

Hogeschool gent, 1999

Dimensionering van een spuivat in een stoominstallatie

Eindwerk tot het behalen van de graad van
Industrieel ingenieur Elektromechanica
BME, Gent, 1999

Bruce Van Gele
Ward Van Heddeghem

Woord vooraf

Graag zouden wij de volgende personen en instellingen danken voor het helpen tot stand komen van dit eindwerk. De firma EMK die middelen ter beschikking stelde zodat we aan dit project konden werken. Dhr. Filip Van Elstraete die aan de basis lag van dit eindwerk en op wie we steeds konden rekenen, hoewel hij door omstandigheden ons niet verder kon opvolgen. Ook de mensen van de Engineering op EMK die ondanks hun drukke schema toch tijd vrijmaakten voor onze vragen. Van de Hogeschool uit konden we rekenen op een goede begeleiding van Dhr. Chris Van Cleemput en Dhr. Armand Lefebure.

In het bijzonder willen we Dhr. Robert Torck danken die belangeloos maar met veel gedrevenheid de taak als promotor op zich nam, niettegenstaande de aanvang van dit eindwerk reeds enkele maanden achter ons lag. Zijn jarenlange ervaring op het gebied van stoomtoepassingen was een grote steun voor ons.



*Bruce Van Gele
Ward Van Heddeghem
Gent, april 1999*

DIMENSIONERING VAN EEN SPUIVAT IN EEN STOOMINSTALLATIE

ABSTRACT : Het spui vat is een onderdeel van een stoominstallatie en is van belang bij het op peil houden van de waterkwaliteit. Het thermodynamisch proces in het spuitvat is niet correct gekend. Daarom wordt het vat in dit werk aan een nader onderzoek onderworpen, zodanig dat het spui vat juist gedimensioneerd kan worden.

Het spui proces wordt bestudeerd, waarin de studie van twee-fasenstroming en bepalen van het spuidebiet in de spuileiding een belangrijke plaats inneemt. Ook worden de verschillende parameters die van belang zijn bij het ontwerpen van een spui vat, besproken. Het geheel van deze studie werd in een computerprogramma (QBasic) geïmplementeerd.

Het is belangrijk te vermelden dat de bekomen resultaten niet door metingen geverifieerd zijn.

KERNWOORDEN: spuidebiet, spuien, spui vat, stoominstallatie, twee-fasenstroming, waterkwaliteit

DIMENSIONING A BLOW DOWN VESSEL IN A STEAM INSTALLATION

ABSTRACT: The blow down vessel is part of a steam installation and has an important role in sustaining the water quality in the steam boiler at an acceptable level. The thermodynamical process within this vessel is not well know. Therefore, a detailed study is required in order to dimension the vessel more accurate.

The blow down process is studied, which mainly consists of a two-phase flow study and determining the flow rate in the blow down pipe. Also, different parameters of influence to the design of a blow down vessel, are discussed. The total study has been implemented in a computer program (QBasic). It is important to mention that the obtained results are not verified by any test, however it was intended to.

KEYWORDS : blow down, flow rate, two-phase flow, steam installation, boiler, water quality

Dimensionering van een spuiwat in een stoominstallatie

1	INLEIDING	6
1.1	WAT IS EEN SPUITANK?	6
1.2	DOEL VAN DE OPDRACHT.	6
2	AFSPRAKEN ROND NAAMGEVING	8
2.1	KETEL – SPUIVAT.....	8
2.2	LEIDINGEN	8
2.3	DRUKKEN.....	8
2.4	DEBIETEN.....	8

DEEL I

3	VERLOOP VAN HET EINDWERK.....	11
----------	--------------------------------------	-----------

DEEL II

4	OPSPLITSEN VAN HET PROBLEEM	15
4.1	ALGEMENE BESCHRIJVING VAN HET PROCES IN DE SPUILEIDING	15
4.2	ALGEMENE BESCHRIJVING VAN HET PROCES IN DE AFVOERLEIDING.....	15
4.3	ALGEMENE BESCHRIJVING VAN HET PROCES IN DE ONTLUCHTINGSLEIDING.....	16
5	BEPALEN VAN DE DRUKVALLEN.....	17
5.1	SPUILEIDING.....	17
5.1.1	<i>Behoud van energie.....</i>	<i>17</i>
5.1.2	<i>De 3 componenten van een tweefasendrukval.....</i>	<i>18</i>
5.1.3	<i>Bespreking van de wrijvingsdrukval.....</i>	<i>18</i>
5.1.4	<i>Bespreking van de acceleratiedrukval.....</i>	<i>21</i>
5.1.5	<i>Bespreking van de gravitatiedrukval</i>	<i>22</i>
5.1.6	<i>Totale drukval.....</i>	<i>23</i>
5.1.7	<i>Drukval over bochten en kranen.....</i>	<i>23</i>
5.2	DE AFVOERLEIDING.....	25
5.3	ONTLUCHTINGSLEIDING.....	26
6	ONTWERPPARAMETERS	28
6.1	WAAR MOET REKENING MEE GEHOUDEN WORDEN ?	28
6.2	ONTLUCHTINGSLEIDING	28
6.3	AFVOERLEIDING.....	29
6.4	DE SPUITIJD	29
6.4.1	<i>Bepalen van het spuipercentage.....</i>	<i>30</i>
6.4.2	<i>De spui-periode.....</i>	<i>31</i>
6.4.3	<i>Berekenen van de spuitijd.....</i>	<i>32</i>
6.4.4	<i>Voorbeeld.....</i>	<i>32</i>
6.5	VOLUME SPUIVAT.....	32
6.5.1	<i>Verdringing.....</i>	<i>33</i>
6.5.2	<i>Menging.....</i>	<i>33</i>
6.5.3	<i>Overgaan van spuiwatwatervolume naar spuiwatvolume ($V_{sw} \rightarrow V_s$).....</i>	<i>34</i>
6.5.4	<i>Diameter en hoogte van het spuiwat.....</i>	<i>34</i>

DEEL III

7	PROGRAMMABESCHRIJVING	36
7.1	ALGEMEEN	36
7.2	PROGRAMMEERTECHNISCHE DETAILS	36
7.3	STROOMSCHEMA'S + UITVOERIGE BESCHRIJVING VAN DE BELANGRIJKSTE PROCEDURES EN FUNCTIES	39
7.3.1	<i>NInstBerekenen</i>	39
7.3.2	<i>Spuileidingsdebiet</i>	40
7.3.3	<i>Spuileidingsdrukval</i>	41
7.3.4	<i>Bepaalpa</i>	42
7.3.5	<i>Bepaalalfa</i>	42
7.3.6	<i>BepaalpF</i>	43
7.3.7	<i>Bepaalpg</i>	44
7.3.8	<i>Bepaalpb</i>	45
7.3.9	<i>Ontluchttingsleiding</i>	46
7.3.10	<i>NwaterHoogte</i>	46
7.3.11	<i>OInstberekenen</i>	47
7.3.12	<i>pvAfhankelijkVanA3</i>	48
7.3.13	<i>Volume</i>	48
7.3.14	<i>BepaalAfvoerDiameter</i>	49

DEEL IV

8	TESTEN	51
8.1	MET DEBIETMETER	51
8.2	VIA DEBIET AFVOERLEIDING	51
8.3	VIA PEILGLAS STOOMKETEL	51
8.4	TIJD OPNEMEN TOT WATER DOOR DE AFVOERLEIDING KOMT – DE EIGENLIJK UITGEVOERDE METING	51
8.5	BESLUIT:	52

DEEL V

9	VOORBEELDBEREKENING	54
9.1	INSTALLATIE NAREKENEN	54
9.2	ONTWERPEN INSTALLATIE	55
10	VERGELIJKEN MET GEGEVENS VAN BESTAANDE INSTALLATIE	57

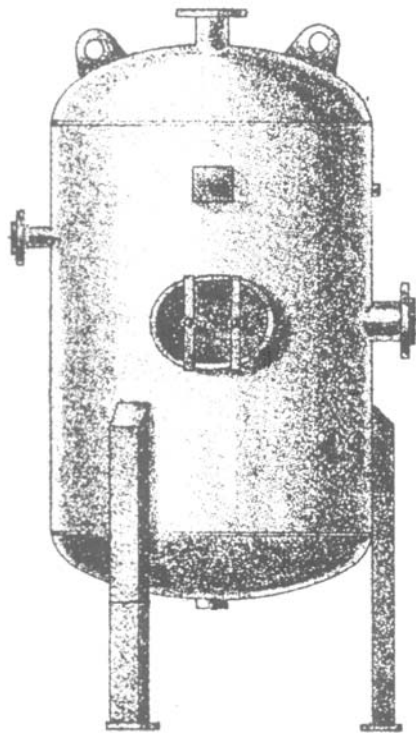
DEEL VI

11	ALGEMEEN BESLUIT	59
-----------	-------------------------	-----------

BIJLAGEN

1 Inleiding

1.1 Wat is een spuitank?



De ketel en de spuitank zijn een onderdeel van een stoominstallatie. Op de bodem van een ketel vindt men een bezinksel van de in het water aanwezige mineralen en onzuiverheden. Om de concentratie aan vaste producten in het ketelwater beneden een toelaatbaar maximum te houden is het onontbeerlijk de ketel te spuien. Dit toelaatbaar maximum is afhankelijk van factoren zoals het ontwerp van de ketel, zijn belasting, de analyse van het vers water, de waterbehandeling en het percentage van het gecondenseerde water.

In veel ketels zal, door hun afmeting en type, samen met een goede waterbehandeling en met behulp van een hoog percentage gerecupereerd condensaat, een lage concentratie aan vaste deeltjes gehandhaafd worden door regelmatig te spuien. Het spuien gebeurt dan gedurende een korte tijd, één of tweemaal per dag of zelfs eens per week, afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden. Telkens de spuikraan geopend wordt, zal heet ketelwater afgevoerd worden en het is over het algemeen niet toegelaten dit te laten gebeuren langs het rioleringsnet, evenmin wordt toegelaten dat dergelijke

spui in het oppervlaktewater terecht komt. Om die redenen wordt het water over het algemeen afgevoerd langs een spuitank.

De afmeting van de ketel, zijn werkdruk, hoeveel en hoe vaak er gespuid wordt, zijn factoren die de afmeting van een spuitank zullen bepalen. Het doel van de spuitank is een opslagvat te vormen waarin het spuiwater uit de ketel voldoende lang wordt opgehouden om af te koelen vooraleer het wordt afgevoerd.

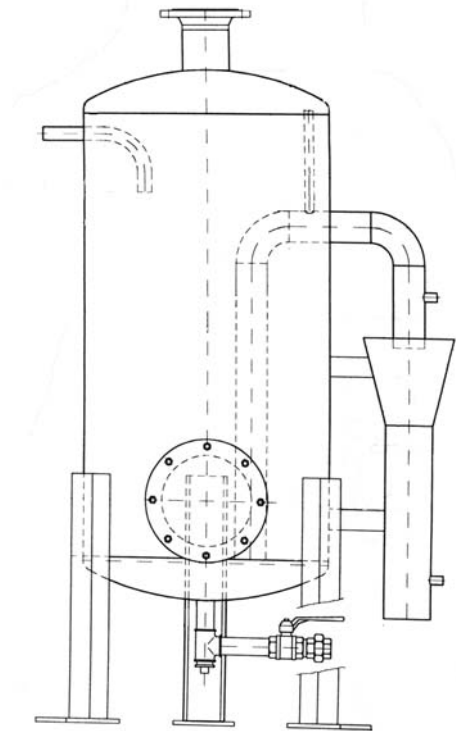
1.2 Doel van de opdracht.

Een spuitank is een onderdeel waarvan men het thermodynamisch proces niet correct kent. De afmetingen van de spuitank worden in de meeste gevallen arbitrair vastgelegd door gebruik te maken van een aantal soms foutieve of op niets gebaseerde vuistregels. Dergelijke praktijken leiden uiteraard tot een verkeerde dimensionering. Mogelijke gevolgen zijn:

- in veel gevallen een overdimensionering van het toestel (uit veiligheidsredenen zal men zich steeds veilig stellen) wat de kostprijs nadelig beïnvloedt.
- Sterk verhoogde engineeringkosten: een standaardisatie van het gamma spuitanks is niet mogelijk aangezien de capaciteit der toestellen niet gekend is. Elke spuitank moet derhalve opnieuw uitgetekend worden, enz...
- Sterk verhoogde productiekost aangezien de spuitanks niet in serie geproduceerd kunnen worden.

Zodis is het zeker geen overbodige luxe om dit onderdeel aan een nader onderzoek te onderwerpen.

Het doel van dit eindwerk is dan ook om een thermodynamisch model van de spuitank te ontwikkelen en dit in de gepaste software te implementeren. Het programma moet zodanig zijn opgevat dat het op een eenvoudige en gebruiksvriendelijke wijze tot de hoofdafmetingen van de spuitank kan komen. Het model zal gevalideerd worden door een spuitank in werkelijkheid te testen. Het begeleiden, organiseren en evalueren van deze testen behoort eveneens tot de opdracht. Vervolgens moet het model desgevallend worden aangepast volgens de testresultaten. Tot slot moet een standaardgamma van spuitanks worden voorgesteld dat het productbereik volledig omschrijft.



2 Afspraken rond naamgeving

In deze thesis wordt in de tekst en in nagenoeg alle formules voortdurend gegoocheld met verschillende drukken, debieten, wrijvingscoëfficiënten, ... op verschillende plaatsen in weer verschillende leidingen, al dan niet voor water, stoom of een combinatie van beiden.

Om naar alles eenduidig en zonder verwarring te kunnen verwijzen worden hier de gebruikte symbolen en benamingen opgesomd (zie Appendix A). Zowel symbolen als benamingen volgen geen specifieke standaard, maar zijn gegroeid uit de studie van verschillende literaire werken rond dit onderwerp. De eenheden van alle grootheden volgen de SI-standaard.

2.1 *Ketel – Spuivat*

Wanneer ketel vernoemd wordt in de tekst slaat dit steeds op de stoomketel zelf en niet op het spuivat.

