + (4\pi - 4\varepsilon - 3 - 4 \cos\varepsilon) \sin 2\varepsilon + 4\varepsilon \sin^2\varepsilon \right\} + \frac{Q_v}{6\pi} \sin^2\frac{\beta}{2}$$

$$M_A = - H_A . r - \frac{\gamma . r^3}{16\pi} \left\{ 8\pi - 8\varepsilon - 8 \sin\varepsilon + 4 (\pi - \varepsilon) \sin 2\varepsilon + 8 \sin^3\varepsilon \right\} + \frac{Q_v . r}{\pi} \left(- \tfrac{1}{2} + \frac{\beta}{16 \sin\frac{\beta}{2}} + \frac{\beta}{8} \sin\frac{\beta}{2} + \frac{3}{8} \cos\frac{\beta}{2} \right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \varepsilon$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \, (1 - \cos\Phi)$$

b. voor $\varepsilon < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma . r^2 \left\{ 1 - \cos(\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma . r^2 \left\{ \sin(\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \, (1 - \cos\Phi) + \gamma . r^3 \left\{ 1 - \cos(\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

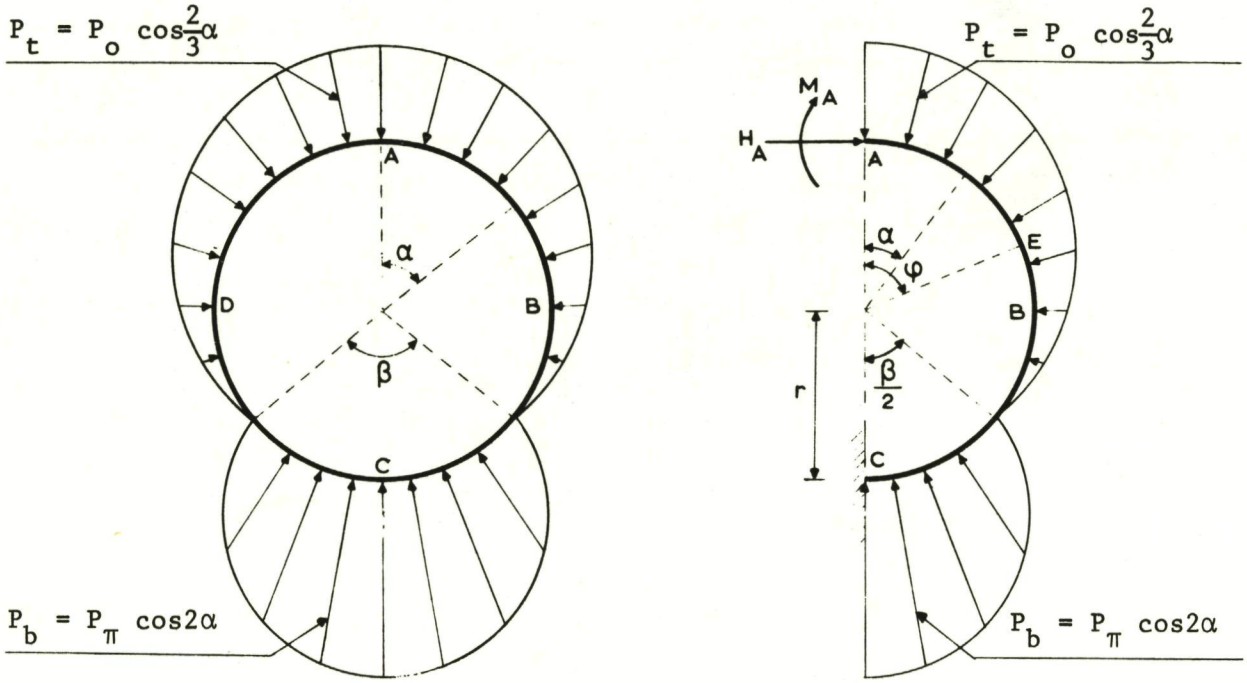
$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma . r^2 \left\{ 1 - \cos(\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2} Q_v \left(1 - \frac{\sin\Phi}{\sin\frac{\beta}{2}}\right) \sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma . r^2 \left\{ \sin(\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2} Q_v \left(1 - \frac{\sin\Phi}{\sin\frac{\beta}{2}}\right) \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \, (1 - \cos\Phi) + \gamma . r^3 \left\{ 1 - \cos(\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} - \frac{Q_v . r}{4 \sin\frac{\beta}{2}} \left(\sin\frac{\beta}{2} - \sin\Phi\right)^2$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten, momenten en vervorming van gelijkmatig belaste en ondersteunde ronde buis volgens de methode van Olander ($\beta = 90^o$)

belasting Q



Uitwendige belasting

$$P_o = \frac{5\,Q}{3.r\left\{\sin\frac{5}{3}\left(\pi - \frac{\beta}{2}\right) + 5\,\sin\frac{1}{3}\left(\pi - \frac{\beta}{2}\right)\right\}}$$

$$P_\pi = -\frac{3\,Q}{2.r\,\sin\frac{\beta}{2}\left(2\,\sin^2\frac{\beta}{2} - 3\right)}$$

$$H_A = \frac{.6}{\pi}\,P_o.r\Big\{-1{,}8\,\sin\left(\frac{5}{3}\pi - \frac{5}{6}\beta\right) - 9\,\sin\left(\frac{1}{3}\pi - \frac{\beta}{6}\right) + 3\pi - 1{,}5\beta - 1{,}5\,\sin\beta -$$

$$\left(0{,}125\,\cos\frac{5}{6}\beta - 0{,}2165\,\sin\frac{5}{6}\beta + 0{,}625\,\cos\frac{1}{6}\beta + 1{,}0825\,\sin\frac{\beta}{6} - 1{,}5\right)(\beta - \sin\beta) +$$

$$\left(0{,}125\,\sin\frac{5}{6}\beta + 0{,}2165\,\cos\frac{5}{6}\beta + 0{,}625\,\sin\frac{1}{6}\beta - 1{,}0825\,\cos\frac{\beta}{6}\right)(\cos\beta - 1)\Big\} -$$

$$\frac{P_\pi.r}{18\pi}\Big\{24\,\sin\beta - 24\,\sin\frac{\beta}{2} + 16\,\sin^3\frac{\beta}{2} + 3\,\sin\frac{\beta}{2}\left(3 - 2\,\sin^2\frac{\beta}{2}\right)\left(5 - 4\,\cos\frac{\beta}{2} - \cos\beta\right) -$$

$$3\,\cos\frac{\beta}{2}\left(3 - 2\,\cos^2\frac{\beta}{2}\right)\left(4\,\sin\frac{\beta}{2} + \beta + \sin\beta\right)\Big\}$$

$$M_A = - H_A.r + \frac{0,3}{\pi} P_o.r^2 \left\{ 5 \sin \left(\frac{2}{3}\pi - \frac{\beta}{3}\right) + 5 \sin \left(\frac{2}{3}\pi + \frac{\beta}{6}\right) - \sin \left(\frac{2}{3}\pi - \frac{5}{6}\beta\right) \right\} -$$

$$\frac{1}{\pi} P_\pi.r^2 \left(\sin\frac{\beta}{2} - \tfrac{1}{2} \sin\beta - \frac{2}{3} \sin^3\frac{\beta}{2}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - 1,8\ P_o.r \left(\cos\frac{2}{3}\Phi - \cos\Phi\right)$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - 1,8\ P_o.r \left(\sin\Phi - \frac{2}{3} \sin\frac{2}{3}\Phi\right)$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - 1,8\ P_o.r^2 \left(\cos\frac{2}{3}\Phi - \cos\Phi\right)$$

b. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - 0,3\ P_o.r \left\{ \cos \left(\frac{5}{3}\pi - \frac{5}{6}\beta - \Phi\right) + 5 \cos \left(\Phi - \frac{1}{3}\pi + \frac{\beta}{6}\right) - 6 \cos\Phi \right\} +$$

$$P_\pi.r \left\{ \frac{1}{3} \cos 2\Phi + \sin\Phi \sin\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}\right) + \cos\Phi \cos\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}\right) \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - 0,3\ P_o.r \left\{ \sin \left(\frac{5}{3}\pi - \frac{5}{6}\beta - \Phi\right) + 5 \sin \left(\frac{1}{3}\pi - \frac{\beta}{6} - \Phi\right) + 6 \sin\Phi \right\} -$$

$$P_\pi.r \left\{ \frac{2}{3} \sin 2\Phi - \cos\Phi \sin\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}\right) + \sin\Phi \cos\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}\right) \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - 0,3\ P_o.r^2 \left\{ \cos \left(\frac{5}{3}\pi - \frac{5}{6}\beta - \Phi\right) + 5 \cos \left(\Phi - \frac{1}{3}\pi + \frac{\beta}{6}\right) - \right.$$

$$\left. 6 \cos\Phi \right\} + P_\pi.r^2 \left\{ \frac{1}{3} \cos 2\Phi + \sin\Phi \sin\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}\right) + \cos\Phi \cos\frac{\beta}{2} \left(1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}\right) \right\}$$

De verticale verplaatsing d_v van A:

$$d_v = \frac{r^2}{EI}\Big\{2\,M_A + 2\,H_A.r - 0{,}3\,P_o.r^2\Big\{-1{,}8\cos\left(\frac{5}{3}\pi - \frac{5}{6}\beta\right) - 9\cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\beta}{6}\right) +$$

$$1{,}5\cos\beta - 9{,}3 + \left(0{,}125\cos\frac{5}{6}\beta - 0{,}2165\sin\frac{5}{6}\beta + 0{,}625\cos\frac{1}{6}\beta +\right.$$

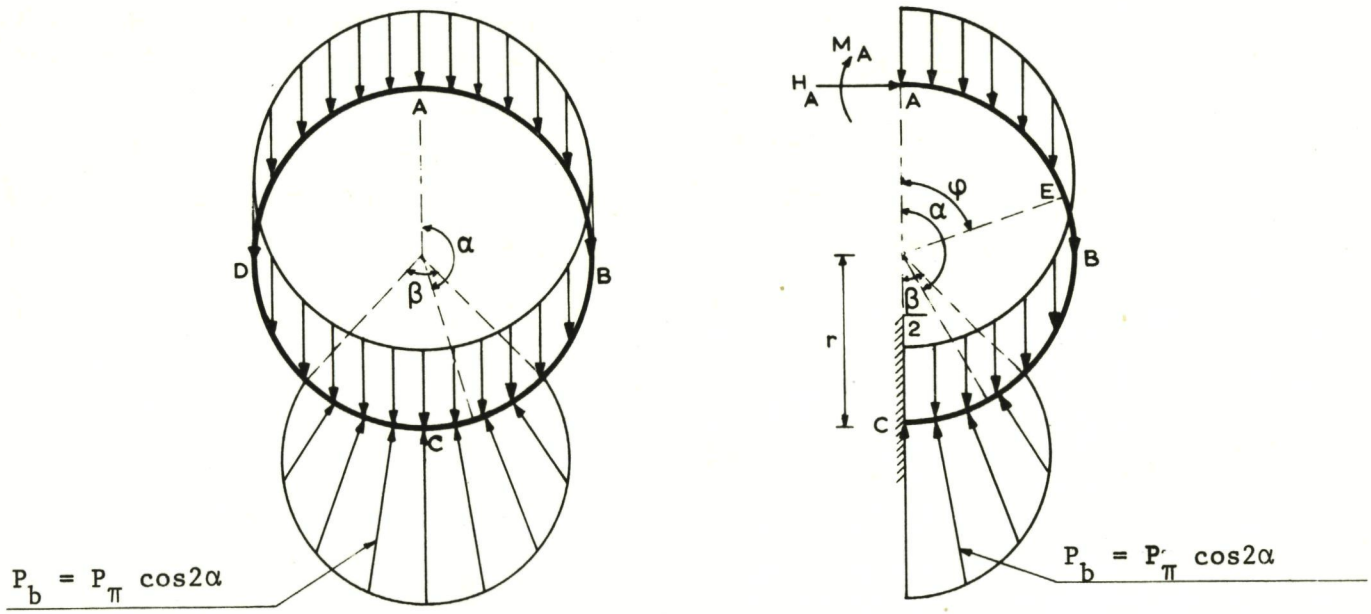
$$\left.1{,}0825\sin\frac{1}{6}\beta - 1{,}5\right)(\cos\beta - 1) - \left(0{,}125\sin\frac{5}{6}\beta + 0{,}2165\cos\frac{5}{6}\beta +\right.$$

$$\left.0{,}625\sin\frac{1}{6}\beta - 1{,}0825\cos\frac{1}{6}\beta\right)(\beta - \sin\beta)\Big\} + \frac{P_\pi.r^2}{36}\Big\{-4 - 8\cos^3\frac{\beta}{2} + 12\cos\frac{\beta}{2} +$$

$$9\sin\frac{\beta}{2}\left(1 - \frac{2}{3}\sin^2\frac{\beta}{2}\right)(\beta - \sin\beta) + 9\cos\frac{\beta}{2}\left(1 - \frac{2}{3}\cos^2\frac{\beta}{2}\right)(\cos\beta - 1)\Big\}\Big\}$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van gelijkmatig ondersteunde ronde buis volgens de methode van Olander ($\beta = 90^\circ$) t.g.v. eigen gewicht

belasting = eigen gewicht buis = Q_{eg}



Eigen gewicht

$Q_{eg} = 2\pi.r.w.\gamma$

w = wanddikte buis
γ = soortelijk gewicht buismateriaal

$$P_\pi = -\frac{3\,Q_{eg}}{2.r\,\sin\frac{\beta}{2}\,(2\,\sin^2\frac{\beta}{2} - 3)}$$

$$H_A = -\frac{1}{4\pi}\,Q_{eg} - \frac{P_\pi.r}{18\pi}\Big\{24\,\sin\beta - 24\,\sin\frac{\beta}{2} + 16\,\sin^3\frac{\beta}{2} + 3\,\sin\frac{\beta}{2} \times (3 - 2\,\sin^2\frac{\beta}{2})$$

$$(5 - 4\,\cos\frac{\beta}{2} - \cos\beta) - 3\,\cos\frac{\beta}{2}\,(3 - 2\,\cos^2\frac{\beta}{2})\,(4\,\sin\frac{\beta}{2} + \beta + \sin\beta)\Big\}$$

$$M_A = -H_A.r - \frac{P_\pi.r^2}{36\pi}\,(-18\,\sin\beta + 36\,\sin\frac{\beta}{2} - 24\,\sin^3\frac{\beta}{2})$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \frac{\Phi}{\pi} \frac{Q_{eg}}{2} \sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{\Phi}{\pi} \frac{Q_{eg}}{2} \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi} (\Phi \sin\Phi + \cos\Phi - 1)$$

b. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

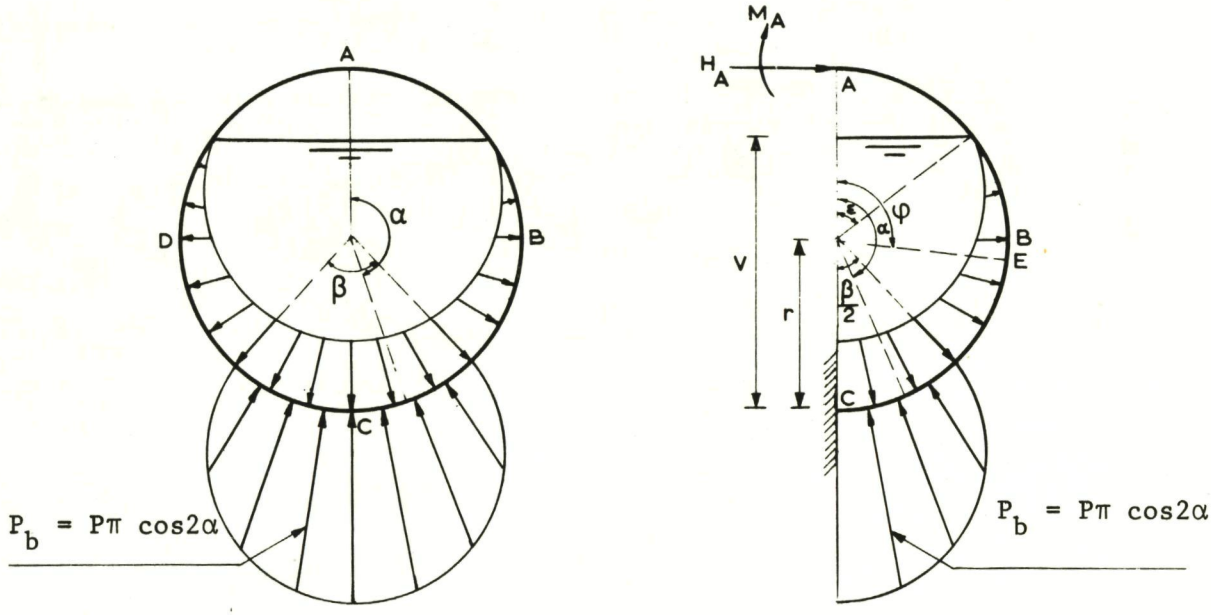
$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \frac{\Phi}{\pi} \frac{Q_{eg}}{2} \sin\Phi + P_\pi.r \left\{ \frac{1}{3} \cos 2\Phi + \sin\Phi \sin\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}) + \cos\Phi \cos\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{\Phi}{\pi} \frac{Q_{eg}}{2} \cos\Phi - P_\pi.r \left\{ \frac{2}{3} \sin 2\Phi - \cos\Phi \sin\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}) + \sin\Phi \cos\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi} (\Phi \sin\Phi + \cos\Phi - 1) + P_\pi.r^2 \times \left\{ \frac{1}{3} \cos 2\Phi + \sin\Phi \sin\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}) + \cos\Phi \cos\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van gelijkmatig ondersteunde ronde buis volgens de methode van Olander ($\beta = 90^\circ$) t.g.v. vloeistofvulling

belasting = vloeistofvulling buis = Q_v



Vloeistofvulling

$$Q_v = \gamma\left\{r_i^{\,2}\ \mathrm{bgtg}\frac{v - r_i}{\sqrt{2\,v.r_i - v^2}} + (v - r_i)\sqrt{2\,v.r_i - v^2} + \tfrac{1}{2}\pi.r_i^{\,2}\right\}$$

γ = soortelijk gewicht vloeistof
r_i = inwendige straal buis
v = vloeistofvullingshoogte in de buis

$$P_\pi = -\frac{3\,Q_v}{2\,r.\sin\frac{\beta}{2}\,(2\sin^2\frac{\beta}{2} - 3)}$$

$$H_A = \frac{\gamma.r^2}{8\pi}\left\{2\pi - 2\varepsilon - 8\sin\varepsilon - 8\,(\pi - \varepsilon)\cos\varepsilon + (4\pi - 4\varepsilon - 3 - 4\cos\varepsilon)\sin 2\varepsilon + 4\varepsilon\sin^2\varepsilon\right\} - \frac{P_\pi.r}{18\pi}\left\{24\sin\beta - 24\sin\frac{\beta}{2} + 16\sin^3\frac{\beta}{2} + 3\sin\frac{\beta}{2}\,(3 - 2\sin^2\frac{\beta}{2})\ \mathrm{x}\ (5 - 4\cos\frac{\beta}{2} - \cos\beta) - 3\cos\frac{\beta}{2}\,(3 - 2\cos^2\frac{\beta}{2})\,(4\sin\frac{\beta}{2} + \beta + \sin\beta)\right\}$$

$$M_A = - H_A.r - \frac{\gamma.r^3}{16\pi}\left\{ 8\pi - 8\varepsilon - 8 \sin\varepsilon + 4 (\pi - \varepsilon) \sin 2\varepsilon + 8 \sin^3\varepsilon \right\} -$$

$$\frac{P_\pi.r^2}{36\pi} (- 18 \sin\beta + 36 \sin\frac{\beta}{2} - 24 \sin^3\frac{\beta}{2})$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \varepsilon$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r (1 - \cos\Phi)$$

b. voor $\varepsilon < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma.r^2\left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma.r^2\left\{ \sin (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r (1 - \cos\Phi) + \gamma.r^3\left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma.r^2\left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} +$$

$$P_\pi.r\left\{ \frac{1}{3} \cos 2\Phi + \sin\Phi \sin\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}) + \cos\Phi \cos\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma.r^2\left\{ \sin (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\} -$$

$$P_\pi.r\left\{ \frac{2}{3} \sin 2\Phi - \cos\Phi \sin\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}) + \sin\Phi \cos\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