2.2 *Leidingen*

Er zijn 3 leidingen waarnaar als volgt gerefereerd wordt (zie ook figuur):

- de **spuileiding**: is de leiding die van de stoomketel naar het spuivat loopt. Wordt in formulesnotatie naar verwezen met index **1**
- de **afvoer(leiding)**: is die leiding die het spuivat zal afvoeren. Wordt in formulesnotatie naar verwezen met index **2**
- de **ontluchting(sleiding)**: is de leiding die begint boven aan het spuivat en enkele meters hoger in open lucht uitmondt. Deze leiding voert de revaporisatiestoom af. Wordt in formulesnotatie naar verwezen met index **3**

Het begin, respectievelijk einde van elke leiding wordt aangeduid met index **a** en **b**. Begin en einde worden gezien vanuit stromingsoogpunt van de doorstromende stof.

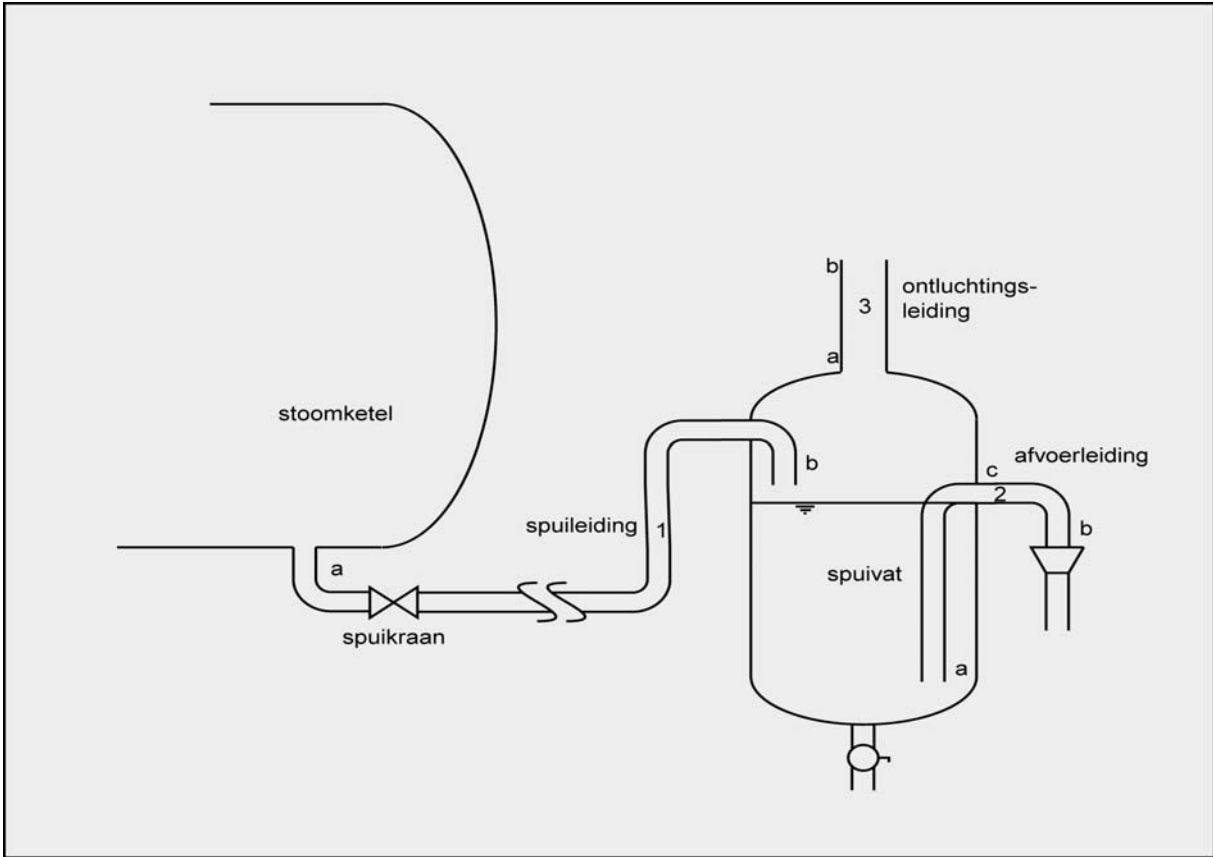
Bijv: Om de druk aan te duiden aan het begin van de spuileiding: p_{1a} .
De druk aan het einde van de spuileiding is dan: p_{1b}

2.3 *Drukken*

Tenzij anders vermeld is er steeds sprake van absolute druk. Dus een stoomketel die op 12 bar werkt zal in formules e.d. ingevuld worden als $13 \cdot 10^5 \text{Pa}$.

2.4 *Debieten*

Het rekenen met een samendrukbaar medium als stoom, en vooral tweefasenstroming, maakt het onpraktisch te werken met volumedebieten (symbool Q). Daarom wordt bijna altijd gerekend met een massadebiet (symbool W). Verband: $W = \rho \cdot Q$. Stoom wordt aangeduid met index **G** en water met index **L**. Wanneer niet anders vermeld mag debiet dus als massadebiet geïnterpreteerd worden.



Figuur 1

DEEL I

VERLOOP VAN HET EINDWERK

3 Verloop van het eindwerk

Het verloop van ons eindwerk is opgesplitst in een aantal grof in te delen periodes, volgens de welke wij te werk gegaan zijn:

<u>Begin september:</u>	herhalen van begrippen uit fluïda/thermodynamica, meer specifieke documentatie zoeken aangaande tweefasenstroming en spuietels.
<u>Eind september:</u>	theorie toegepast in Excel
<u>Oktober:</u>	Foute redenering gevonden en tot conclusie gekomen dat Excel niet geschikt is voor de oplossing van het probleem. Overgeschakeld op Qbasic.
<u>November:</u>	verdere implementatie in Qbasic.
<u>December:</u>	zoeken naar een geschikte testmethode voor de gevonden resultaten en testen.
<u>Januari:</u>	examenperiode.
<u>Februari:</u>	laatste aanvullingen en opkuisen van het programma.
<u>Maart-April:</u>	berekeningen i.v.m. de spuitijd en de afloeling van het spuiwat uitschrijven

Begin september

Gedurende de gehele maand september liepen we, in het kader van dit eindwerk, stage bij EMK, zodat we elke dag aan het probleem konden werken. Allereerst werden de basisbegrippen van fluïda- en thermodynamica even opgefrist. Nadat bleek dat de stroming in de spuilleiding twee-fasenstroming was, zochten we naar meer specifieke informatie. Twee-fasenstroming bleek een vrij moeilijk probleem te zijn en literatuur daaromtrent was slechts schaars aanwezig op de verschillende vakcampussen van de RUG. Aan het zoeken spendeerden we heel wat tijd. Volgende werken vormden toch een aanzienlijke bron van informatie gedurende de stage: *Two-phase flow and heat-transfer (Hewitt and Butterworth)* en *Two-phase flow in pipelines and heat exchangers (Chisolm)*.

Eind september

We vonden enkele formules⁽¹⁾ om de drukval/debiet in de spuilleiding te berekenen, die we besloten in Excel in te brengen. De uitprint van het werkblad in Excel (zie Appendix B) geeft een overzicht van de gebruikte formules en de gevolgde werkwijze.

¹ Two-phase flow and heat-transfer, p. 55

Omdat de resultaten niet bevredigend waren, werd de theorie opnieuw doorgenomen. Hierbij bleek dat de gebruikte formules slechts opgingen voor een lineaire verandering van de kwaliteit, wat wij niet zonder meer mochten aannemen.

Oktober

We gingen over op de meer algemene formule die verplichtte te integreren over de gehele spuileiding. Omdat verschillende parameters in de formule niet uit te drukken zijn in een zuivere en correcte functie van de druk, die op zijn beurt functie is van de plaats in de leiding, konden we niet analytisch integreren maar moesten we dit numeriek doen. Aangezien Excel hiervoor minder geschikt is, besloten we over te stappen op het programma QBasic. QBasic was ons reeds bekend en liet een vlotte programmering toe. Hierdoor konden we ons volledig toespitsen op het probleem zonder dat we ons nog moesten verdiepen in de programmeertaal zelf. Eens het programma op punt zou staan, zouden we het herprogrammeren in de krachtigere programmeertaal C++.

De algemene vorm van het programma werd geschreven (opsplitsing in een deel dat een bestaande installatie narekent en een 2^{de} deel dat een installatie ontwerpt), hoewel we ons in het begin vooral concentreerden op de procedures voor het bepalen van het debiet. Een groot obstakel in onze berekeningen was de bepaling van de parameter α , de kwaliteit. Een uitgebreide zoektocht werd opnieuw ondernomen, om een geschikte manier of formule te vinden om deze α te bepalen. Wij informeerden ons ook tevergeefs bij verschillende professoren aan de RUG. Uiteindelijk vonden we in het werk *Liquid-vapor phase-change phenomena* (Van P. Carey) wat we zochten⁽²⁾. Zie eqn. 31

November

Onze uitkomsten waren, naar wat we verwachtten, toch nog niet bevredigend. In ons programma hadden we tot nu toe verondersteld dat de parameters die drukafhankelijk zijn (viscositeit, temperatuur, dichtheid, enthalpiën, enz.) lineair verlopen over de lengte van de spuileiding. Omdat we dachten dat dit een bron van fouten kon zijn, besloten we een tabel aan te leggen van de druk op de verschillende deelintervallen in de spuileiding. De tabel werd dan gebruikt voor de berekening van de zopas genoemde parameters, correct berekend afhankelijk van de druk op die plaats. Grote verschillen t.o.v. eerdere resultaten bleven echter uit. We besloten over te gaan tot testen, om onze resultaten beter te kunnen beoordelen.

December

Eén van de onderdelen van ons eindwerk was de gevonden resultaten controleren door middel van een test op een bestaande installatie. De belangrijkste parameter die moest bepaald worden was het spuidebiet door de spuileiding. Na overleg met personeel van EMK bleek dit niet zo eenvoudig te zijn. Uiteindelijk kwamen we toch tot een paar mogelijkheden, die elk afzonderlijk wel een nadeel hadden, waardoor het testen onmogelijk werd gemaakt. De test die we uiteindelijk uitvoerden, leidde ook niet tot een bruikbaar resultaat. Voor de beschrijving van de test (zie 8. Testen, pag. 51)

Een goedkope testmethode die wel resultaten zou opleveren, was nu niet meer voorhanden. We besloten daarom om dit project louter als een theoretische studie af te werken.

² Introduction to two-phase flow, p. 432-433

Januari

Examenperiode.

Februari

Uitgaande van een - al dan niet fout - debiet, diende er nu nog het volume van het spuiwat bepaald te worden. Dit werd ook in ons programma geïmplementeerd. Het gehele programma werd daarna 'opgekuist'. Ook de gebruikersinterface werd een beetje verbeterd, maar veel tijd werd er niet aan besteed omdat de resultaten niet door een test zijn geverifieerd, en alzo het programma van weinig praktisch nut maken. Er werd besloten om het programma niet meer te converteren naar de programmeertaal C++ om dezelfde reden.

Maart - April

Een volledige programmabeschrijving werd uitgewerkt en het eindwerk werd aangevuld en op punt gesteld. We kwamen tot de conclusie dat we ook rekening moesten houden met de spuitijd en de afkoeling van het water in het spuiwat voor het bepalen van het volume van het spuiwat.

DEEL II

THEORETISCHE STUDIE

4 Opsplitsen van het probleem

Een spuitank moet volgende functies kunnen waarborgen:

- opvangen en bufferen van de hete spui
- de revaporistiestoom uit de spui afscheiden
- voldoende koelen van de spui alvorens het water afgevoerd wordt.

Deze zaken worden hoofdzakelijk bepaald door de afmetingen van de spuitank en de verschillende leidingen die van en naar de spuitank lopen. Om tot die afmetingen te komen zullen een aantal stappen moeten doorlopen worden.

4.1 Algemene beschrijving van het proces in de spuileiding

Wanneer er gespuid wordt zal ketelwater de stoomketel verlaten als water en de spuileiding binnendringen. Vermits er van keteldruk (bijv: 12bar effectief) naar bijna atmosferedruk wordt ontspannen, zal het water dat voor die atmosferedruk een te hoge temperatuur heeft (bijv: 192°C), revaporiseren. Een deel van het water zal dus tot stoom omgezet worden. Dit is logisch vermits bij atmosferedruk geen water met een temperatuur hoger dan 100°C kan bestaan. Omdat stoom bij een zelfde temperatuur per kilogram veel meer energie bevat (de enthalpie van stoom is veel hoger dan die van water), zal niet alle water in stoom omgezet worden, maar slechts zoveel als de energiebalans vereist. Aan het einde van de spuileiding zal er dus een deel stoom en een deel water uitstromen, afhankelijk van de spuiatdruk. Dit impliceert dat er in de spuiatleiding geen stroming van alleen water (vloeistof) of alleen stoom (gas) zal optreden, maar een stroming waarin beide toestanden aanwezig zijn: **twefasenstroming** dus.

Twefasenstroming (Eng: two-phase flow) is een proces dat zich niet zo gemakkelijk laat beschrijven en vervatten in formules. Hierbij komt nog dat de twefasenstroming die in de spuileiding optreedt, er één is waarbij de verhouding van het massadebiet stoom (W_G) tot het totale massadebiet (W) niet constant is over de leiding, maar zal toenemen. Dit specifieke geval is minder goed gedocumenteerd dan twefasenstroming met een zogenaamde constante kwaliteit (de verhouding van de massadebieten). Het berust dan ook nog meer op verschillende empirische vergelijkingen die elk voor verschillende werkingstoestanden geldig zijn.

De vergelijking opstellen die toelaat het debiet (zowel stoom als water) en de drukval te bepalen vormt dan ook een stevige brok van deze studie.