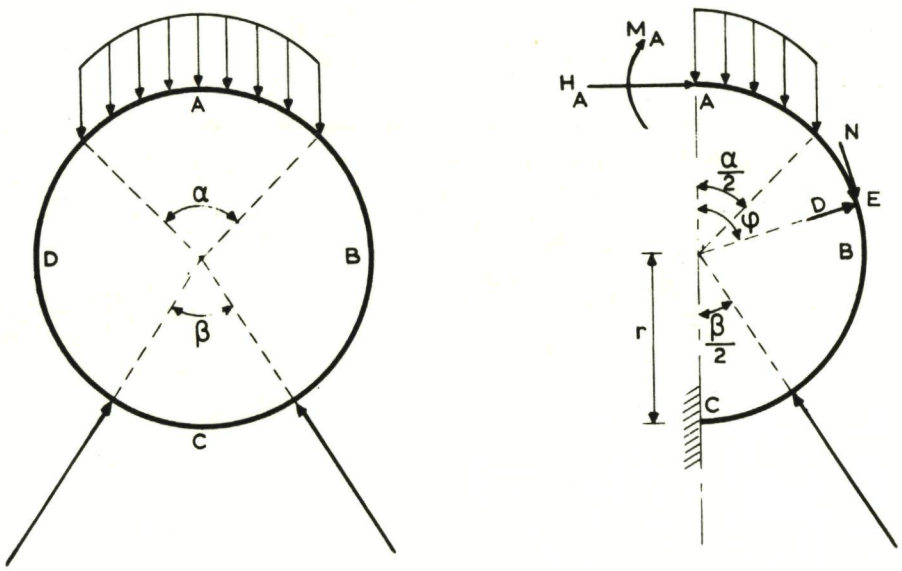
$$M_\Phi = M_A + H_A.r (1 - \cos\Phi) + \gamma.r^3\left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \right.$$

$$\left. \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} + P_\pi.r^2\left\{ \frac{1}{3} \cos 2\Phi + \sin\Phi \sin\frac{\beta}{2} (1 - \frac{2}{3} \sin^2\frac{\beta}{2}) + \cos\Phi \cos\frac{\beta}{2} \right.$$

$$\left. (1 - \frac{2}{3} \cos^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten, momenten en vervorming van gelijkmatig belaste en door twee middelpuntsgerichte krachten ondersteunde ronde buis

belasting Q



Uitwendige belasting

$$H_A = \frac{Q}{2\pi}\left(-\frac{1}{3}\sin^2\frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2}\,\mathrm{tg}\frac{\beta}{2}\right)$$

$$M_A = -H_A.r + \frac{Q.r}{8\pi}\left\{\frac{\alpha}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + 3\cos\frac{\alpha}{2} + (\alpha - 2\pi)\sin\frac{\alpha}{2} + \frac{4}{\cos\frac{\beta}{2}}\right\}$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \frac{\alpha}{2}$:

$$N_\Phi = -H_A\cos\Phi - \frac{Q}{2}\,\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$D_\Phi = H_A\sin\Phi - \frac{Q}{4}\,\frac{\sin 2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\,(1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4}\,\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

b. voor $\frac{\alpha}{2} < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \tfrac{1}{2} Q \left(\sin\Phi - tg\frac{\alpha}{2} \cos\Phi\right)$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \tfrac{1}{2} Q \left(\cos\Phi + tg\frac{\alpha}{2} \sin\Phi\right)$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - \tfrac{1}{2} Q.r \left(\sin\Phi - tg\frac{\alpha}{2} \cos\Phi\right)$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \tfrac{1}{2} Q \cos\Phi \left(tg\frac{\alpha}{2} + tg\frac{\beta}{2}\right)$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \tfrac{1}{2} Q \sin\Phi \left(tg\frac{\alpha}{2} + tg\frac{\beta}{2}\right)$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) + \tfrac{1}{2} Q.r \cos\Phi \left(tg\frac{\alpha}{2} + tg\frac{\beta}{2}\right)$$

De verticale verplaatsing d_v van A:

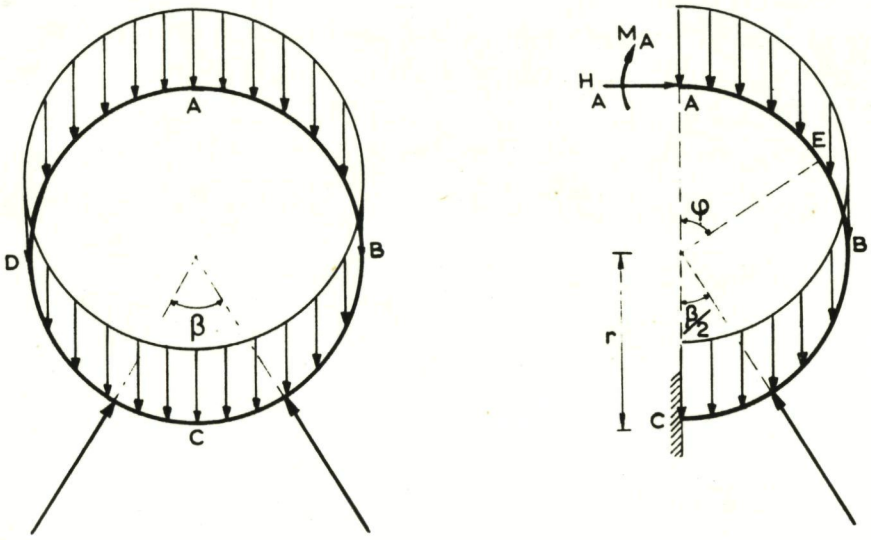
$$d_v = \frac{r^2}{EI}\left\{2\ M_A + 2\ H_A.r - \frac{1}{8} Q.r \left(2\pi - \alpha + 2\ tg\frac{\alpha}{2} - \beta + 2\ tg\frac{\beta}{2}\right)\right\}$$

De horizontale verplaatsing d_h van B:

$$d_h = \frac{r^2}{EI}\left\{M_B + \tfrac{1}{4} Q.r \left(1 - \frac{\alpha}{4} tg\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{4} tg\frac{\beta}{2}\right)\right\}$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van een door twee middelpuntsgerichte krachten ondersteunde ronde buis t.g.v. eigen gewicht

belasting = eigen gewicht buis = Q_{eg}



Eigen gewicht

$Q_{eg} = 2\pi.r.w.\gamma$

w = wanddikte buis
γ = soortelijk gewicht buismateriaal

$$H_A = -\frac{Q_{eg}}{4\pi}\left(1 - \beta tg\frac{\beta}{2}\right)$$

$$M_A = -H_A.r - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi}\left(1 - \frac{1}{\cos\frac{\beta}{2}}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = -H_A \cos\Phi - \frac{Q_{eg}.\Phi}{2\pi}\sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{Q_{eg}.\Phi}{2\pi}\cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\,(1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi}(\Phi\sin\Phi + \cos\Phi - 1)$$

b. <u>voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:</u>

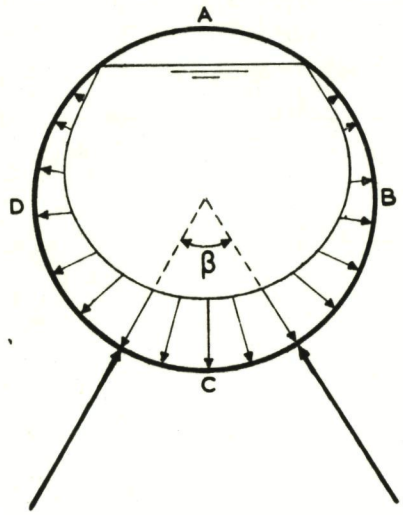
$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \tfrac{1}{2} Q_{eg} \left\{ (1 - \frac{\Phi}{\pi}) \sin\Phi + tg\frac{\beta}{2} \cos\Phi \right\}$$

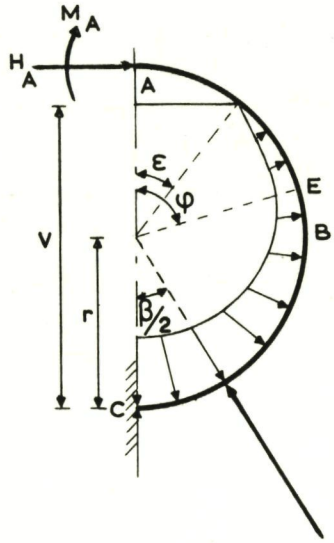
$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \tfrac{1}{2} Q_{eg} \left\{ (1 - \frac{\Phi}{\pi}) \cos\Phi - tg\frac{\beta}{2} \sin\Phi \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r (1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg} . r}{2\pi} (\Phi \sin\Phi + \cos\Phi - 1) + \tfrac{1}{2} Q_{eg} . r (\sin\Phi + tg\frac{\beta}{2} \cos\Phi)$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van een door twee middelpuntsgerichte krachten ondersteunde ronde buis t.g.v. vloeistofvulling

belasting = vloeistofvulling buis = Q_v





Vloeistofvulling

$$Q_v = \gamma\left\{r_i^{\,2}\ \mathrm{bgtg}\frac{v - r_i}{\sqrt{2\ v.r_i - v^2}} + (v - r_i)\sqrt{2\ v.r_i - v^2} + \tfrac{1}{2}\pi.r_i^{\,2}\right\}$$

γ = soortelijk gewicht vloeistof

v = vloeistofvullingshoogte in de buis

r_i = inwendige straal buis

$$H_A = \frac{\gamma.r^2}{8\pi}\left\{2\pi - 2\varepsilon - 8\sin\varepsilon - 8(\pi - \varepsilon)\cos\varepsilon + (4\pi - 4\varepsilon - 3 - 4\cos\varepsilon)\sin 2\varepsilon + 4\varepsilon\sin^2\varepsilon\right\} + \frac{Q_v}{4\pi}\beta.\mathrm{tg}\frac{\beta}{2}$$

$$M_A = -H_A.r - \frac{\gamma.r^3}{16\pi}\left\{8\pi - 8\varepsilon - 8\sin\varepsilon + 4(\pi - \varepsilon)\sin 2\varepsilon + 8\sin^3\varepsilon\right\} - \frac{Q_v.r}{2\pi}\left(1 - \frac{1}{\cos\frac{\beta}{2}}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \varepsilon$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r\ (1 - \cos\Phi)$$

b. voor $\varepsilon < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma . r^2 \left\{ 1 - \cos\ (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4}\ (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma . r^2 \left\{ \sin\ (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4}\ (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r\ (1 - \cos\Phi) + \gamma . r^3 \left\{ 1 - \cos\ (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4}\ (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

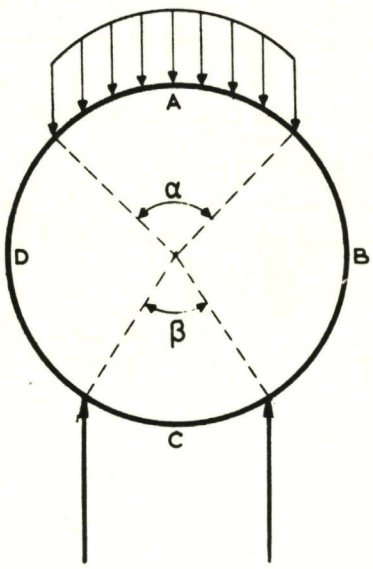
$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma . r^2 \left\{ 1 - \cos\ (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4}\ (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2}\ Q_v\ (\sin\Phi + \mathrm{tg}\tfrac{\beta}{2} \cos\Phi)$$

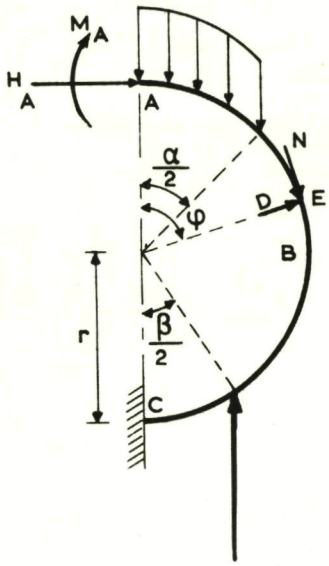
$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma . r^2 \left\{ \sin\ (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4}\ (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2}\ Q_v\ (\cos\Phi - \mathrm{tg}\tfrac{\beta}{2} \sin\Phi)$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r\ (1 - \cos\Phi) + \gamma . r^3 \left\{ 1 - \cos\ (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4}(2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2}\ Q_v . r\ (\sin\Phi + \mathrm{tg}\tfrac{\beta}{2} \cos\Phi)$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten, momenten en vervorming van gelijkmatig belaste en door twee verticale krachten ondersteunde ronde buis

belasting Q





Uitwendige belasting

$$H_A = \frac{Q}{12\pi}\left(-2\sin^2\frac{\alpha}{2} + 6\sin^2\frac{\beta}{2}\right)$$

$$M_A = -H_A.r + \frac{Q.r}{8\pi}\left\{\frac{\alpha}{2\sin\frac{\alpha}{2}} + 3\cos\frac{\alpha}{2} + (\alpha - 2\pi)\sin\frac{\alpha}{2} + 2\beta\sin\frac{\beta}{2} + 4\cos\frac{\beta}{2}\right\}$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \frac{\alpha}{2}$:

$$N_\Phi = -H_A\cos\Phi - \frac{Q}{2}\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$D_\Phi = H_A\sin\Phi - \frac{Q}{4}\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\,(1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4}\frac{\sin^2\Phi}{\sin\frac{\alpha}{2}}$$

b. voor $\frac{\alpha}{2} < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \frac{Q}{2} \sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{Q}{2} \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4} (2 \sin\Phi - \sin\frac{\alpha}{2})$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) + \frac{Q.r}{4} (\sin\frac{\alpha}{2} - 2 \sin\frac{\beta}{2})$$

De verticale verplaatsing d_v van A:

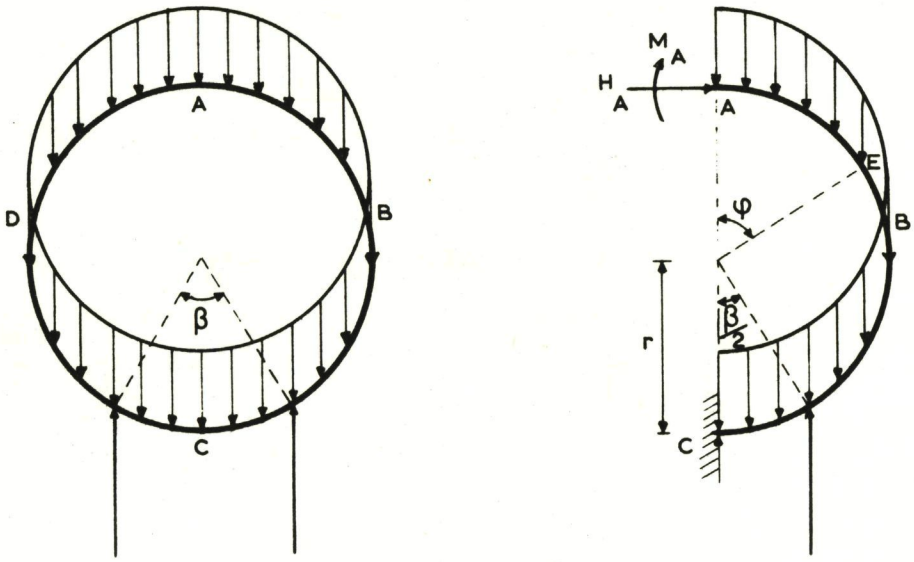
$$d_v = \frac{r^2}{EI} \left\{ 2\ M_A + 2\ H_A.r + \frac{Q.r}{8} \left(\frac{4 \cos\frac{\alpha}{2} - 4}{3 \sin\frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{3} \sin\alpha + 2 \sin\frac{\alpha}{2} - 2\pi + \alpha + \beta - 4 \sin\frac{\beta}{2} + \sin\beta \right) \right\}$$

De horizontale verplaatsing d_h van B:

$$d_h = \frac{r^2}{EI} \left\{ M_B + \frac{\pi}{4} H_A.r + \frac{Q.r}{4} (1 - \sin^2\frac{\beta}{2}) \right\}$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van een door twee verticale krachten ondersteunde ronde buis t.g.v. eigen gewicht

belasting = eigen gewicht buis = Q_{eg}



Eigen gewicht

$Q_{eg} = 2\pi.r.w.\gamma$

w = wanddikte buis
γ = soortelijk gewicht buismateriaal

$$H_A = \frac{Q_{eg}}{4\pi}\left(-1 + 2\sin^2\frac{\beta}{2}\right)$$

$$M_A = -H_A.r + \frac{Q_{eg}.r}{8\pi}\left(-4 + 2\beta\sin\frac{\beta}{2} + 4\cos\frac{\beta}{2}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = -H_A\cos\Phi - \frac{Q_{eg}.\Phi}{2\pi}\sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{Q_{eg}.\Phi}{2\pi} \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi} (\Phi \sin\Phi + \cos\Phi - 1)$$

b. <u>voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:</u>

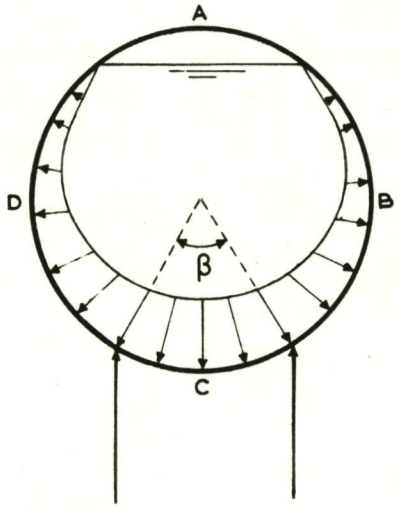
$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \tfrac{1}{2} Q_{eg} \left(1 - \frac{\Phi}{\pi}\right) \sin\Phi$$

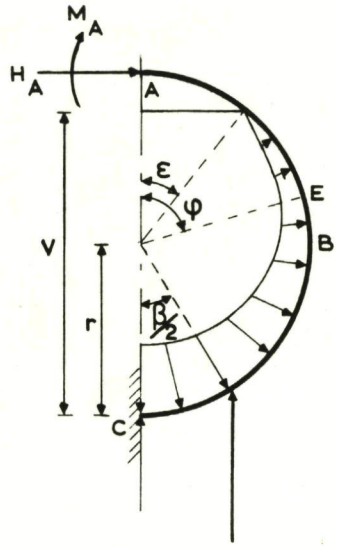
$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \tfrac{1}{2} Q_{eg} \left(1 - \frac{\Phi}{\pi}\right) \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi) - \frac{Q_{eg}.r}{2\pi} (\Phi \sin\Phi + \cos\Phi - 1) - \tfrac{1}{2} Q_{eg}.r\ (\sin\frac{\beta}{2} - \sin\Phi)$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten en momenten van een door twee verticale krachten ondersteunde ronde buis t.g.v. vloeistofvulling

belasting = vloeistofvulling buis = Q_v





Vloeistofvulling

$$Q_v = \gamma\left\{r_i^{\,2}\ \mathrm{bgtg}\frac{v - r_i}{\sqrt{2\ v.r_i - v^2}} + (v - r_i)\sqrt{2\ v.r_i - v^2} + \tfrac{1}{2}\pi.r_i^{\,2}\right\}$$