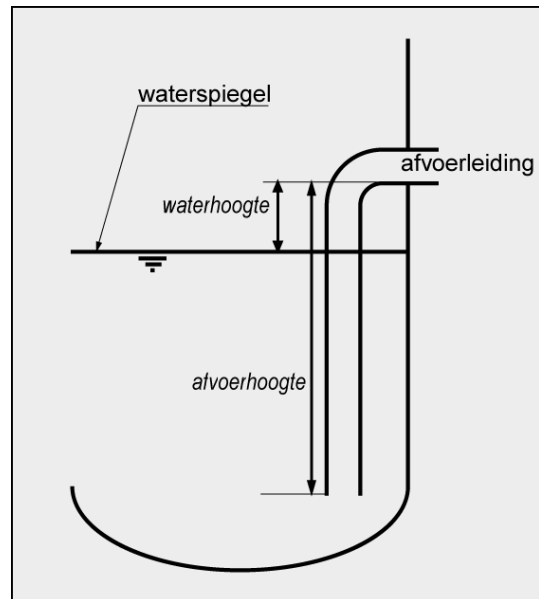
4.2 Algemene beschrijving van het proces in de afvoerleiding

Het massadebiet aan water dat uit de spuileiding stroomt zal moeten afgevoerd worden via de afvoerleiding opdat de tank niet zou vollopen. Bepalen van de sectie vormt door de stroming van alleen water niet echt een probleem.

Een tweede afvoerparameter is de zogenaamde afvoerhoogte (zie figuur hieronder). Dit is de lengte van een deel van de afvoerbuis, namelijk dit stuk vanaf de bovenzijde van de afvoerbuis (waar de waterspiegel is van het spuiat in rust) tot de onderzijde van de buis die

in de spuitank zit. Deze hoogte zal door de geringe overdruk in het spuiat niet groot hoeven te zijn, maar is toch belangrijk. Immers, wordt de druk te hoog in het spuiat dan zal al het water door de afvoerleiding gestuwd worden, waardoor de onderzijde van de afvoerbuis niet meer volledig onder water zal staan en stoom mee zal voeren, wat uiteraard ontoelaatbaar is. Er kan wel worden opgemerkt dat de druk in een goed gedimensioneerd spuiat (meer bepaald: ontluichtingsleiding) nooit erg hoog zal worden, zodat het belang van de afvoerhoogte minder groot is dan eerst vermeld.

Ook zal de afvoerleiding best zo lang genomen worden dat ze tot bijna op de bodem van het spuiat rijkt. Op die manier wordt eerst het koude water naar buiten gestuwd wanneer er gespuid wordt en heet spuiwater in de tank geblazen wordt. Het probleem van een te korte afvoerleiding lijkt dus van de baan geschoven.



Figuur 2

4.3 Algemene beschrijving van het proces in de ontluichtingsleiding

De ontluichtingsleiding speelt een zeer belangrijke rol. Zij zal de revaporisatiestoom die de spuileiding verlaat, voldoende afvoeren zodanig dat er geen gevaarlijk hoge druk wordt opgebouwd in het spuiat (zie 4.2).

Er moet ook voor gezorgd worden dat de uitstroomsnelheid van de stoom niet te hoog is, wat een hoop lawaai met zich meebrengt.

De debiet-drukval relatie is betrekkelijk gemakkelijk op te stellen gezien de geringe drukval.

5 Bepalen van de drukvallen.

5.1 Spuileiding

Vooraleer we hiermee konden starten was een grondige kennis van tweefasenstroming nodig. Hiervoor raadpleegden we tal van werken. Een eerste werk betrof *Two phase flow and heat transfer*, wat een goede inleiding vormde tot tweefasenstroming. Een inleiding tot het betrekkelijk complexe proces tweefasenstroming wordt hier in deze thesis niet gegeven – hoewel het niet onnuttig zou blijken – maar gaandeweg worden de formules, notaties en mechanismen toegelicht wanneer zij aan bod komen.

5.1.1 Behoud van energie

Het water dat de spuileiding ingaat zal er aan het andere uiteinde van de leiding, dus aan de spuitank, gedeeltelijk uitkomen onder de vorm van stoom en onder de vorm van water. De verhouding van het massadebiet aan stoom op het totale massadebiet, gedefinieerd als kwaliteit x , wordt enkel en alleen bepaald door de druk in het spuiat en de keteldruk. Immers, aan de uitgang van de spuileiding geldt:

$$h_{Lk}W = h_G W_G + h_L W_L \quad (\text{Eqn. 1})$$

en met kwaliteit x gedefinieerd als

$$x = \frac{W_G}{W} \quad (\text{Eqn. 2})$$

en met het totale massadebiet gelijk aan:

$$W = W_L + W_G \quad (\text{Eqn. 3})$$

waarin:

h_{Lk} :	enthalpie van het ketelwater (bepaald door de keteldruk of temperatuur)
h_G :	enthalpie van de stoom die het spuiat binnenkomt, dus bij spuiatdruk
h_L :	enthalpie van het water dat het spuiat binnenkomt, dus bij spuiatdruk
W :	totaal massadebiet
W_G :	massadebiet stoom
W_L :	massadebiet water

Samenvoegen en omwerken van de drie formules geeft voor x aan het einde van de spuileiding (en dus aangeduid als x_e):

$$x_e = \frac{h_{Lk} - h_L}{h_G - h_L} \quad (\text{Eqn. 4})$$

Deze enthalpiën zijn alleen afhankelijk van de heersende drukken.

Vermits de kwaliteit x aan het begin van de spuileiding nul is (er is nog geen stoom), en naar het einde van de spuileiding een waarde x_e aanneemt, is het duidelijk dat x onderweg zal toenemen. De toename i.f.v. de doorlopen buislengte is niet gekend, zodat we in eerste instantie aannemen dat x over de buislengte lineair toeneemt. Deze veronderstelling zullen we straks nodig hebben voor het bepalen van enkele componenten van de drukval.

5.1.2 De 3 componenten van een tweefasendrukval

De drukval bij tweefasenstroming bestaat uit drie componenten namelijk de wrijvingsdrukval, de acceleratiedrukval en de gravitatiedrukval. Het drukgradiënt onder formulevorm geschreven:

$$-\frac{dp}{dz} = -\frac{dp_F}{dz} - \frac{dp_a}{dz} - \frac{dp_g}{dz} \quad (\text{Eqn. 5})$$

dz stelt een deeltje van de leiding voor, met meter als eenheid dus.

Vermits de drukval in ons geval steeds negatief is, kunnen we de minnen weglaten en herschrijft de formule zich tot:

$$\frac{dp}{dz} = \frac{dp_F}{dz} + \frac{dp_a}{dz} + \frac{dp_g}{dz} \quad (\text{Eqn. 6})$$

5.1.3 Bespreking van de wrijvingsdrukval

De wrijvingsdrukval wordt gedefinieerd als volgt:

$$\frac{dp_F}{dz} = \Phi_G^2 \left(\frac{dp_F}{dz} \right)_G \quad (\text{Eqn. 7})$$

$\left(\frac{dp_F}{dz} \right)_G$: wrijvingsdrukgradiënt wanneer alleen de aanwezige hoeveelheid gas (dus in ons geval stoom) door de leiding zou stromen.

Φ_G^2 : tweefasenvermenigvuldiger voor gas. Drukt de verhouding uit van de wrijvingsdrukval in tweefasenstroming tot de wrijvingsdrukval wanneer alleen het aanwezige gas door de buis zou stromen.

Het wrijvingsdrukgradiënt voor het gas alleen in de buis:

Vermits algemeen geldt:

$$h_w = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{c^2}{2g} \quad (\text{Eqn. 8})$$

en we de hiermee overeenkomstige druk p_w (verder p_F genoemd) zoeken:

$$p_F = p_w = \rho gh \quad (\text{Eqn. 9})$$

$$p_F = \rho g \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{c^2}{2g} = \frac{\lambda}{2D} \cdot \rho L c^2 \quad (\text{Eqn. 10})$$

en

$$G = \frac{W}{A} = \rho \cdot c \quad (\text{Eqn. 11})$$

$$p_F = \frac{\lambda}{2D} \frac{G^2 L}{\rho} \quad (\text{Eqn. 12})$$

Dit geeft voor het wrijvingsdrukgradiënt:

$$\left(\frac{dp_F}{dz} \right)_G = \frac{\lambda_G G_G^2}{2D \rho_G} = \frac{\lambda_G x^2 G^2}{2D \rho_G} \quad (\text{Eqn. 13})$$

waarin:

λ_G : weerstandscoefficiënt voor het gas (afhankelijk van stroomsnelheid en ruwheid van de buis)

G_G : massaflux van het gas ($G_G = \frac{W_G}{A_G}$)

G : massaflux

D : diameter van de spuileiding

x : kwaliteit (quality)

ρ_G : dichtheid van het gas

met verder uitgewerkt:

$$G = \frac{W}{A} \quad (\text{Eqn. 14})$$

Omdat de weerstandscoefficiënt λ_G afhankelijk is van het type stroming (laminair of turbulent), dient eerst het getal van Reynolds bepaald te worden. Dit wordt gegeven door volgende vergelijking:

$$Re_G = \frac{xGD_1}{\mu_G} \quad (\text{Eqn. 15})$$

Al naargelang de waarde voor Re_G wordt de juiste vergelijking gekozen om λ_G te bepalen.

Volgende formules gelden voor subsonische, turbulente stromingen ($Re_G > 2320$). ϵ staat voor absolute ruwheid van de leiding [mm].

Er dient onderscheid gemaakt te worden tussen een pneumatisch gladde of ruwe leiding.

Voor een pneumatisch gladde leiding ($\text{Re} \frac{\varepsilon}{D} < 23$)

$$\lambda_G = \frac{1}{\left(2 \log \text{Re} \sqrt{\lambda} - 0.8\right)^2} \quad (\text{Eqn. 16})$$

Voor een pneumatisch ruwe leiding ($\text{Re} \frac{\varepsilon}{D} > 560$)

$$\lambda_G = \frac{1}{\left(2 \log \frac{D}{\varepsilon} + 1.138\right)^2} \quad (\text{Eqn. 17})$$

Overgang tussen een pneumatisch ruwe en gladde leiding ($23 < \text{Re} \frac{\varepsilon}{D} < 560$)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_G}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda_G}} \right) \quad (\text{Eqn. 18})$$

De tweefasenvermenigvuldiger

Een algemene correlatie werd door Chisholm en Sutherland als volgt gedefinieerd:

$$\Phi_G^2 = 1 + CX + X^2 \quad (\text{Eqn. 19})$$

Voor een turbulente stroming van zowel het gas als de vloeistof is $C=20$
 X is een parameter die eveneens door Lockhart en Martinelli werd ingevoerd:

$$X^2 = \frac{\left(\frac{dp_F}{dz}\right)_L}{\left(\frac{dp_F}{dz}\right)_G} \quad (\text{Eqn. 20})$$

De noemer is reeds eerder uitgewerkt. De teller wordt op dezelfde wijze gevonden:

$$\left(\frac{dp_F}{dz}\right)_L = \frac{\lambda_L G_L^2}{2D\rho_L} = \frac{\lambda_L (1-x)^2 G^2}{2D\rho_L} \quad (\text{Eqn. 21})$$

Opnieuw moet λ_L bepaald worden. Op analoge wijze is dus:

$$Re_L = \frac{(1-x)GD_1}{\mu_L} \quad (\text{Eqn. 22})$$

En voor λ_L (zowel voor hydraulisch gladde als ruwe leidingen):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_L}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.71D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda_L}} \right) \quad (\text{Eqn. 23})$$

Samenbrengen van vorige formules geeft voor het wrijvingsdrukgradiënt:

$$\frac{dp_F}{dz} = \Phi_G^2 \cdot \frac{\lambda_G x^2 G^2}{2D\rho_G} \quad (\text{Eqn. 24})$$

Omdat vele parameters ($x, \rho_G, \mu_G, \lambda_G$) in deze en vorige formules afhankelijk zijn van druk, die op zijn beurt verandert over de lengte van de spueleiding, is het duidelijk dat om Δp_F te bepalen men zal moeten integreren.

$$\Delta p_F = \int_0^L \Phi_G^2 \cdot \frac{\lambda_G x^2 G^2}{2D\rho_G} dz = \frac{G^2}{2D} \int_0^L \frac{\Phi_G^2 \lambda_G x^2}{\rho_G} dz \quad (\text{Eqn. 25})$$

De opgesomde parameters zijn echter niet uit te drukken in een zuivere en correcte functie van de druk, maar worden gevonden via o.a. stoomtabellen. Het zal dus nodig zijn de integratie via een computer uit te voeren.

5.1.4 Bespreking van de acceleratiedrukval

Het acceleratiegradiënt wordt als volgt gedefinieerd:

$$\frac{dp_a}{dz} = G^2 \frac{d \left(\frac{x^2}{\alpha \rho_G} + \frac{(1-x)^2}{(1-\alpha)\rho_L} \right)}{dz} \quad (\text{Eqn. 26})$$

Een nieuwe parameter die we hier tegenkomen is α , en wordt fractie lege-ruimte genoemd (Eng: void fraction). α is de verhouding van de doorsnede die het gas in de buis inneemt tot de totale doorsnede van de buis. Deze grootheid zal, net als de kwaliteit x , toenemen gedurende zijn reis door de buis.

$$\alpha = \frac{A_G}{A} \quad (\text{Eqn. 27})$$

Bepalen van de acceleratiedrukval is gelukkig niet zo complex als de wrijvingsdrukval en is snel gebeurd. Integreren leidt tot het volgende:

$$\Delta p_a = G^2 \cdot \int_{z_1}^{z_2} d \left(\frac{x^2}{\alpha \cdot \rho_G} + \frac{(1-x)^2}{(1-\alpha)\rho_L} \right) \quad (\text{Eqn. 28})$$

voor $z=z_1$ (dus aan het begin van de spuileiding) is $x=0$ en $\alpha=0$. Voor $z=z_2$ is $x=x_e$ en $\alpha=\alpha_e$. Zodat verder uitwerken leidt tot:

$$\Delta p_a = G^2 \left[\frac{x_e^2}{\alpha_e \cdot \rho_G} + \frac{(1-x_e)^2}{(1-\alpha_e)\rho_L} - \frac{0^2}{0 \cdot \rho_G} - \frac{(1-0)^2}{(1-0)\rho_L} \right] \quad (\text{Eqn. 29})$$

$$\Delta p_a = G^2 \left[\frac{x_e^2}{\alpha_e \cdot \rho_G} + \frac{(1-x_e)^2}{(1-\alpha_e)\rho_L} - \frac{1}{\rho_L} \right] \quad (\text{Eqn. 30})$$

x_e is reeds eerder bepaald maar α_e is nog ongekend. Gezien A_G uit de definitie van α niet zonder meer kan bepaald worden, zal er een andere vergelijking moeten gevonden worden waaruit α te bepalen is. Het is reeds duidelijk dat ook α zal toenemen (vermits x toeneemt) naar het einde van de spuileiding toe. Een praktisch bruikbare vergelijking (die empirisch is) werd na lang zoeken gevonden in het boek *Liquid-vapor phase change phenomena*.

$$\alpha = \left[1 + B_B \cdot \left(\frac{1-x}{x} \right)^{n1} \left(\frac{\rho_G}{\rho_L} \right)^{n2} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G} \right)^{n3} \right]^{-1} \quad (\text{Eqn. 31})$$

De coëfficiënten B_B , $n1$, $n2$ en $n3$ worden ingevuld al naargelang de correlatie die wordt toegepast (zie Tabel 1). De Baroczy correlatie benadert de werkelijkheid best zodat de desbetreffende waarden worden ingevuld.

α_e , wat uiteindelijk gezocht werd, wordt gevonden door x te vervangen door de waarde x_e . De andere parameters in de vergelijking zijn drukafhankelijk en zullen bepaald worden bij de druk die heerst, nl. spuitdruk.

Correlatie of model	B_B	$n1$	$n2$	$n3$
Homogeen model	1	1	1	0
Zivi model	1	1	0.67	0
Wallis gescheiden cil. Model	1	0.72	0.40	0.08
Lockhart & Martinelli	0.28	0.64	0.36	0.07
Thom	1	1	0.89	0.18
Baroczy	1	0.74	0.65	0.13

Tabel 1

5.1.5 Bespreking van de gravitatie-drukval

De algemene definitie van het gravitatiegradient wordt gegeven:

$$\frac{dp_g}{dz} = g \cdot \sin \theta \cdot (\alpha \cdot \rho_G + (1-\alpha)\rho_L) \quad (\text{Eqn. 32})$$

Met daarin:

- g: valversnelling
 θ : hoek waaronder de leiding gelegen is.

Deze laatste parameter impliceert dat de gravitatie-drukval alleen maar een rol zal spelen bij niet-horizontale leidingen.

Opnieuw wordt de drukval bepaald door te integreren:

$$\Delta p_g = g \cdot \sin \theta \cdot \int_0^L (\alpha \cdot \rho_G + (1 - \alpha) \rho_L) dz \quad (\text{Eqn. 33})$$

Net als bij de wrijvingsdrukval zijn er parameters die drukafhankelijk (α , ρ_L) zijn en niet tot een correcte functie van druk kunnen worden herleid, zodat ook hier zal geïntegreerd worden via computermethodes.

5.1.6 Totale drukval

De wrijvingsdrukval gaf:

$$\Delta p_F = \frac{G^2}{2D} \cdot \int_0^L \frac{\Phi_G^2 \lambda_G x^2}{\rho_G} dz$$

De acceleratiedrukval gaf:

$$\Delta p_a = G^2 \left[\frac{x_e^2}{\alpha_e \cdot \rho_G} + \frac{(1 - x_e)^2}{(1 - \alpha_e) \rho_L} - \frac{1}{\rho_L} \right]$$

De gravitatie-drukval gaf:

$$\Delta p_g = g \cdot \sin \theta \cdot \int_0^L (\alpha \cdot \rho_G + (1 - \alpha) \rho_L) dz$$

De totale drukval (zonder drukval over bochten en kranen) is:

$$\Delta p = \frac{G^2}{2D} \cdot \int_0^L \frac{\Phi_G^2 \lambda_G x^2}{\rho_G} dz + G^2 \left[\frac{x_e^2}{\alpha_e \cdot \rho_G} + \frac{(1 - x_e)^2}{(1 - \alpha_e) \rho_L} - \frac{1}{\rho_L} \right] + g \cdot \sin \theta \cdot \int_0^L (\alpha \cdot \rho_G + (1 - \alpha) \rho_L) dz$$

5.1.7 Drukval over bochten en kranen

Ook de bochten in de spuileiding en de spuikranen zorgen tijdens het spuien voor een niet-verwaarloosbare weerstand. In de vergelijking is geen term voorzien die de drukval over een bocht of ander element representeert. We hebben die er ook bewust niet aan toegevoegd omdat die in alle literatuur over tweefasenstroming niet aanwezig is. Het zal echter duidelijk zijn dat de drukval over de bochten e.d. gewoon bij de berekende drukval mag gevoegd worden.

Het voorspellen van de drukval over een bocht wordt opnieuw gedaan volgens de correlatie van Chisholm and Sutherland, zoals geschetst in het werk *Phase Flow and Heat Transfer*. De drukval in een tweefasenstroming wordt bepaald door de drukval in een eenfasenstromingstroming (men kan kiezen: ofwel gas ofwel vloeistof) te vermenigvuldigen met een tweefasenvermenigvuldiger Φ^2 .

$$\Delta p = \Phi_L^2 \cdot (\Delta p)_L \quad (\text{Eqn. 34})$$

met:

$$\Phi_L^2 = 1 + \frac{C}{X} + \frac{1}{X^2} \quad (\text{Eqn. 35})$$

en

$$X = \frac{(\Delta p)_L}{(\Delta p)_G} \quad (\text{Eqn. 36})$$

waarin Δp de tweefasendrukval is en Δp_L en Δp_G de drukval over de bocht wanneer het water respectievelijk de stoom alleen door de buis vloeit. Dit impliceert dat de plaats van de bocht in de buis een rol speelt. Immers, de hoeveelheid stoom die door de buis vloeit is aan het begin van de spuleiding veel kleiner dan de hoeveelheid stoom aan het einde van de buis, en vice versa voor het massadebiet water.

Gezien het naar de praktijk toe niet echt handig is om op te meten waar overal een bocht voorkomt en dan voor elke bocht de plaats op te geven, zullen we dit vereenvoudigen.

Wanneer alle bochten in het midden van de spuleiding worden gedacht en berekend, dan zal voor de bochten die ervoor vallen de drukvalfout ongeveer gecompenseerd worden door de bochten die voorbij het midden van de leiding voorkomen.

Deze redenering is onnauwkeurig op 2 punten:

- Er wordt aangenomen dat het aantal bochten mooi over de leidinglengte verdeeld is, wat uiteraard in 99.9% van de gevallen fout is.
- Er wordt aangenomen dat voor een bocht op, laat zeggen, 2m voor het midden, de drukvalfout t.o.v. dat midden, even groot en tegengesteld is als de drukvalfout voor een bocht op 2m na het midden.

Het is echter de vraag of de invloeden van deze onnauwkeurigheden van voldoende grootte zijn om belang te hebben. De voorgestelde werkwijze lijkt ruimschoots op te wegen tegen het feit dat anders de plaats van elke bocht moet worden ingegeven en de berekeningen heel wat ingewikkelder worden.

C wordt berekend volgens volgende formule:

$$C = C_2 \left(\sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} + \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \right) \quad (\text{Eqn. 37})$$

met C_2 volgens Chisholm en Sutherland best voorgesteld door (voor een 90° bocht):

$$C_2 = 1 + 35 \frac{D}{L_{eq}} \quad (\text{Eqn. 38})$$

waarin D de diameter van de buis is en L_{eq} de equivalente lengte voorstelt van een rechte pijp die dezelfde drukval veroorzaakt voor eenfasenstroming als de bocht.

De drukval die voor één bocht bekomen wordt dient dan vermenigvuldigd te worden met het aantal bochten, zodat de totale drukval over alle bochten samen bekomen wordt.

Voor kranen en andere elementen wordt dezelfde werkwijze gevolgd.

5.2 De afvoerleiding

Bij het bepalen van de drukval wordt er gebruik gemaakt van de vergelijking van Bernoulli:

$$\frac{p_v}{g\rho} + \frac{c_v^2}{2g} + h_1 = \frac{p_{atm}}{g\rho} + \frac{c_{2b}^2}{2g} + h_2 + h_w \quad (\text{Eqn. 39})$$

Daarbij weten we nog dat het debiet aan water dat het spuiwat binnenkomt zeker allemaal langs de afvoerleiding naar buiten moet, zodanig dat het waterniveau in het spuiwat niet verhoogt. Dus kunnen we schrijven:

$$W = A c \rho \quad (\text{Eqn. 40})$$

$$A_v c_v \rho = A_2 c_{2b} \rho \quad (\text{Eqn. 41})$$

door combinatie van bovenstaande vergelijkingen bekomen we volgende formule

$$\frac{p_v - p_{atm}}{g\rho} + \frac{W_L^2 \left(\frac{1}{A_v^2} - \frac{1}{A_2^2} \right)}{2g\rho^2} + (h_a - h_c) - h_w = 0 \quad (\text{Eqn. 42})$$

waarin

p_v : spuiwatdruk

p_{atm} : atmosfeerdruk aan de uitgang van de leiding

g : valversnelling

ρ : dichtheid van water

W_L : doorstromend debiet aan water

A_v : doorsnede van het spuiwat

A_2 : doorsnede van de afvoerleiding

$h_a - h_c$: hoogteverschil tussen het niveau van het water in de spuitank en het bovenste punt van de afvoerleiding.

En h_w drukt de weerstandsverliezen in de buis uit en wordt berekend met de volgende formule:

$$h_w = z \frac{c^2}{2g} \quad (\text{Eqn. 43})$$

$$z = \frac{\lambda L}{D} \quad (\text{Eqn. 44})$$

met z de weerstandscoefficiënt, afhankelijk van de bochten en kranen. Opnieuw vervangen we c met behulp van de formule voor debieten.

5.3 Ontluchtingsleiding

Er wordt opnieuw gebruik gemaakt van de vergelijking van Bernoulli.

$$\frac{dp}{g\rho} + \frac{cdc}{\rho} + dh + dh_w = 0 \quad (\text{Eqn. 45})$$

De drukval over de leiding is klein, daardoor zal de dichtheid van het gas weinig of niet veranderen, zodus veronderstellen we dat het gas niet samendrukbaar is. Voor een gas met constante dichtheid kunnen we deze uitdrukking integreren tussen twee toestanden. De som van deze vier factoren is dan een constante waarde die behouden blijft in elke willekeurige doorsnede, zodat we kunnen schrijven.

$$\frac{p_v}{g\rho} + \frac{c_v^2}{2g} + h_1 = \frac{p_{am}}{g\rho} + \frac{c_{2b}^2}{2g} + h_2 + h_w \quad (\text{Eqn. 46})$$

Het debiet aan gas dat in het vat binnenkomt moet opnieuw door de leiding worden afgevoerd zodat we geen drukopbouw zouden krijgen. Hiermee kunnen we de uitstroomsnelheden bepalen.

$$c_{3a} = \frac{W_G}{A_3 \rho_a} \quad (\text{Eqn. 47})$$

en

$$c_{3b} = \frac{W_G}{A_3 \rho_b} \quad (\text{Eqn. 48})$$

waarin we de waarden van de dichtheden vervangen door:

$$\rho = \frac{p}{rT} \quad (\text{Eqn. 49})$$

waarin r de specifieke gasconstante is.

Door combinatie van (Eqn. 46) , (Eqn. 47/48) en (Eqn. 49) bekomen we dan de uiteindelijke formule :

$$\frac{p_v - p_{atm}}{g\rho_G} + \frac{W_G^2 r^2}{A_3^2} \left(\frac{T_v^2}{p_v^2} - \frac{T_{atm}^2}{p_{atm}^2} \right) + (h_a - h_b) - h_w = 0 \quad (\text{Eqn. 50})$$

waarin

W_G : het debiet aan gas

$h_b - h_a$: het hoogteverschil tussen de ingang van de leiding en de uitgang, dus hier de lengte van de leiding.

h_w : weerstandsverlies van de leiding

ρ_G : gemiddelde waarde van p_v en p_{atm}

6 Ontwerpparameters

6.1 Waar moet rekening mee gehouden worden ?

De afmetingen van de spuitank zullen van een aantal zaken afhangen.

- De temperatuur van het afvoerwater. Zoals bepaald door VLAREM, art. 4.2.2.2.1. (Lozing in de openbare riolering van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat), § 2 mag de temperatuur 45°C niet overschrijden. Deze parameter zal invloed hebben op het volume water in de spuitank, gezien dit voldoende afkoeling moet kunnen waarborgen. Er dient opgemerkt dat bij een installatie waar een continu-spuil aanwezig is, het water in de spuitank steeds op een hoge temperatuur zal staan. Dit betekent dus dat het volume van het water (en dus de spuitank) niets uitmaakt voor de koeling van een plotse spuil. De berekeningen aangaande deze parameter gelden dus alleen voor een installatie zonder continu-spuil.
- St(r)roomsnelheid in de ontluuchtingsbuis. Een te hoge snelheid zal een grote geluidsoverlast met zich meebrengen. Daarom moet de stroomsnelheid beperkt worden en het vat gedimensioneerd worden op die waarde. Het probleem dat hierbij rijst is het verband tussen stroomsnelheid en geluidsterkte. De max. geluidsterkte kan 80 dB genomen worden.
- Spuitijd. Dit is de tijd dat de spuilkraan openstaat. De parameters die hierop invloed hebben worden verder besproken.

Subafdeling 4.2.2.2.

Lozing in de openbare riolering van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat

Art 4.2.2.2.1. De algemene voorwaarden voor het lozen in de in zuiveringszones A of B gelegen openbare riolering van bedrijfsafvalwater dat geen gevaarlijke stoffen bevat, luiden als volgt:
1° de pH van het geloosde bedrijfsafvalwater moet tussen 6 en 9.5 begrepen zijn;

2° de temperatuur van het geloosde bedrijfsafvalwater mag 45°C niet overschrijden;

3° de afmetingen van de in het geloosde bedrijfsafvalwater aanwezige zwevende stoffen mogen niet groter zijn dan 1cm; die stoffen mogen door hun structuur de goede werking van de pomp- en zuiveringsstations niet hinderen;
....