γ = soortelijk gewicht vloeistof
v = vloeistofvullingshoogte in de buis
r_i = inwendige straal buis

$$H_A = \frac{\gamma.r^2}{8\pi}\left\{2\pi - 2\varepsilon - 8\ \sin\varepsilon - 8\ (\pi - \varepsilon)\ \cos\varepsilon + (4\pi - 4\varepsilon - 3 - 4\ \cos\varepsilon)\ \sin 2\varepsilon + 4\varepsilon\ \sin^2\varepsilon\right\} + \frac{Q_v}{2\pi}\ \sin^2\frac{\beta}{2}$$

$$M_A = -\ H_A.r - \frac{\gamma.r^3}{16\pi}\left\{8\pi - 8\varepsilon - 8\ \sin\varepsilon + 4\ (\pi - \varepsilon)\ \sin 2\varepsilon + 8\ \sin^3\varepsilon\right\} + \frac{Q_v.r}{2\pi}\left(-\ 1 + \frac{\beta}{2}\ \sin\frac{\beta}{2} + \cos\frac{\beta}{2}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \varepsilon$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \ (1 - \cos\Phi)$$

b. voor $\varepsilon < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma . r^2 \left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma . r^2 \left\{ \sin (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\}$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \ (1 - \cos\Phi) + \gamma . r^3 \left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\}$$

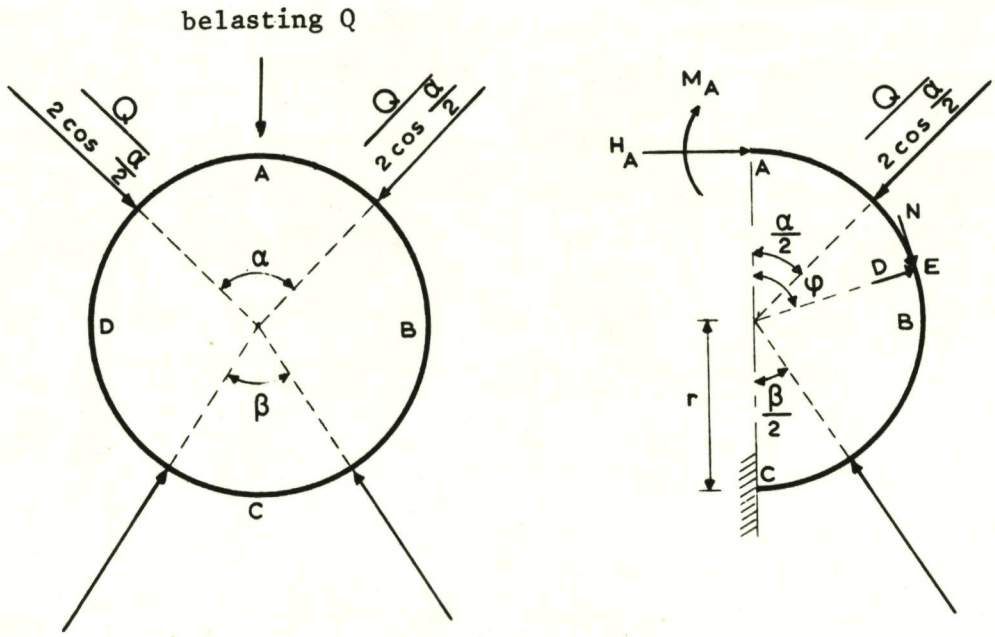
c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \gamma . r^2 \left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2} Q_v \sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi + \gamma . r^2 \left\{ \sin (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \cos\Phi - \tfrac{1}{2} \sin\Phi \cos^2\varepsilon \right\} + \tfrac{1}{2} Q_v \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \ (1 - \cos\Phi) + \gamma . r^3 \left\{ 1 - \cos (\Phi - \varepsilon) - \tfrac{1}{4} (2\Phi - 2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \sin\Phi - \tfrac{1}{2} \cos\Phi \sin^2\varepsilon \right\} - \tfrac{1}{2} Q_v . r \ (\sin\tfrac{\beta}{2} - \sin\Phi)$$

Formules normaalkrachten, dwarskrachten, momenten en vervorming van een door twee middelpuntsgerichte krachten belaste en door twee middelpuntsgerichte krachten ondersteunde ronde buis



Uitwendige belasting

$$H_A = \frac{Q}{2\pi}\left\{(2\pi - \alpha)\ tg\frac{\alpha}{2} + \beta tg\frac{\beta}{2}\right\}$$

$$M_A = -\ H_A.r + \frac{Q.r}{2\pi}\left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{\cos\frac{\beta}{2}}\right)$$

Normaalkracht N_Φ, dwarskracht D_Φ en moment M_Φ in E:

a. voor $0 \leqslant \Phi \leqslant \frac{\alpha}{2}$:

$$N_\Phi = -\ H_A \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A.r\ (1 - \cos\Phi)$$

b. voor $\frac{\alpha}{2} < \Phi \leqslant \pi - \frac{\beta}{2}$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi - \frac{Q}{2} \sin\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \frac{Q}{2} \cos\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \ (1 - \cos\Phi) - \frac{Q.r}{4} \ (2 \sin\Phi - \sin\frac{\alpha}{2})$$

c. voor $\pi - \frac{\beta}{2} < \Phi \leqslant \pi$:

$$N_\Phi = - H_A \cos\Phi + \tfrac{1}{2} Q \ tg\frac{\beta}{2} \cos\Phi$$

$$D_\Phi = H_A \sin\Phi - \tfrac{1}{2} Q \ tg\frac{\beta}{2} \sin\Phi$$

$$M_\Phi = M_A + H_A . r \ (1 - \cos\Phi) + \frac{Q.r}{4} \ (\sin\frac{\alpha}{2} + 2 \ tg\frac{\beta}{2} \cos\Phi)$$

De verticale verplaatsing d_v van A:

$$d_v = \frac{r^2}{EI} \left\{ 2 \ M_A + 2 \ H_A . r + \frac{Q.r}{8} \ (\frac{4 \cos\frac{\alpha}{2} - 4}{3 \sin\frac{\alpha}{2}} + \frac{1}{3} \sin\alpha + 2 \sin\frac{\alpha}{2} - 2\pi + \alpha + \beta - 2 \ tg\frac{\beta}{2}) \right\}$$

De horizontale verplaatsing d_h van B:

$$d_h = \frac{r^2}{EI} \left\{ - M_B + \frac{\pi}{4} H_A . r - \frac{Q.r}{4} \ (- 1 + \frac{\beta}{2} \ tg\frac{\beta}{2}) \right\}$$

Voorloop - en sluitkaarten voor het programma BUIS

oorloopkaart 0

Projectnummer	Datum of andere informatie die rechts boven op elke pagina van de output wordt afgedrukt.	1) Belastingsgeval I=1, II=2, III=3, IV=4, V=5 invullen	2) Vermeerdering van de wanddikte in mm: Stapgrootte	2) Vermeerdering van de wanddikte in mm: Grootste wanddikte	3) Oplegbreedte of opleghoek in mm of graden, a of α: In mm=1, in graden is niets invullen	3) a of α: Vermeerdering in mm of graden: Stapgrootte	3) a of α: Vermeerdering in mm of graden: Grootste breedte of hoek	3) b of β: In mm=1, in graden is niets invullen	3) b of β: Vermeerdering in mm of graden: Stapgrootte	3) b of β: Vermeerdering in mm of graden: Grootste breedte of hoek	4) De meest voorkomende: Breedte a van drukbalk in mm of hoek α in graden	4) De meest voorkomende: Breedte b van oplegbalk in mm of hoek β in graden	5) Berekening van de buiswand voor ε in mm of φ in graden: In mm=1, in graden is niets invullen	5) Berekening van de buiswand voor ε in mm of φ in graden: Vermeerdering in mm of graden: Stapgrootte	5) Berekening van de buiswand voor ε in mm of φ in graden: Vermeerdering in mm of graden: Grootste afstand of hoek	Eigen gewicht berekenen Ja=1, nee=niets invullen	6) Soortelijk gewicht buismatariaal in kN/m³	7) Indien invloed vloeistofvulling berekend moet worden dan onderstaande kolommen invullen anders niets invullen: Soortelijk gewicht vloeistof in kN/m³	7) Het meest voorkomende: Druk in N/mm²	Buis geh. gevuld ja=1, nee=niets inv.	Output eindblad ja=1, nee=niets invullen	Tussen uitvoer ja=1, nee=niets invullen	Ber op terminal van Cult Dienst ja=1, nee=niets invullen
3	14 november 1972	3			1						100	30				1		24				1	1

oorloopkaart 1

Projectnummer	Naam van het te berekenen project	8) Vervorming berekenen ja=1, nee=niets invullen	8) Vervorming gemeten	8) Alleen invullen indien vervorming berekend moet worden / Bij de hier ingevulde elasticiteitsmoduli worden de vervormingen van de buis berekend.	8) Alleen invullen indien vervorming niet gemeten is en toch berekend moet worden	Belasting in kN / m¹	Elasticiteitsmoduli in N/mm²: 1	2	3	4	Begin waarde	Stap grootte
3	ongew betonbuizen keur b=30											

luitkaarten 3 en 5

r de noten 1) t/m 8) zie inputformulier 2
=ca. 0,1 kgf, 1 kN = ca. 100 kgf, 1 N/mm² = ca. 10 kgf/cm²

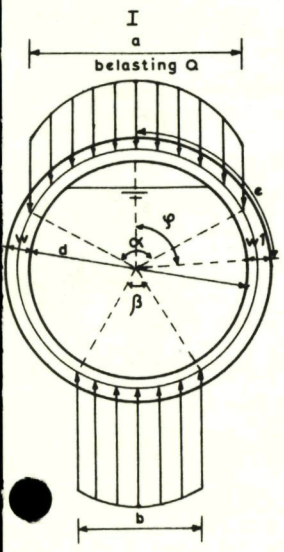
. Voor een uitgebreide gebruiksaanwijzing raadplege men
„Beschrijving computerprogramma BUIS"