6.2 Ontluuchtingsleiding

Alleen de diameter van de ontluuchtingsleiding zal moeten bepaald worden. De bepalende factor is hier de uitstroomsnelheid c_3 van de stoom. Voor een vooropgestelde waarde (bijv. 20 m/s) kan de ontluuchtingsdiameter berekend worden. Deze diameter bepaalt de druk in het spuilvat.

A_3 (en dus ook D_3) wordt als volgt bepaald:

$$A_3 = \frac{W_G \cdot r \cdot T_{atm}}{P_{atm} \cdot c_3} \quad (\text{Eqn. 51})$$

De druk p_v wordt bepaald volgens (eqn. 50). Een iteratie zal nodig zijn.

6.3 Afvoerleiding

De waterhoogte h_{water} , d.i. de hoogte van het waterpeil boven/onder het hoogste punt van de afvoerleiding (zie ook figuur onder § 4.2), zal de diameter van de afvoerleiding bepalen. Deze waterhoogte zal normaal gezien nul worden genomen.

$$A_2 = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{A_v^2} + \left(\frac{p_v - p_{\text{atm}}}{g\rho} + h_{\text{water}} - h_w \right) \frac{2g\rho^2}{W_L^2}}} \quad (\text{Eqn. 52})$$

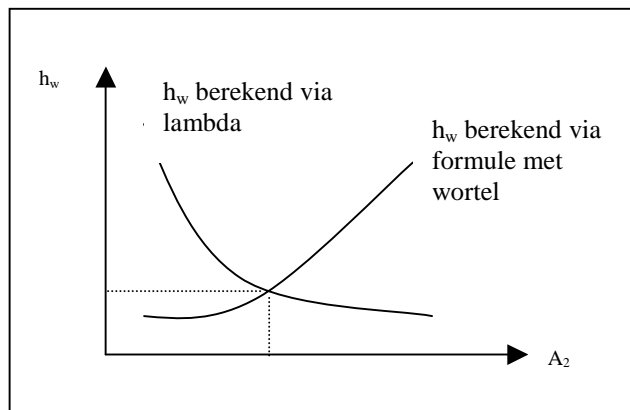
De weerstandshoogte h_w in de formule van A_2 is echter ook afhankelijk van A_2 en wel via volgende vergelijking:

$$h_w = \frac{\lambda_L L_2 c_2^2}{2D_2 g} \quad (\text{Eqn. 53})$$

en

$$c_2 = \frac{W_L}{A_2 \rho_L} \quad (\text{Eqn. 54})$$

Om A_2 te vinden zal het snijpunt van de 2 grafieken gezocht moeten worden:



6.4 De spuitijd

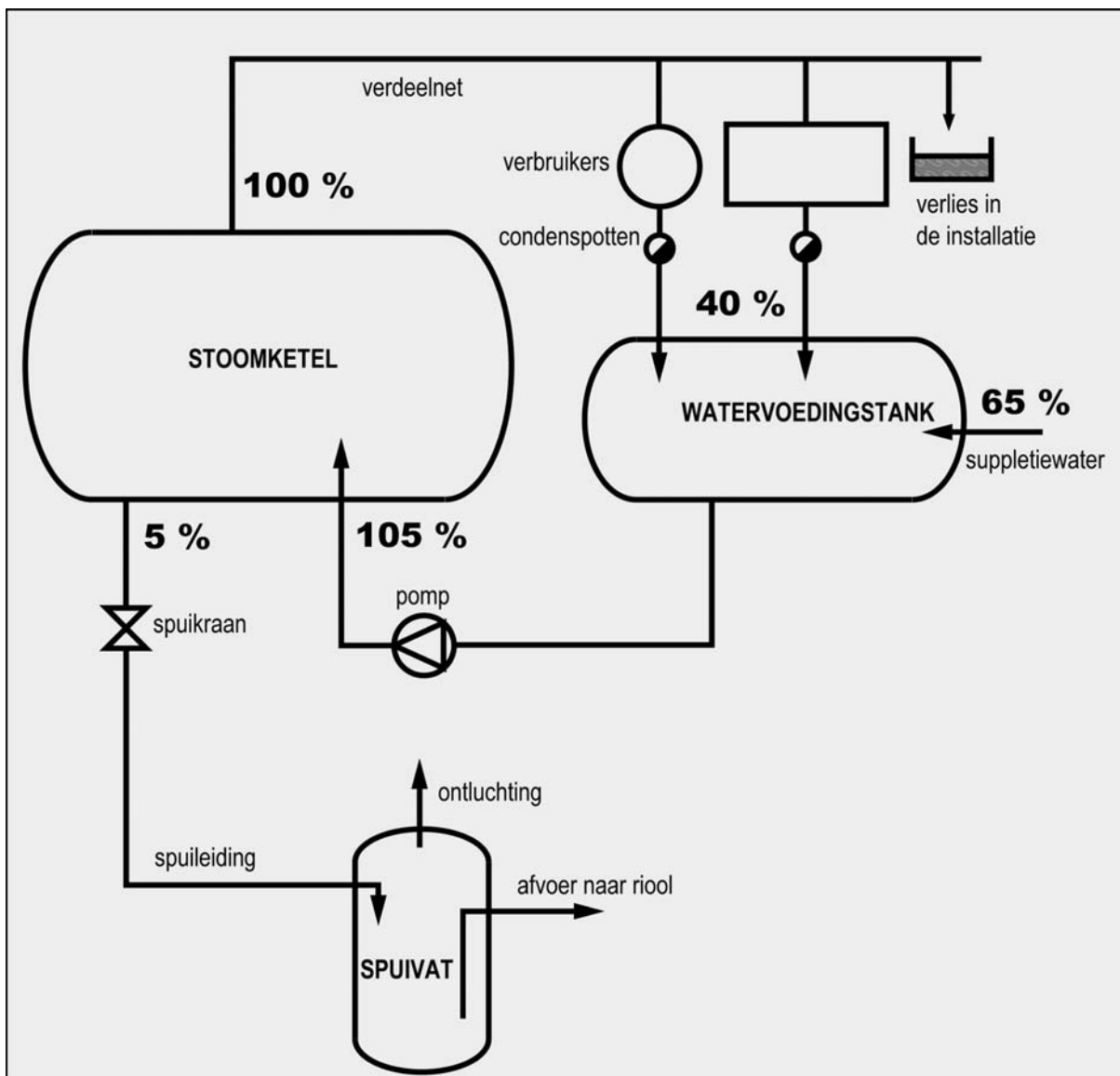
De spuitijd t_s is de tijd dat de spuikraan geopend is. Deze spuitijd hangt af van:

- het spuipercentage, bijv. 5% spui
- de spui-periode, d.i. om de hoeveel tijd er gespuid wordt, bijv. om de 8 uur
- de stoomproductie van de stoomketel, bijv. 900 kg/h
- het debiet door de spuileiding, bijv. 2 kg/s (= 7,43 t/h)

6.4.1 Bepalen van het spuipercentage

Het spuipercentage drukt uit hoeveel liter water gespuid moet worden, weergegeven in procent van de stoomproductie, om de waterkwaliteit aanvaardbaar te houden.

Het berekenen van het benodigde spuipercentage wordt zeer helder beschreven in het *Technisch Handboek van de Nederlandse Elektrolas Maatschappij*, pag. 103, § 4.6. Een kopie van die paragraaf is in Appendix D bijgevoegd. Dat ook het percentage van het gecondenseerde water in het gehele productieproces van belang is, maakt onderstaand schema duidelijk.



Figuur 3

De stoom die in de ketel (links op de tekening) geproduceerd wordt, wordt verdeeld over verschillende verbruikers. Een deel van deze stoom gaat verloren en kan niet gerecupereerd worden. Een percentage echter kan via condenspotten weer als water teruggewonnen worden. Dit water - dat van bijzonder hoge kwaliteit is, gezien het gecondenseerd is - komt in de

watervoedingstank terecht. Vermits deze hoeveelheid slechts een percentage is van de benodigde hoeveelheid, zal nog extra voedingswater worden toegevoegd, suppletiewater genoemd. Er moet uiteraard ook rekening gehouden worden met het feit dat er water verloren gaat bij het spuien, zodat een beetje extra suppletiewater zal nodig zijn. Het is makkelijk in te zien dat hoe meer – onzuiver – suppletiewater nodig is, hoe meer er zal moeten gespuid worden om de kwaliteit van het ketelwater aanvaardbaar te houden. Het spuipercentage zal dus stijgen. Om het spuipercentage – en dus ook de spuitijd - te beperken is het dus belangrijk om zoveel mogelijk stoom terug te kunnen winnen in het totale proces. Dit laatste is ook van belang omdat het teruggewonnen water reeds een hoge temperatuur heeft, zodat de energiekosten om het water op temperatuur te krijgen, zullen dalen.

6.4.2 De spui-periode

De spui-periode geeft aan om de hoeveel tijd er moet gespuid worden. Als men de spui-periode groot neemt, zal er na die periode een grotere hoeveelheid water moeten worden gespuid en zal dus ook de spuitijd toenemen. De spui-periode mag dus ook niet te groot genomen worden, omdat men dan al snel verschillende minuten zal moeten staan spuien. Anderzijds echter, een kleine spui-periode levert wel korte spuitijden, maar het is hoogst onpraktisch om telkens weer even te gaan spuien.

Het zal dus aangewezen zijn om bij grotere installaties, alwaar een zelfde percentage spui grote hoeveelheden water vertegenwoordigd, de ketel te voorzien van een continu-spui. Dit is een automatisch regelsysteem dat, afhankelijk van de heersende waterkwaliteit, een speciale spui-klep meer open of dicht draait. Op deze wijze wordt er dus continu een kleine hoeveelheid water gespuid. Hierop wordt echter niet verder ingegaan.

Het is belangrijk dat de spui-periode niet te klein genomen omdat het water voldoende tijd moet krijgen om te kunnen afkoelen. Het is theoretisch mogelijk om te berekenen wat de temperatuur van het water zal zijn op het einde van elke periode. In de praktijk moeten een aantal parameters in de betreffende formules worden ingevuld, waarvan de precieze waarde slechts bepaald kan worden door tijdrovende testen. Temeer daar die parameters van grote invloed zijn op het uiteindelijke resultaat. Deze testen werden wegens tijdsgebrek niet uitgevoerd. Ook is het zo dat voor elke installatie de waarden zullen verschillen, afhankelijk van de omstandigheden waarin het spui-at is opgesteld. Een berekening met gemiddelde standaardwaarden is in Appendix C toch ingevoegd zodat de lezer toch een idee krijgt van de berekening en de uitkomst. Deze berekeningen worden echter niet gebruikt in het programma, gezien het hierboven omschreven probleem. Tijdens het invoeren van de gegevens is voorzien dat de temperatuur van het afgekoelde water in de spuitank kan worden ingegeven.

De in de bijlage uitgevoerde berekeningen tonen aan dat de afkoeling slechts zeer langzaam zal verlopen, soms tot meer dan 24 uur om het water af te koelen tot ongeveer 30 °C. Het is dus erg waarschijnlijk dat bij de meeste installaties tijdens het spuien, het water in de spuitank nog steeds op een hoge temperatuur staat. Om de vereiste loostemperatuur van 45 °C te halen zal dus koud water moeten toegevoegd worden bij het lozen in de riool. Berekeningen van het volume van het spui-at, hangen echter sterk af van de temperatuur van het afgekoelde water. Het is dan ook duidelijk dat deze berekeningen verderop in § 6.5 in deze context moeten geëvalueerd worden!

6.4.3 Berekenen van de spuitijd

Alle vier parameters kunnen in volgende vergelijking worden samengebracht. Een uitgewerkt voorbeeld verderop verduidelijkt de formule.

$$t_s = \frac{\text{Spuipercentage} * \text{Stoomproductie} * \text{Spuiperiode}}{W} \quad (\text{Eqn. 55})$$

6.4.4 Voorbeeld

spuipercentage = 5%
 stoomproductie = 1 t/h
 spuiperiode = 4 h
 W = 2,5 kg/s

5% spui betekent dat er $0,05 \times 1000 \text{ kg/h} = 50 \text{ kg/h}$ moet gespuid worden.

Vermits men maar om de 4 h gaat spuien zal men dan $4 \times 50 \text{ kg} = 200 \text{ kg}$ moeten spuien.

Het maximale debiet voor de spuileiding is berekend op 2,5 kg/s.

Dit levert ons dan een spuitijd $t_s = 200 \text{ kg} / (2,5 \text{ kg/s}) = 80 \text{ s} = 1 \text{ min } 20 \text{ sec}$

De spuitijden met verschillende waarden voor stoomproductie en spuiperiode zijn hieronder berekend. Merk op dat de spuitijd zeer snel oploopt!! Een continu-spui blijkt meer dan wenselijk.

spuiperiode → stoomproductie ↓	4 h	8 h	12 h	24 h
1 t/h	1 min 20 sec	2 min 40 sec	4 min	8 min
2 t/h	2 min 40 sec	5 min 20 sec	8 min	16 min
4 t/h	5 min 20 sec	10 min 40 sec	16 min	32 min
8 t/h	10 min 40 sec	21 min 20 sec	32 min	64 min

6.5 Volume spuiwat

De parameters die het meest invloed zullen hebben op het volume van het spuiwat zijn de temperatuur van het afgekoelde en in rust zijnde water in het spuiwat, de toegelaten temperatuur van het uitgaande afvoerwater (zie 6.1.) en de spuitijd t_s . Het proces kan op 3 mogelijke manieren verlopen:

- verdringing van het afgekoelde, in rust zijnde water in het spuiwat
- totale, homogene menging van spuiwater en het water in het spuiwat
- een combinatie van beiden

In werkelijkheid zal het 3^{de} geval optreden. In welke mate verdringing en menging zal optreden is moeilijk te bepalen. Daarom zullen we verdringing en menging afzonderlijk berekenen en de meest kritische uitkomst aanvaarden.

6.5.1 Verdringing

Verdringing zal zich voordoen wanneer het binnenkomende spuidebiet het aanwezige (ondertussen afgekoelde) water in het spuiwat door de afvoerleiding naar buiten “duwt”. Er treedt dus geen menging op tussen beide. Het afvoerwater zal dus na een bepaalde spuitijd een temperatuursprong maken naar 100°C, omdat alle koele spuiwatwater verdrongen is. Aan de hand van een gegeven spuitijd kan men het volume bepalen zodanig dat tijdens deze periode de temperatuursprong nog niet optreedt, zodanig dat het afvoerwater onder de toegelaten temperatuur ligt.

$$V_{sw} = \frac{W_L \cdot t_s}{\rho} \quad (\text{Eqn. 56})$$

Vb:

$$\begin{aligned} t_s &= 40 \text{ s} & \Rightarrow & \quad V_{sw} = 0.125 \text{ m}^3 \\ W_L &= 3 \text{ kg/s} \\ \rho &= 958.3 \text{ kg/m}^3 \text{ (dichtheid bij } 100 \text{ }^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

6.5.2 Menging

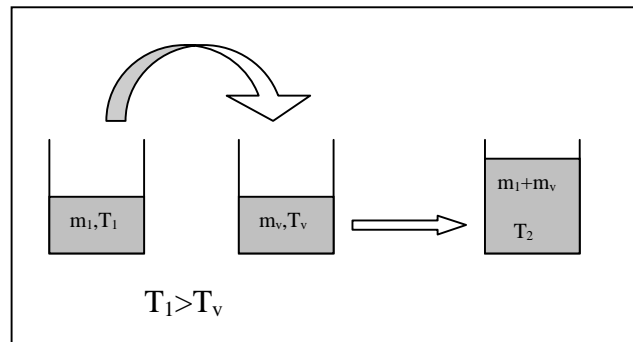
Door de kracht waarmee het spuiwater in het spuiwat terecht komt is het waarschijnlijker dat menging van spuiwater en spuiwatwater optreedt. De temperatuur T_2 van het eindmengsel wordt als volgt bepaald:

$$Q_1 = m_1 \cdot c \cdot (T_1 - T_2) = Q_{afgegeven}$$

$$Q_2 = m_2 \cdot c \cdot (T_2 - T_v) = Q_{opgenomen}$$

met

$$Q_{afgegeven} = Q_{opgenomen}$$



$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_v} = \frac{T_2 - T_v}{T_1 - T_2}$$

$$\Rightarrow T_2 = \frac{m_1 T_1 + m_v T_v}{m_v + m_1} \quad (\text{Eqn. 57})$$

$$\Rightarrow m_v = \frac{m_1 (T_1 - T_2)}{(T_2 - T_v)} \quad (\text{Eqn. 58})$$

$$V_{sw} = \frac{W_L \cdot t_s}{\rho} \cdot \frac{(T_1 - T_2)}{(T_2 - T_v)} \quad (\text{Eqn. 59})$$

Vb:

$$t_s = 40 \text{ s}$$

$$W_L = 3 \text{ kg/s}$$

$$\rho = 996.9 \text{ kg/m}^3 \text{ (dichtheid bij } T_v)$$

$$T_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 45^\circ\text{C}$$

$$T_v = 25^\circ\text{C}$$

$$V_{\text{sw, bij menging}} = V_{\text{sw, bij verdringing}} \times (55/20) = 0.33 \text{ m}^3$$

De factor 55/20 is slechts geldig voor een bepaalde T_v (in het voorbeeld 25°C). Wanneer T_v kleiner wordt genomen zal V_{sw} bij menging ook kleiner worden. Voor een bepaalde waarde van T_v zal V_{sw} bij menging gelijk worden aan V_{sw} bij verdringing. Dit treedt op wanneer

$$\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_v} = 1. \text{ De overgangswaarde van } T_v \text{ zal voor } T_1=100^\circ\text{C} \text{ en } T_2=45^\circ\text{C} \text{ gelijk zijn aan}$$

-10°C . Dit zal dus niet voorkomen.

Besluit verdringing/menging

Het benodigde volume aan spuitwater (V_{sw}) is steeds groter bij menging dan bij verdringing. De formules voor menging zullen dus gebruikt worden om verder het spuitwater volume (V_s) te bepalen.

6.5.3 Overgaan van spuitwater volume naar spuitwater volume ($V_{\text{sw}} \rightarrow V_s$)

Het is wenselijk dat boven het wateroppervlak in het spuitvat nog een bufferruimte aanwezig is. Om de gevormde stoom op te vangen, om niveauverschillen van het wateroppervlak op te vangen en om ruimte te bieden aan turbulentie aan het wateroppervlak. Deze luchtruimte wordt 30% van V_{sw} genomen. Dus wordt het volume van het spuitvat:

$$V_s = V_{\text{sw}} + 0.3V_{\text{sw}} = 1.3V_{\text{sw}} \quad (\text{Eqn. 60})$$

6.5.4 Diameter en hoogte van het spuitvat

Nu het volume gevonden is, kan er overgegaan worden tot standaardisatie van de spuitwater afmetingen.

Hiervoor dient van een groot aantal stoomketels het theoretisch spuitwater volume berekend te worden. Uit de verschillende waarden kunnen dan een aantal diameters en hoogten vastgelegd worden die voor de gevonden volumes voldoen. Daaruit kunnen dan één of meerdere standaard diameters bepaald worden.

Belangrijke opmerking:

Er mag niet uit het oog verloren worden dat de berekening van het spuitwater volume sterk afhangt van de temperatuur van het afgekoelde, in rust zijnde water in de spuitank. Deze waarde is niet goed gekend en dikwijls zal zij nog hoger zijn dan de toegelaten loostemperatuur, zodat in feite de berekeningen van de gehele paragraaf 6.5 van weinig praktisch nut zijn. Het is beter om deze calculaties te beschouwen als de werkwijze waarop verder moet gerekend worden, indien de temperatuur wel gekend is.

DEEL III

PROGRAMMABESCHRIJVING

7 Programmabeschrijving

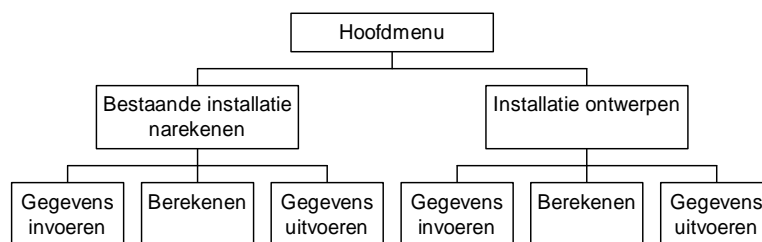
7.1 Algemeen

In dit deel wordt beschreven hoe de theorie die we opstelden rond de berekening van het spuiwat, geprogrammeerd werd in QBasic. Eerst zal er een kort overzicht gegeven worden van de manier waarop men het programma kan gebruiken. Daarna wordt er op de programmeertechnische details ingegaan. Het programma zelf vindt men in Appendix E.

Het programma is zo opgebouwd dat het vanuit 2 invalshoeken kan gebruikt worden:

- het laat toe om voor een bestaande installatie waarvan alle parameters (leidingdiameters, spuiwatafmetingen, enz.) gekend zijn, het massadebiet aan water in de spuileiding te berekenen (plus nog enkele andere zaken zoals de verschillende deeldrukvalen)
- het laat toe om de diameters van ontluchtungs- en afvoerleiding te bepalen voor een nog te ontwerpen spuiwat.

De stadia die moeten doorlopen worden om van het programma een uitvoer te hebben zijn in het overzicht hieronder samengevat.



In het hoofdscherm moet gekozen worden of men een berekening wil maken op een bestaande installatie of men een installatie wil ontwerpen. Daarna, ongeacht de vorige keuze, komt men in een scherm waar kan gekozen worden om ofwel de gegevens relevant voor de berekeningen in te voeren, ofwel om direct over te gaan tot de berekening. Dit direct berekenen is mogelijk omdat aan alle parameters een standaardwaarde is toegekend, hoewel men in de praktijk steeds eerst de gegevens zal invoeren (of aanpassen) en dan pas berekenen.

7.2 Programmeertechnische details

Het programma is opgesplitst in een 40-tal procedures en functies. Niet allen daarvan zullen besproken worden. De procedures en functies die zorgen voor een geschikte schermopmaak zijn immers niet van wezenlijk belang voor dit project. Van elke procedure en functie is hieronder toch een korte beschrijving opgenomen met eveneens hun toepassing in andere procedures en functies.

Toelichting bij de tabel:

SUB/FUNC	sub procedure of functie	NI?	wordt proc/fct gebruikt bij narekenen van een installatie?
----------	--------------------------	-----	--

OI? wordt proc/fct gebruikt bij ontwerpen van een installatie? | / main wordt nergens gebruikt komt voor in het hoofdprogramma

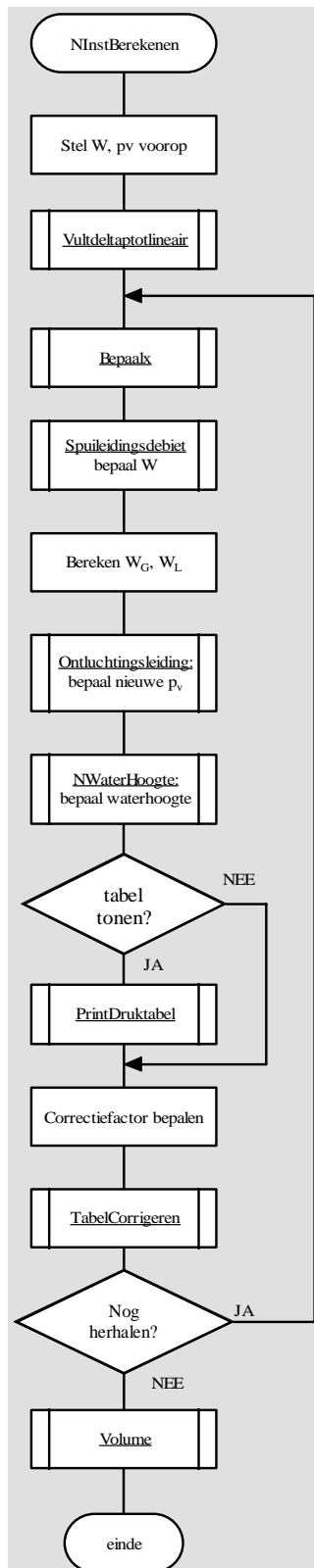
SUB/ FUNC	NAAM	KORTE BESCHRIJVING	WORDT GEBRUIKT DOOR	NI?	OI ?
SUB	Afvoerleiding	Bepaalt voor een gegeven massadebiet water de benodigde druk in het spuiwat	/		
SUB	BepaalAfvoerDiameter	Bepaalt de diameter van de afvoerleiding voor een gegeven spuiwatdruk en massadebiet water	OInstBerekenen		x
FUNC	BepaalAfvoerHoogte	Bepaalt voor een gegeven spuiwatdruk de minimum hoogte van de afvoerleiding	OInstBerekenen		x
FUNC	BepaalAlfa	Berekent alfa voor een gegeven waarde x. Volgens verschillende correlaties mogelijk	Bepaalpa, Bepaalpg	x	x
FUNC	BepaalLambdaG	Bepaalt lambda voor gassen bij een gegeven Reynoldsgetal (alle stromingen)	Bepaalpb, BepaalpF, OntlIntegreren, Ontluchtungsleiding, PvAfhankelijkVanA3	x	x
FUNC	BepaalLambdaL	Bepaalt lambda voor vloeistoffen bij een gegeven Reynoldsgetal (alleen turbulente stroming)	Bepaalpb, BepaalpF, NwaterHoogte, Afvoerleiding, BepaalAfvoerdiameter	x	x
SUB	BepaalOntluchtungs-Diameter	Bepaalt voor een gegeven massadebiet de benodigde doorsnede van de ontluchtungsleiding om een uitstroomsnelheid c3 te bekomen	OInstBerekenen		x
SUB	Bepaalpa	Bepaalt de acceleratiedrukval in de spuleiding	Spuileidingsdrukval	x	x
SUB	Bepaalpb	Bepaalt de drukval over de bochten en de kranen, afhankelijk van de wijze waarop de proc. wordt aangeroepen	Spuileidingsdrukval	x	x
SUB	BepaalpF	Bepaalt de wrijvingsdrukval over spuleiding	Spuileidingsdrukval	x	x
SUB	Bepaalpg	Bepaalt de gravitatiedrukval over de spuleiding	Spuileidingsdrukval	x	x
SUB	Bepaaldeltaptot	Vult de dteltap-tabel in door alle deeldrukvalen op te tellen	SpuileidingsDebiet	x	x
FUNC	Bepaalx	Berekent de kwaliteit x horende bij een gegeven druk, als gegevens is dat x=0 bij pk	NinstBerekenen, OinstBerekenen, PrintDruktabel, Bepaalpb, BepaalpF, Bepaalpg	x	x
SUB	grafiek	Zet 2 tabellen in grafiekvorm op het scherm. Wordt niet gebruikt	OntlIntegreren		
FUNC	interpoleer	Interpoleert voor een gegeven x-waarde uit een tabel de bijhorende y-waarde	OntlIntegreren, PvAfhankelijkVanA3, Bepaalpa, Bepaalpb, BepaalpF, Bepaalpg, Bepaalx	x	x
FUNC	lg	Berekent de log() van een getal omdat de standaard log()-functie in QBasic de natuurlijke logaritme berekent	BepaalLambdaG, BepaalLambdaL	x	x
SUB	NgegevensInvoeren	Ingeven van de benodigde gegevens (narekenen bestaande installatie)	NInstMenu	x	
SUB	NInstBerekenen	Gaat over tot de eigenlijke berekening van de installatie (narekenen bestaande installatie)	NInstMenu	x	