C.F. 170

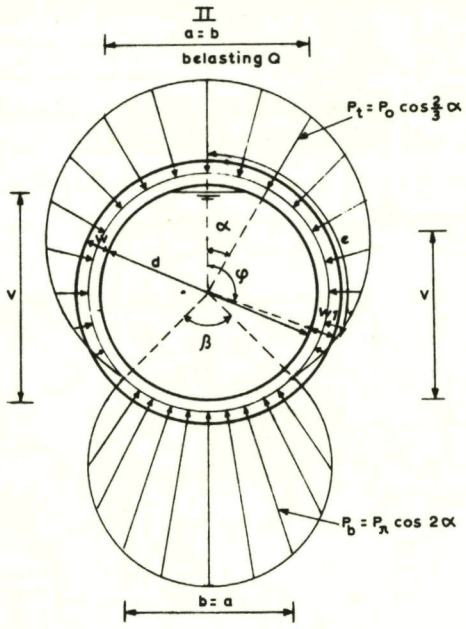
CULTUURTECHNISCHE DIENST afd Waterhuishouding - Utrecht	
Inputformulier — 1 voor het computerprogramma BUIS	
Sept. 1972	nov. 1972

Informatie nodig voor het invullen van de kaartsoorten 0,1,2 en 4 van het computerprogramma BUIS

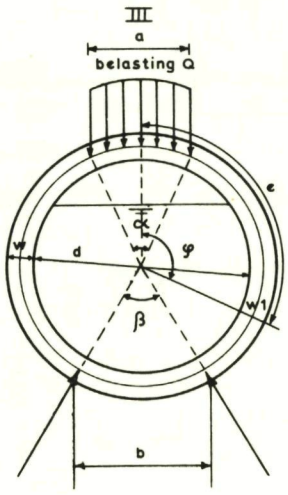
1) Hier invullen welke van de onderstaande belastingsgevallen berekend moet worden:



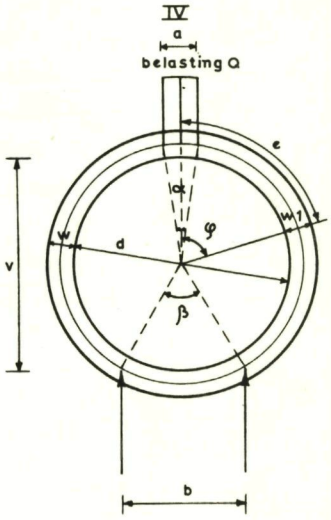
Geval I



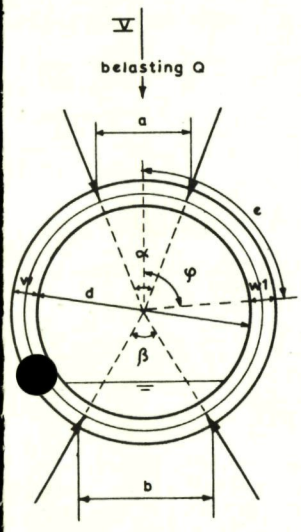
Geval II



Geval III



Geval IV



Geval V

2) Met behulp van deze kolommen kan men de wanddikte voor de in kaartsoort 3 ingevulde buizen stapsgewijze vergroten en bij elke stap de momenten en buigspanningen berekenen.
3) Met behulp van deze kolommen kan men de oplegbreedten of opleghoeken voor de in kaartsoort 3 ingevulde buizen stapsgewijze vergroten en bij elke stap de momenten en buigspanningen berekenen. Bij de velden 33 en 40 moet bij elke berekening bekeken worden of hier een 1 of niets ingevuld moet worden.
4) Hier kan de meest voorkomende oplegbreedte of opleghoek ingevuld worden, zodat deze dan niet meer in kaartsoort 2 ingevuld hoeft te worden.
5) Wil men op een bepaalde plaats van de buiswand de momenten en buigspanningen berekenen dan kan men dat opgeven door middel van de afstand e of de hoek phi (zie noot 1). Met behulp van deze kolommen kan men het programma op verschillende plaatsen van de buiswand de momenten en spanningen laten berekenen. Ten behoeve van het invullen van kaartsoort 3 moet bij elke berekening bekeken worden of in veld 55 een 1 of niets ingevuld moet worden.
6) Voor de berekening van de invloed van het eigen gewicht moet hier het soortelijk gewicht van het buismateriaal ingevuld worden.
7) Moet de invloed van vloeistofdruk en/of -vulling berekend worden, dan moet in elk geval veld 69 t/m 73 ingevuld worden. De eventueel meest voorkomende vloeistofdruk en/of het geheel gevuld zijn van de buis kan ingevuld worden in de velden 74 t/m 77, zodat deze waarden niet meer in kaartsoort 2 ingevuld behoeven te worden.
8) Wordt in veld 35 een 1 ingevuld, dan wordt de horizontale en verticale vervorming van de buis berekend. Is de vervorming door proeven verkregen, dan moet in veld 36 een 1 ingevuld worden. Ook moet dan kaartsoort 4 ingevuld worden en worden de vervormingen berekend met de in de velden 37 t/m 64 ingevulde elasticiteitsmoduli bij de in kaartsoort 4 ingevulde belastingen. Is de vervorming niet gemeten en wordt dus in veld 36 niets ingevuld, dan moet bij de berekening van de vervorming in de velden 65 t/m 74 een beginwaarde en een stapgrootte voor de belasting ingevuld worden.

CULTUURTECHNISCHE DIENST afd. Waterhuishouding - Utrecht	
Inputformulier 2 voor het computerprogramma BUIS	
sept. 1972	

CF. 173

arten met gegevens van buizen, waarvan de momenten, de normaal-, dwarskrachten en de buigtrekspanningen berekend moeten orden.

artsoort 2 voor het computerprogramma BUIS

Buisnummer	Inwendige diameter d in mm	Wanddikte w in mm	Alleen invullen bij afwijking van voorloopkaart O: druk-breedte a in mm of hoek α in graden	Alleen invullen bij afwijking van voorloopkaart O: opleg-breedte b in mm of hoek β in graden	Belasting Q in kN/m'	Alleen invullen indien de invloed van de vloeistofdruk en(of) vulling berekend moeten worden en afgeweken wordt van voorloopkaart O: druk in N/mm² 1)	Alleen invullen indien de invloed van de vloeistofdruk en(of) vulling berekend moeten worden en afgeweken wordt van voorloopkaart O: vloeistofvulling V in mm	Plaats van de buiswand, waar de momenten en spanningen berekend moeten worden: Afstand e in mm of hoek φ in graden 9)	Plaats van de buiswand, waar de momenten en spanningen berekend moeten worden: Alleen invullen bij afwijking van wanddikte w: wanddikte w1 in mm
1	250	45	45		43				
2	300	50	50		43				
3	400	55	60		43				
4	500	65	70		48				
5	600	80	80		60				
6	700	90	90		65				
7	800	100			70				
8	900	110			75				
9	1000	120			80				
10	1250	145			90				
11	1500	175			100				

oor noot 1) zie inputformulier 2

) Wordt hier niets ingevuld, dan worden de buigtrekspanningen van boven, ozij, van onder en op de plaats waar ze maximaal is berekend.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
afd. Waterhuishouding - Utrecht

inputformulier 3 voor het computerprogramma

BUIS

Sept. 1972 | nov. 1972

C.F. 171

rten met gegevens van buizen, waarvan de verticale vervorming gemeten is en de elasticiteitsmodulus berekend moet worden.

rtsoort 4 voor het computerprogramma BUIS

10)

Buis-nummer	Belasting in kN / m²	Verticale vervorming in mm	Belasting	Vervorming	B	V	B	V	B	V	B	V	B	V	B	V
1	18	3.3	28	4.5	38	5.8	48	7.3	58	9.2	68	10.1	78	11.7	88	13.4
1	98	15.5	108	17.4	118	20	128	21.8	138	24.4						

0) Het buisnummer moet corresponderen met dat van kaartsoort 2

CULTUURTECHNISCHE DIENST
afd. Waterhuishouding – Utrecht

Inputformulier 4 voor
het computerprogramma

BUIS

Sept. 1972 | nov. 1972

C.F. 172

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN ONDERSTEUND DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 0.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIZEN KEUR B=30 :::NUMMER::: 31

BS NUMMER	INW.DIAM MM	WAN DIK MM	BRED A	HOEK GRAD B	BELASTING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK WAND E GRA	DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	EIGN GEW KN/M	GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	250	45	45	30	43.00	+5.8	+2.5	+4.1	0	45.0	+176	+0	+0	+5.81	-4.75	+0.0	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	1.0
2	300	50	50	30	43.00	+5.6	+2.5	+4.0	0	50.0	+211	+0	+0	+5.60	-4.63	+0.0	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	1.3
3	400	55	60	30	43.00	+6.0	+2.8	+4.2	0	55.0	+278	+0	+0	+5.99	-5.11	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	1.9
4	500	65	70	30	48.00	+6.0	+2.8	+4.2	0	65.0	+390	+0	+0	+5.98	-5.14	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	2.8
5	600	80	80	30	60.00	+6.0	+2.8	+4.2	0	80.0	+591	+0	+0	+6.00	-5.13	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	4.1
6	700	90	90	30	65.00	+6.0	+2.9	+4.2	0	90.0	+748	+0	+0	+5.99	-5.15	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	5.4
7	800	100	100	30	70.00	+6.0	+2.9	+4.2	0	100.0	+923	+0	+0	+5.98	-5.16	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	6.8
8	900	110	100	30	75.00	+6.0	+2.9	+4.2	0	110.0	+1125	+0	+0	+6.01	-5.20	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	8.4
9	1000	120	100	30	80.00	+6.0	+2.9	+4.2	0	120.0	+1346	+0	+0	+6.04	-5.23	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	10.1
10	1250	145	100	30	90.00	+5.9	+2.9	+4.2	0	145.0	+1932	+0	+0	+5.92	-5.15	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	15.3
11	1500	175	100	30	100.00	+5.5	+2.7	+3.9	0	175.0	+2634	+0	+0	+5.55	-4.82	+0.3	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.1