SUB/ FUNC	NAAM	KORTE BESCHRIJVING	WORDT GEBRUIKT DOOR	NI?	OI ?
SUB	NInstMenu	Sub-menu om te kiezen tussen invoeren gegevens/berekenen van een na te rekenen installatie	main	x	
FUNC	NwaterHoogte	Bepaalt voor een na te rekenen installatie de hoogte waarop de waterspiegel zal staan in het spuiwat	NInstBerekenen	x	
SUB	OgegevensInvoeren	Ingeven van de benodigde gegevens (ontwerpen installatie)	OInstMenu		x
SUB	OInstberekenen	Gaat over tot de eigenlijke berekening van de installatie (ontwerpen installatie)	OInstMenu		x
SUB	OInstMenu	Sub-menu om te kiezen tussen invoeren gegevens/berekenen van een te ontwerpen installatie	main		x
SUB	OntlIntegreren	Bepaalt de spuiwatdruk door te integreren over de ontluchtingsleiding. Wordt niet gebruikt (klein drukverschil)	/		
SUB	Ontluchtingsleiding	Bepaalt de spuiwatdruk afhankelijk van het massadebiet stoom	NInstBerekenen	x	
FUNC	PlaatsHoogste	Bepaalt in een tabel de plaats waar het grootste getal voorkomt	grafiek		
FUNC	PlaatsLaagste	Bepaalt in een tabel de plaats waar het kleinste getal voorkomt	grafiek		
SUB	PrintDruktabel	Drukt overzichtelijk het drukverloop (+deeldrukken) in de spuileiding af	NInstBerekenen	x	
SUB	PvAfhankelijkvanA3	Bepaalt voor een gegeven massadebiet W_G en een gegeven A3 de benodigde pv	OInstBerekenen		x
SUB	schrijfdebiet	Schrijft geordend een debiet op 't scherm	SpuileidingsDebiet, NInstBerekenen, OInstBerekenen	x	x
SUB	schrijfdruk	Schrijft geordend een druk op 't scherm	SpuileidingsDebiet, NInstBerekenen, OInstBerekenen	x	x
SUB	Schrijfhoogte	Schrijft de waterhoogte op het scherm	ToonResultaten, NInstBerekenen	x	x
SUB	Schrijflengte	Schrijft geordend een lengte op 't scherm	OInstBerekenen, PvAfhankelijkVanA3		x
SUB	Spuileidingsdebiet	Bepaalt voor een gegeven drukverschil tussen ketel en spuiwat het spuileidingsdebiet	NInstBerekenen, OInstBerekenen	x	x
SUB	Spuileidingsdrukval	Bepaalt voor een gegeven spuileidingsdebiet het drukverschil tussen ketel en spuiwat	SpuileidingsDebiet	x	x
SUB	TabelCorrigeren	De tabel die alle deeldrukvalen bijhoudt, aanpassen aan de nieuwe pv	NInstBerekenen, OInstBerekenen	x	x
SUB	ToonResultaten	Zet de resultaten op het scherm	OInstMenu, NInstMenu	x	x
FUNC	Volume	Bepaalt de spuitijd en het volume van het spuiwat	OInstberekenen, Ninstberekenen	x	x
SUB	Vultdeltaptotlineair	Vul de tabel tdeltp tot lineair op.	NInstBerekenen, OInstBerekenen	x	x
FUNC	WeerstandBocht	Bepaalt de plaatselijke weerstand van een bocht	Bepaalpb	x	x

Tabel 2

7.3 Stroomschema's + uitvoerige beschrijving van de belangrijkste procedures en functies

7.3.1 NInstBerekenen



Wanneer de verschillende menu's doorlopen zijn en het programma de nodige gegevens verzameld heeft, komt men terecht in de SUB NInstBerekenen.

Eerst wordt aan het debiet W een beginwaarde toegekend (in het programma $W=4$ kg/s). Ook wordt aan de spuiatdruk p_v een waarde toegekend, iets groter dan de atmosferedruk ($p_v=1,1$ bar). Deze waarden zullen de berekeningen een eerste benadering geven.

Er wordt een tabel gecreëerd die de druk op alle plaatsen in de spuileiding zal bijhouden. Deze tabel zal nodig zijn om de drukafhankelijke parameters (viscositeiten, dichtheden, ...) op alle plaatsen in de spuileiding te kunnen berekenen. De tabel wordt geïnitieerd met een lineair drukverloop (afname) in de spuileiding tussen stoomketel en spuiat.

De kwaliteit op het einde van spuileiding (dus aan de ingang van het spuiat) x_e wordt berekend aan de hand van de enthalpiën.

Daarna wordt het *Spuileidingsdebiet* W berekend voor de gegeven spuiatdruk. Deze procedure vormt één van de hoofdberekeningen van het programma en wordt verder uitgebreid behandeld.

Met het berekende massadebiet kunnen nu het massadebiet aan stoom (W_G) en water (W_L) bepaald worden.

In de procedure *Ontluchtingsleiding* wordt aangenomen dat het berekende massadebiet stoom door de ontluchtingsbuis moet stromen. Aangezien de doorsnede van die buis gegeven is, kan de (nieuwe) spuiatdruk die daarvoor nodig is bepaald worden.

De hoogte van de waterspiegel in het spuiat wordt ook bepaald, met de nieuw gevonden p_v en W_L .

De tabel die het drukverloop bijhoudt, is opgesteld voor een drukval die berekend is met de oude spuiatdruk. Vermits er nu een nieuwe spuiatdruk berekend is, moet deze tabel aangepast worden. De verhouding tussen de nieuwe spuiatdruk p_v en de oude spuiatdruk (die op de laatste plaats in de tabel zit) wordt berekend. Dan worden alle waarden uit de tabel met deze factor vermenigvuldigd.

Met de nieuwe tabel, de nieuwe spuiatdruk en het nieuwe debiet kan de berekening nu overgedaan worden, zodanig dat de oplossing dichter benaderd wordt. De praktijk wees uit dat een 3-tal herhalingen voldoende waren om de waarde te stabiliseren.

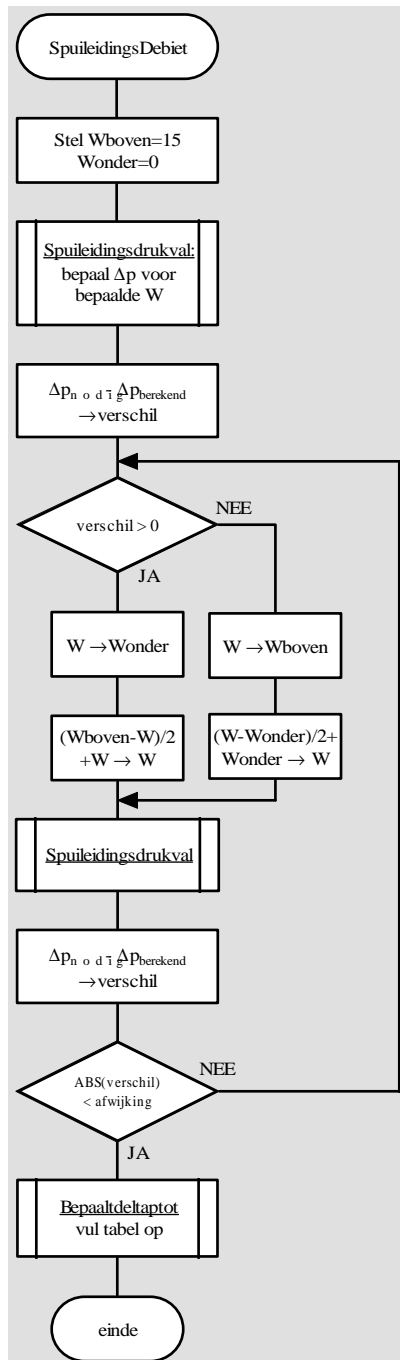
Hierna wordt het gewenste volume van het spuiat berekend, afhankelijk van het gekregen debiet water en de opgegeven spuitijd.

7.3.2 Spuileidingsdebiet

Hoewel we deze procedure hier behandelen, als onderdeel van NinstBerekenen, wordt ze ook gebruikt bij OInstBerekenen, waar we ze niet meer zullen bespreken.

Er zal een debiet vooropgesteld worden, waarvan de bijhorende drukval berekend wordt.

Deze werkwijze is nodig omdat de opgestelde formules alleen maar toelaten de drukval te bepalen voor een gegeven debiet. Vermits wij reeds een benadering van de drukval over de spuileiding kennen, zoeken we de waarde voor het debiet die deze drukval geeft



De grenzen waartussen het massadebiet gezocht zal worden, zijn vastgelegd.

Voor een (start)waarde van het massadebiet (=4 kg/s) kan nu de drukval bepaald worden in de spuileiding.

Het verschil tussen de nodige drukval en deze berekende drukval wordt bepaald.

Is dit verschil positief dan is het massadebiet te klein en moet dus een groter massadebiet genomen worden. Hiervoor wordt een nieuw debiet berekend dat op de helft ligt van de huidige debietwaarde en het bovenste grensdebiet. De ondergrens wordt nu op de oude debietwaarde gelegd. Is het verschil negatief dan geldt een analoge maar omgekeerde redenering.

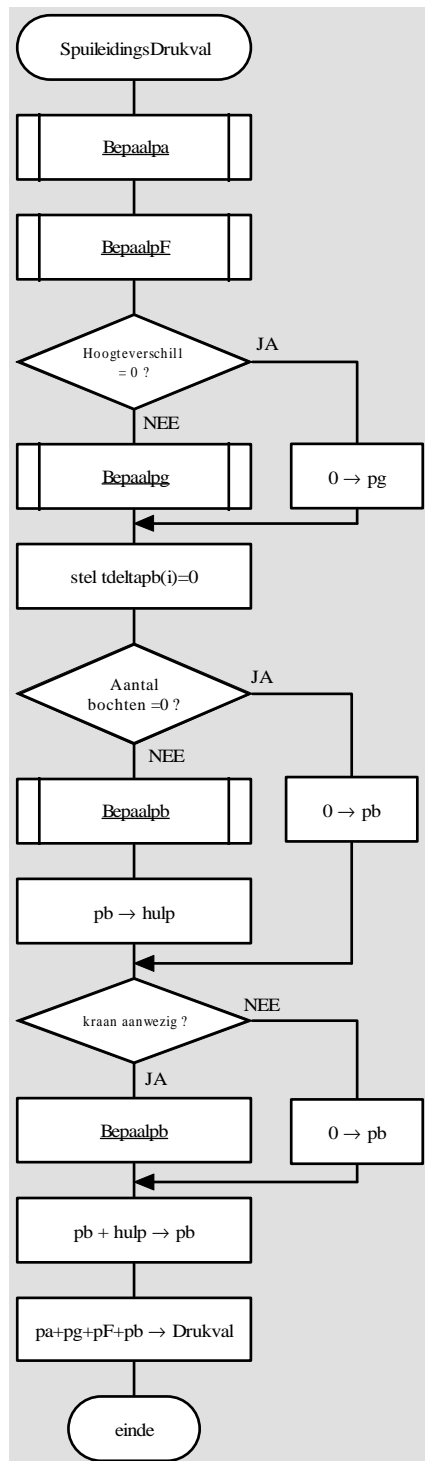
Opnieuw wordt de drukval berekend voor het nieuw bepaald debiet. Evenals het verschil met de benodigde drukval.

Wanneer dit verschil kleiner is dan een vooropgestelde afwijking (hier = 0,001 bar) is het massadebiet bepaald. Is dit niet zo, dan wordt voorgaande werkwijze herhaald.

De oude druktabel, die gebruikt werd voor allerhande berekeningen, kan nu aangepast worden. Dit gebeurt door alle deeldrukken (die ook in tabellen opgeslagen zitten, en tijdens die berekeningen ook werden aangepast) op te tellen.

7.3.3 Spuileidingsdrukval

Voor een gegeven massadebiet wordt de drukval tussen de ketel en het spuivat berekend. Eerst worden de deeldrukvalen bepaald en dan opgeteld.



De acceleratiedrukval wordt bepaald.

De wrijvingsdrukval wordt bepaald.

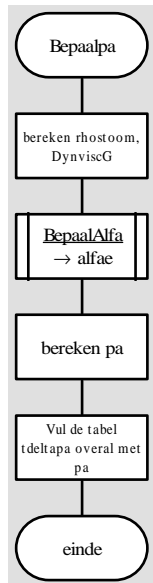
Als het hoogteverschil tussen begin van de spuileiding en einde van de spuileiding **niet** nul is, wordt de gravitatiedrukval berekend.

De tabel die de deeldrukval t.g.v. bochten en kranen bijhoudt, wordt eerst volledig nul gemaakt (van belang voor berekening kraandrukval). Als er bochten zijn wordt de drukval erover berekend. De einddrukval pb, dus ook de laatste waarde in de tabel, wordt in een hulpvariabele gestopt. Dan wordt de drukval t.g.v. de spuikraan berekend. Na deze berekening bevat de tabel tdelapb() nu de drukval t.g.v. de bochten + de kranen.

Alle deeldrukvalen worden opgeteld.

7.3.4 Bepaalpa

Omdat de versnellingsdrukval enkel afhangt van de kwaliteit en de fractie lege ruimte op het eind van de spuileiding, is deze procedure erg kort. In de tabel die de acceleratiedrukval in elk leidingdeeltje bijhoudt, zal in elk leidingdeeltje dezelfde druk ingevuld worden.

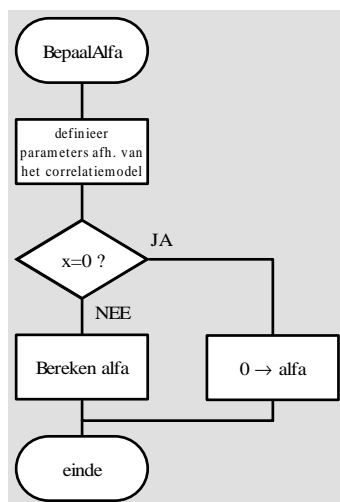


De dichtheid van de stoom en de dynamische viscositeit van de stoom op het eind van de spuileiding worden berekend om α_{eind} te kunnen bepalen.

De versnellingsdrukval wordt berekend.

Daarna wordt de waarde van deze versnellingsdrukval op elke plaats in de tabel tdelta pa gestopt.