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN ONDERSTEUND VLG.DE METHODE VAN OLANDER.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 10.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIZEN GROND B=90 :::NUMMER::: 32

BS NUMMER	INW.DIAM MM	WAN DIK MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELASTING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK WAND E GRA	DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	EIGN GEW KN/M	GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	250	45		90	73.00	+1.9	+1.5	+4.0	180	45.0	+138	-24	+0	+4.01	-4.22	+0.1	+0.0	+0.1	0.00	250	0.5	1.0
2	300	50		90	76.00	+1.9	+1.6	+4.0	180	50.0	+171	-25	+0	+4.04	-4.24	+0.1	+0.0	+0.1	0.00	300	0.7	1.3
3	400	55		90	69.00	+2.0	+1.8	+4.0	180	55.0	+206	-22	+0	+4.04	-4.19	+0.1	+0.0	+0.1	0.00	400	1.3	1.9
4	500	65		90	75.00	+2.0	+1.8	+4.0	180	65.0	+284	-24	+0	+3.99	-4.11	+0.1	+0.0	+0.2	0.00	500	2.0	2.8
5	600	80		90	94.00	+2.0	+1.8	+4.0	180	80.0	+433	-30	+0	+4.03	-4.14	+0.2	+0.0	+0.2	0.00	600	2.8	4.1
6	700	90		90	101.00	+2.0	+1.8	+4.1	180	90.0	+551	-33	+1	+4.06	-4.15	+0.2	+0.0	+0.2	0.00	700	3.8	5.4
7	800	100		90	107.00	+2.0	+1.8	+4.1	180	100.0	+679	-34	+1	+4.05	-4.13	+0.2	+0.0	+0.3	0.00	800	5.0	6.8
8	900	110		90	114.50	+2.1	+1.9	+4.1	180	110.0	+831	-37	+1	+4.11	-4.17	+0.3	+0.0	+0.3	0.00	900	6.4	8.4
9	1000	120		90	118.00	+2.0	+1.9	+4.0	180	120.0	+972	-38	+1	+4.05	-4.09	+0.3	+0.0	+0.4	0.00	1000	7.9	10.1
10	1250	145		90	130.50	+2.1	+1.9	+4.1	180	145.0	+1417	-41	+2	+4.06	-4.06	+0.4	+0.0	+0.5	0.00	1250	12.3	15.3
11	1500	175		90	151.00	+2.1	+1.9	+4.1	180	175.0	+2066	-47	+2	+4.08	-4.05	+0.4	+0.0	+0.6	0.00	1500	17.7	22.1

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN ONDERSTEUND VLG.DE METHODE VAN OLANDER.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 20.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 10.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ASB-CEM BUIS WANDDIKTE BEREK. :::NUMMER::: 33

BS NUMMER	INW.DIAM MM	WAND DIK MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK WAND E GRA	DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	GEW KN/M	EIGN GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1500	60		90	150.00	+21.5	+22.8	+34.7	180	60.0	+1707	+330	+1	+34.71	-22.24	+0.9	+6.2	+3.4	0.50	1500	17.7	5.9
1	1500	62		90	150.00	+20.3	+21.5	+32.7	180	62.0	+1709	+330	+1	+32.72	-20.67	+0.9	+6.0	+3.2	0.50	1500	17.7	6.1
1	1500	64		90	150.00	+19.2	+20.3	+31.0	180	64.0	+1714	+330	+1	+30.96	-19.29	+0.9	+5.9	+3.0	0.50	1500	17.7	6.3
1	1500	66		90	150.00	+18.3	+19.3	+29.4	180	66.0	+1719	+330	+1	+29.36	-18.03	+0.8	+5.7	+2.9	0.50	1500	17.7	6.5
1	1500	68		90	150.00	+17.4	+18.3	+27.9	180	68.0	+1724	+330	+1	+27.89	-16.89	+0.8	+5.5	+2.7	0.50	1500	17.7	6.7

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN GELYKMATIG ONDERSTEUND.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 79.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 10.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: STALEN BUIS WANDDIKTE BEREK. :::NUMMER::: 34

BS NUMMER	INW.DIAM MM	WAND DIK MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK WAND E GRA	DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	GEW KN/M	EIGN GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1000	18	180	30	100.00	+234.3	+232.2	+328.5	180	18.0	+1309	+1498	+0	+328.51	-156.35	+7.8	+83.3	+14.3	3.00	1000	7.9	4.5
1	1000	20	180	30	100.00	+197.6	+195.4	+274.4	180	20.0	+1314	+1495	+0	+274.39	-119.74	+7.0	+74.9	+11.6	3.00	1000	7.9	5.1
1	1000	22	180	30	100.00	+170.1	+167.8	+234.1	180	22.0	+1321	+1495	+0	+234.13	-93.52	+6.4	+68.0	+9.7	3.00	1000	7.9	5.6
1	1000	24	180	30	100.00	+148.7	+146.4	+202.9	180	24.0	+1329	+1495	+0	+202.92	-74.01	+5.9	+62.4	+8.2	3.00	1000	7.9	6.1
1	1000	26	180	30	100.00	+131.6	+129.2	+178.2	180	26.0	+1337	+1495	+0	+178.18	-59.17	+5.5	+57.6	+7.1	3.00	1000	7.9	6.6

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN GELYKMATIG ONDERSTEUND.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 20.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 0.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ASB-CEM BUIS DRUKBALKBREEDTE :::NUMMER::: 35

BS NUMMER	INW.DIAM MM	WAND DIK MM	OPLEGBRED IN MM A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK WAND E GRA	DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	GEW KN/M	EIGN GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1500	60	0	170	110.00	+47.3	+25.0	+44.5	0	60.0	+2765	+0	+0	+47.30	-44.92	+0.6	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	5.9
1	1500	60	50	170	110.00	+46.1	+25.0	+44.5	0	60.0	+2697	+0	+0	+46.13	-43.81	+0.6	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	5.9
1	1500	60	100	170	110.00	+45.0	+25.0	+44.5	0	60.0	+2630	+0	+0	+44.99	-42.73	+0.6	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	5.9
1	1500	60	150	170	110.00	+43.9	+25.0	+44.5	180	60.0	+2601	+0	+0	+44.48	-42.27	+1.7	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	5.9
1	1500	60	200	170	110.00	+42.8	+25.0	+44.4	180	60.0	+2599	+0	+0	+44.45	-42.24	+1.7	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	5.9

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN GELYKMATIG ONDERSTEUND.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 10.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIS INVL.OPLEGHOEK :::NUMMER::: 36

BS NUM MER	INW. DIAM MM	WAN DIK MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK E GRA	WAND DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	EIGN GEW KN/M	GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1500	180	180	0	150.00	+4.4	+3.5	+9.2	180	180.0	+4601	-1	+2	+9.17	-7.95	+0.9	+0.0	+0.9	0.00	1500	17.7	22.8
1	1500	180	180	15	150.00	+4.4	+3.5	+8.2	180	180.0	+4101	-1	+2	+8.17	-7.09	+0.8	+0.0	+0.8	0.00	1500	17.7	22.8
1	1500	180	180	30	150.00	+4.4	+3.4	+7.3	180	180.0	+3651	+0	+2	+7.28	-6.31	+0.7	+0.0	+0.8	0.00	1500	17.7	22.8
1	1500	180	180	45	150.00	+4.3	+3.4	+6.5	180	180.0	+3257	+1	+2	+6.50	-5.62	+0.6	+0.0	+0.7	0.00	1500	17.7	22.8
1	1500	180	180	60	150.00	+4.2	+3.3	+5.8	180	180.0	+2921	+2	+2	+5.83	-5.04	+0.5	+0.0	+0.6	0.00	1500	17.7	22.8
1	1500	180	180	75	150.00	+4.1	+3.2	+5.3	180	180.0	+2641	+3	+2	+5.28	-4.55	+0.4	+0.0	+0.6	0.00	1500	17.7	22.8
1	1500	180	180	90	150.00	+4.0	+3.1	+4.8	180	180.0	+2415	+4	+2	+4.84	-4.15	+0.4	+0.0	+0.5	0.00	1500	17.7	22.8

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
BELAST DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN EN ONDERSTEUND DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 0.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIS OMTREK HOEK E :::NUMMER::: 37

BS NUM MER	INW. DIAM MM	WAN DIK MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK E GRA	WAND DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	EIGN GEW KN/M	GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	0	180.0	+2310	-38	+0	+4.39	-4.20	+0.3	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	10	180.0	+2354	-37	+6	+4.48	-4.27	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	20	180.0	+2484	-36	+12	+4.75	-4.49	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	30	180.0	+1575	-47	-84	+2.88	-2.98	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	40	180.0	+405	-61	-75	+0.47	-1.04	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	50	180.0	-616	-74	-64	-1.64	+0.65	-0.0	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	60	180.0	-1453	-85	-50	-3.37	+2.04	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	70	180.0	-2079	-93	-35	-4.66	+3.08	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	80	180.0	-2472	-98	-18	-5.47	+3.73	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	90	180.0	-2617	-100	-1	-5.77	+3.96	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	100	180.0	-2506	-100	+16	-5.55	+3.78	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	110	180.0	-2140	-96	+34	-4.80	+3.16	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	120	180.0	-1526	-89	+50	-3.54	+2.14	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	130	180.0	-680	-79	+65	-1.80	+0.73	+0.1	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	140	180.0	+374	-67	+78	+0.37	-1.02	-0.0	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	150	180.0	+1608	-53	+89	+2.91	-3.07	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	160	180.0	+2563	-42	-17	+4.88	-4.66	+0.3	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	170	180.0	+2379	-44	-8	+4.50	-4.36	+0.3	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	180	180.0	+2317	-45	+0	+4.37	-4.25	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
BELAST DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN EN ONDERSTEUND DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 0.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIS A=B=45 :::NUMMER::: 38

BS NUM MER	INW. DIAM MM	WAN: DIK: MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK E GRA	WAND DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	EIGN GEW KN/M	GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	0	180.0	+2310	-38	+0	+4.39	-4.20	+0.3	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
2	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	22	180.0	+2530	-36	+13	+4.85	-4.57	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
3	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	90	180.0	-2617	-100	-1	-5.77	+3.96	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
4	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	157	180.0	+2558	-42	+96	+4.87	-4.65	+0.3	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8
5	1500	180	45	45	189.00	+4.4	+4.0	+4.4	180	180.0	+2317	-45	+0	+4.37	-4.25	+0.2	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	22.8

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN,VERVORMING EN ELASTICITEITSMODULI VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN GELYKMATIG ONDERSTEUND.
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 10.00 KN/M3.
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

CULTUURTECHNISCHE DIENST
AFD. WATERHUISHOUDING

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIS VERVORMING :::NUMMER::: 39

BS NUM MER	INW. DIAM MM	WAN: DIK: MM	HOEKEN GRADEN A	B	BELAS-TING KN/M	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN	OPZY	ONDER	HOEK E GRA	WAND DIKTE MM	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M	KRACHT KN/M NORML	DWARS	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN	BUITEN	EIG GEW	VLOEISTOF DRUK	GEW	VLOEISTOF DRUK N/MM2	VULH MM	EIGN GEW KN/M	GEW KN/M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	1500	175	180	90	100.00	+3.4	+2.8	+4.1	180	175.0	+1742	+80	+2	+4.13	-2.73	+0.4	+0.4	+0.6	0.10	1500	17.7	22.1

:BEREKENDE VERVORMING BY EEN WANDDIKTE VAN 175.0 MM EN DE VOLGENDE ELASTICITEITSMODULI IN N/MM2 VAN

BELAS-TING IN KN	40000 VERTICAL	HORIZONT	42500 VERTICAL	HORIZONT	45000 VERTICAL	HORIZONT	0 VERTICAL	HORIZONT
	VERVORMING IN MM:		VERVORMING IN MM:		VERVORMING IN MM:		VERVORMING IN MM:	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.0	-0.032	+0.031	-0.030	+0.030	-0.028	+0.028		
20.0	-0.064	+0.063	-0.060	+0.059	-0.056	+0.056		
30.0	-0.095	+0.094	-0.090	+0.089	-0.085	+0.084		
40.0	-0.127	+0.126	-0.120	+0.118	-0.113	+0.112		
50.0	-0.159	+0.157	-0.149	+0.148	-0.141	+0.140		
60.0	-0.191	+0.189	-0.179	+0.177	-0.169	+0.168		
70.0	-0.222	+0.220	-0.209	+0.207	-0.198	+0.196		
80.0	-0.254	+0.251	-0.239	+0.237	-0.226	+0.224		
90.0	-0.286	+0.283	-0.269	+0.266	-0.254	+0.251		
100.0	-0.318	+0.314	-0.299	+0.296	-0.282	+0.279		

:BER.WAND BY GEMETEN VERVORMING :
:EN VOLGENDE ELAST.MOD.IN N/MM2 :

WANDDIKTE=175.0 MM		
GEMETEN VERT.VER VORM. MM	BEREKENDE ELAST.MOD IN N/MM2	
14	15	

WANDDIK TE MM	40000 WANDDIK TE MM	42500 WANDDIK TE MM	45000 WANDDIK TE MM	0 WANDDIK TE MM
10	11	12	13	

Bijlage 21

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN,VERVORMING EN ELASTICITEITSMODULI VAN RONDE BUIZEN.
BELAST DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN EN ONDERSTEUND DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN. CULTUURTECHNISCHE DIENST
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 20.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 0.00 KN/M3. AFD. WATERHUISHOUDING
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

:::PROJECT::: ASB-CEM BUIS GEMETEN VERVORMNG :::NUMMER::: 40

BS NUMMER 1	INW.DIAM MM 2	WAN DIK MM 3	HOEKEN GRADEN A 4	HOEKEN GRADEN B 5	BELASTING KN/M 6	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 BOVEN 7	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 OPZY 8	BUIGTREKSPANNING IN NEWTON/MM2 ONDER 9	HOEK WAND E GRA 10	DIKTE MM 11	GEGEVENS BEHOREND BY HOEK E MOMENT KN.M 12	KRACHT KN/M NORML 13	KRACHT KN/M DWARS 14	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BINNEN 15	BUIGSPANNING IN N/MM2 TOTAAL BUITEN 16	EIG GEW 17	VLOEISTOF DRUK 18	VLOEISTOF GEW 19	VLOEISTOF DRUK N/MM2 20	VULH MM 21	EIGN GEW KN/M 22	EIGN GEW KN/M 23
1	1200	44	45	45	140.00	+38.1	+40.2	+38.1	157	43.8	+1356	-28	+66	+42.78	-42.05	+0.7	+0.0	+0.0	0.00	0	0.0	3.4

BELASTING IN KN 1	BEREKENDE VERVORMING BY EEN WANDDIKTE VAN 43.8 MM EN DE VOLGENDE ELASTICITEITSMODULI IN N/MM2 VAN 20000 VERTICAL 2	20000 HORIZONT 3	21500 VERTICAL 4	21500 HORIZONT 5	23000 VERTICAL 6	23000 HORIZONT 7	25000 VERTICAL 8	25000 HORIZONT 9	BER.WAND BY GEMETEN VERVORMING EN VOLGENDE ELAST.MOD.IN N/MM2 20000 WANDDIK TE MM 10	21500 WANDDIK TE MM 11	23000 WANDDIK TE MM 12	25000 WANDDIK TE MM 13	WANDDIKTE= 43.8 MM GEMETEN VERT.VERVORM. MM 14	BEREKENDE ELAST.MOD IN N/MM2 15
18.0	-3.310	+3.331	-3.079	+3.098	-2.879	+2.896	-2.648	+2.665	+43.9	+42.8	+41.9	+40.7	-3.300	20071
28.0	-5.150	+5.181	-4.790	+4.820	-4.478	+4.505	-4.120	+4.145	+45.8	+44.7	+43.7	+42.5	-4.500	22896
38.0	-6.989	+7.032	-6.501	+6.541	-6.077	+6.114	-5.591	+5.625	+46.6	+45.5	+44.5	+43.3	-5.800	24109
48.0	-8.828	+8.882	-8.212	+8.262	-7.676	+7.724	-7.062	+7.106	+46.7	+45.6	+44.5	+43.3	-7.300	24195
58.0	-10.667	+10.733	-9.923	+9.984	-9.276	+9.333	-8.534	+8.586	+46.0	+44.9	+43.9	+42.7	-9.200	23198
68.0	-12.506	+12.583	-11.634	+11.705	-10.875	+10.942	-10.005	+10.066	+47.0	+45.9	+44.9	+43.7	-10.100	24774
78.0	-14.345	+14.433	-13.344	+13.426	-12.474	+12.551	-11.476	+11.547	+46.9	+45.8	+44.8	+43.5	-11.700	24532
88.0	-16.184	+16.284	-15.055	+15.148	-14.073	+14.160	-12.947	+13.027	+46.7	+45.5	+44.5	+43.3	-13.400	24165
98.0	-18.023	+18.134	-16.766	+16.869	-15.673	+15.769	-14.419	+14.507	+46.1	+45.0	+44.0	+42.8	-15.500	23265
108.0	-19.863	+19.985	-18.477	+18.590	-17.272	+17.378	-15.890	+15.988	+45.8	+44.7	+43.7	+42.5	-17.400	22840
118.0	-21.702	+21.835	-20.188	+20.312	-18.871	+18.987	-17.361	+17.468	+45.0	+43.9	+43.0	+41.8	-20.000	21710
128.0	-23.541	+23.686	-21.898	+22.033	-20.470	+20.596	-18.833	+18.948	+44.9	+43.9	+42.9	+41.7	-21.800	21606
138.0	-25.380	+25.536	-23.609	+23.754	-22.070	+22.205	-20.304	+20.429	+44.4	+43.3	+42.4	+41.2	-24.400	20812

GEGEVENS VAN DE BEREKENING BEHORENDE BY DE DAYFILE VAN HET PROGRAMMA BUIS

BEREKENING VAN DE MOMENTEN,NORMAAL- ,DWARSKRACHTEN,BUIGSPANNINGEN VAN RONDE BUIZEN.
GELYKMATIG BELAST EN ONDERSTEUND DOOR TWEE MIDDELPUNTSGERICHTE KRACHTEN. CULTUURTECHNISCHE DIENST
SOORTELYK GEWICHT BUISMATERIAAL = 24.00 KN/M3. SOORTELYK GEWICHT VLOEISTOF = 0.00 KN/M3. AFD. WATERHUISHOUDING
VOOR BUIGSPANNING GELDT + = TREK - = DRUK.
1 KN/M= CA 100 KGF/M , 1 N/MM2= CA 10 KGF/CM2 , 1 KN.M= CA 100 KGF.M , 1 N/M = CA 0.1 KGF/M.

:::PROJECT::: ONGEW.BETONBUIZEN KEUR B=30 :::NUMMER::: 31

HET TOTAAL AANTAL BEREKENDE BUIZEN BEDRAAGT 11

JOBCONTROL-KAARTEN VOOR HET GEBRUIK VAN HET PROGRAMMA BUIS.

```
$SEQUENCE,XXX.
$CHARGE,RXXXXXX.
JOBNAME,CM60000,CL100000,T100,IO200,P2,MT1.
LABEL,TGPUB,R,L=TGPUB,VSN=XXXX.
REWIND,TGPUB.
SKIPF,TGPUB,4,17,B.
COPYBF,TGPUB,BUIS.
REWIND,TGPUB.
RETURN,TGPUB.
MODE,1.
BUIS.
7/8/9/ KAART
KAARTSOORT    0
KAARTSOORT    1
KAARTSOORT    2
KAARTSOORT    3
KAARTSOORT    0
KAARTSOORT    1
KAARTSOORT    2
KAARTSOORT    3
KAARTSOORT    4
KAARTSOORT    5
KAARTSOORT    0
KAARTSOORT    1
KAARTSOORT    2
KAARTSOORT    3
EN ZO VOORT
6/7/8/9/ KAART
```