7.3.5 Bepaalalfa

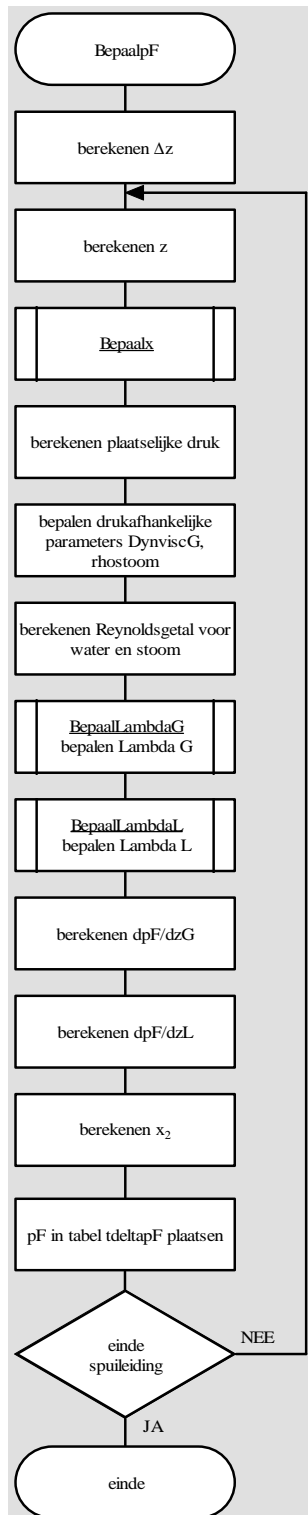


Afhankelijk van het gekozen correlatiemodel worden een aantal factoren geïnitieerd.

Als de kwaliteit x gelijk is aan nul (dus enkel in het begin van de spuileiding) wordt alfa ook nul gesteld. In alle andere gevallen wordt alfa berekend.

7.3.6 BepaalpF

De wrijvingsdrukval (uitgezonderd bochten en kranen) wordt bepaald. Hiertoe wordt de leiding opgedeeld in een aantal delen met elk een lengte DeltaZ. In elk deel wordt de (kleine) drukval bepaald en opgeteld bij de drukval over de vorige delen. De volledige som geeft de totale wrijvingsdrukval. In de tabel die de wrijvingsdrukval in elk leidingdeeltje bijhoudt, zal de drukval per deeltje langzaam oplopen.



De benodigde drukafhankelijke parameters worden berekend.

De drukval indien alleen de stoom door de leiding stroomt wordt berekend (dpFdzG).

De drukval indien alleen het water door de leiding stroomt wordt berekend (dpFdzL).

De Lockhart-Martinelli-parameter X^2 wordt met de twee vorige drukvallen berekend.

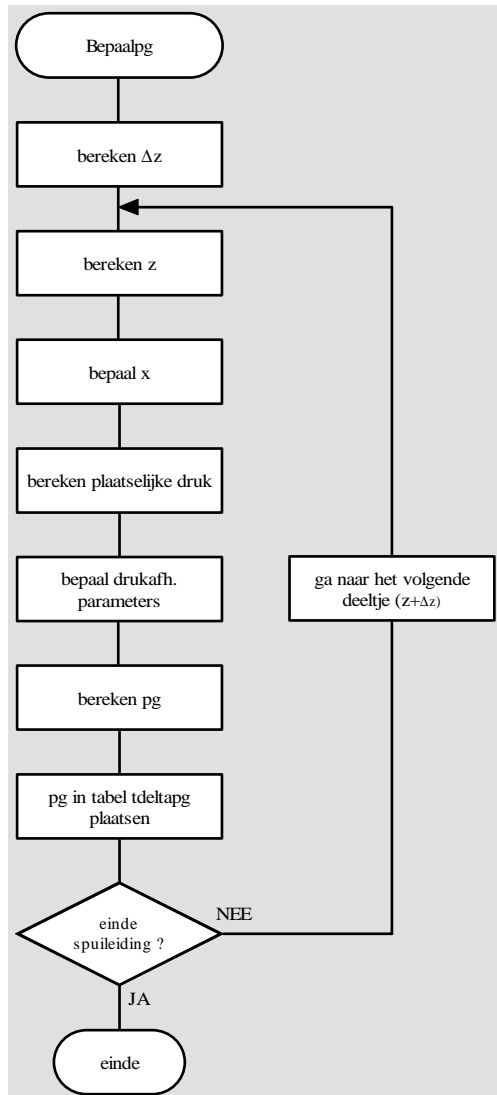
Met deze X^2 kunnen dan de tweefasenvermenigvuldigers ϕ_G^2 en ϕ_L^2 bepaald worden.

Hoewel ϕ_G^2 en ϕ_L^2 beide bepaald werden, wordt alleen ϕ_G^2 gebruikt om de wrijvingsdrukval te bepalen. De deeldrukvallen worden geïntegreerd.

De deeldrukvallen worden ook in de tabel opgeslagen.

7.3.7 Bepaalpg

De gravitatie­drukval per deeltje leiding wordt berekend. Daarna worden alle deeldruk­vallen opgeteld. In de tabel die de gravitatie­drukval in elk leidingdeeltje bijhoudt, zal de drukval per deeltje langzaam oplopen.



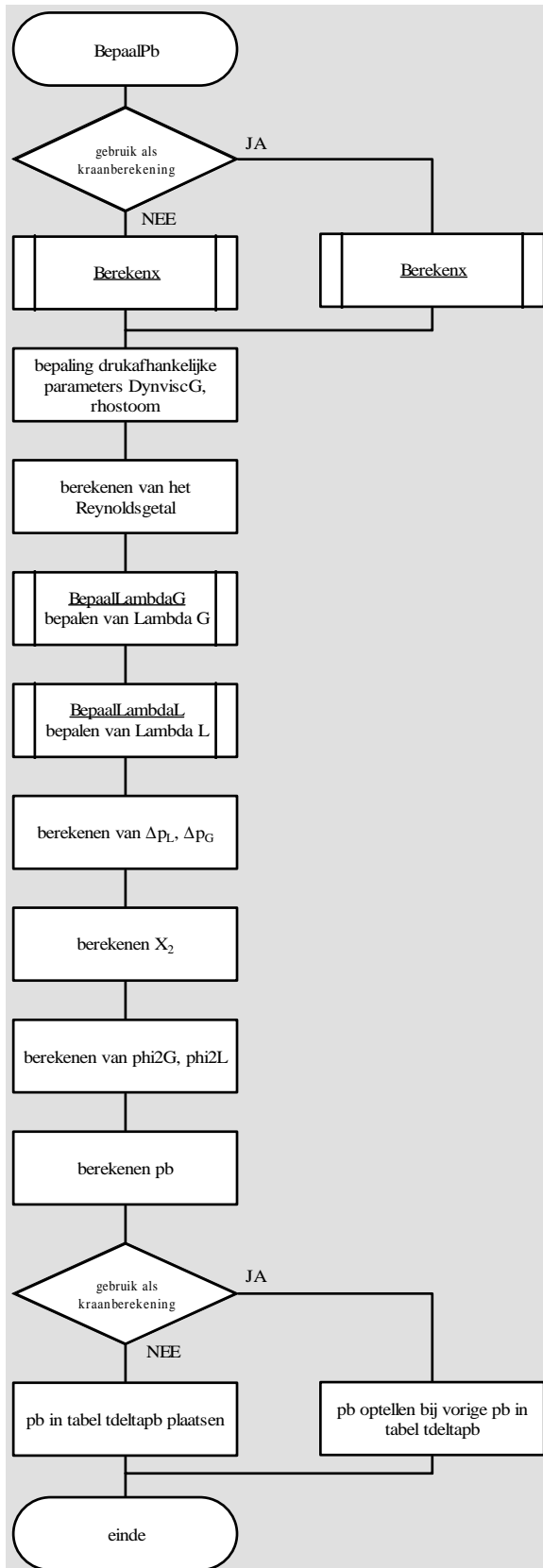
De drukafhankelijke parameters van het deeltje leiding worden berekend

De gravitatie­drukval wordt berekend

De gravitatie­drukval wordt in de tabel opgeslagen.

7.3.8 Bepaalpb

Deze procedure kan zowel de drukval over bochten berekenen, als de drukval over een kraan, afhankelijk van de manier waarop ze wordt aangeroepen.



De drukval over bochten wordt bepaald alsof alle bochten zich in het midden van de spuleiding bevinden. Dus als de procedure wordt aangeroepen om bochten te berekenen, wordt de kwaliteit in het midden van de spuleiding berekend. De drukval over kranen echter, wordt berekend alsof de kraan zich op 1/10 van de totale spuleidinglengte bevindt (omdat de kraan meestal ergens in het begin zit). In dit geval wordt de kwaliteit op 1/10 leidinglengte berekend.

De drukafhankelijke parameters worden berekend (ook afhankelijk van bochten/kranen in het midden of op 1/10).

De drukval indien het water alleen door de buis stroomt over de bochten/kranen wordt berekend. Idem indien alleen de stoom door de buis vloeit.

De Lockhart-Martinelli-parameter X^2 wordt met de twee vorige drukvallen berekend.

Met deze X^2 kunnen dan de tweefasenvermenigvuldigers ϕ_G^2 en ϕ_L^2 bepaald worden.

Hoewel ϕ_G^2 en ϕ_L^2 beide bepaald werden, wordt alleen ϕ_L^2 gebruikt om de wrijvingsdrukval te bepalen.

Als bochten worden berekend wordt de tabel vanaf het midden opgevuld met de gevonden drukval.

Als kranen worden berekend wordt de tabel vanaf 1/10 opgevuld met de gevonden drukval. Eigenlijk wordt de gevonden drukval opgeteld bij de waarden die reeds in de tabel stonden. Dus bochten moeten steeds berekend worden, vooraleer kranen berekend worden

7.3.9 Ontluchtingsleiding

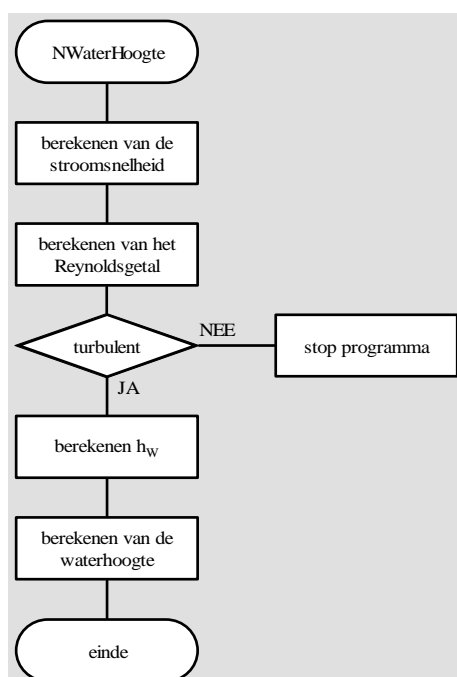
Hier wordt aan de hand van het massadebiet stoom door de ontluchtingsleiding, via Bernoulli de spuitatdruk berekend.



De stroomsnelheid van de stoom wordt berekend, niet alleen ter informatie maar ook om straks h_w te kunnen berekenen. Het Reynoldsgetal en de weerstandscoefficiënt voor stoom worden berekend. Via Bernoulli kan dan de spuitatdruk berekend worden.

7.3.10 NwaterHoogte

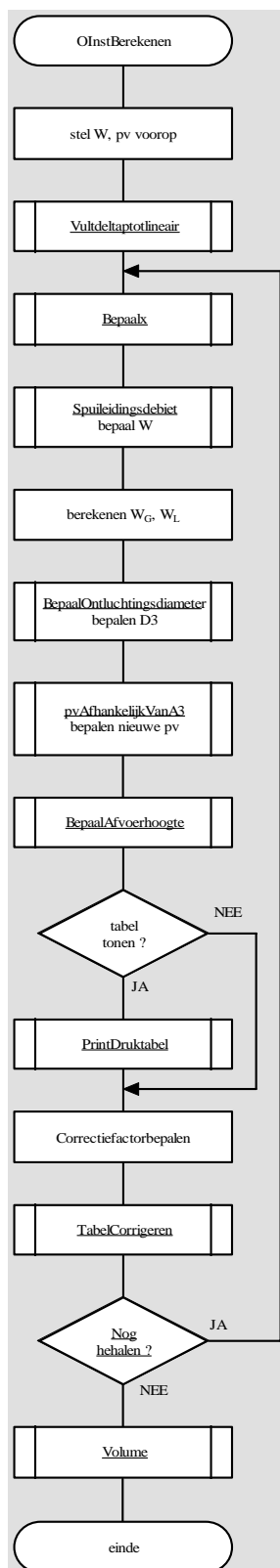
Bepaalt voor een na te rekenen installatie de hoogte waarop de waterspiegel zal staan in het spuitvat.



De stroomsnelheid van het water in de afvoerleiding wordt berekend. Reynoldsgetal en de weerstandscoefficiënt van het water worden berekend. Vermits de stroming steeds turbulent is, is de weerstandsberekening voor turbulente stroming opgenomen. Wanneer het programma toch laminaire stroming detecteert, zal het stoppen. Aanpassen voor laminaire stroming is echter ook mogelijk (maar onnodig). Via Bernoulli wordt dan de waterhoogte berekend.

7.3.11 Olnstberekenen

Indien een niet bestaande installatie ontworpen dient te worden, gebeurt dit met deze procedure. Wanneer de vereiste gegevens ingevoerd zijn (keteldruk, spuileidinglengte, enz.) zal het programma de diameters van de ontluchtungsleiding en afvoerleiding berekenen. Evenals het debiet in de spuileiding en uiteindelijk het benodigde volume van het spuiwat.



Dit stroomschema is gelijkaardig aan NInstBerekenen (zie aldaar). De twee blokjes *Ontluchtungsleiding* en *NwaterHoogte* zijn hier vervangen door vier andere blokjes.

In *BepaalOntluchtungsDiameter* wordt de diameter D_3 van de ontluchtungsleiding bepaald om een opgegeven uitstroomsnelheid c_3 te bekomen.

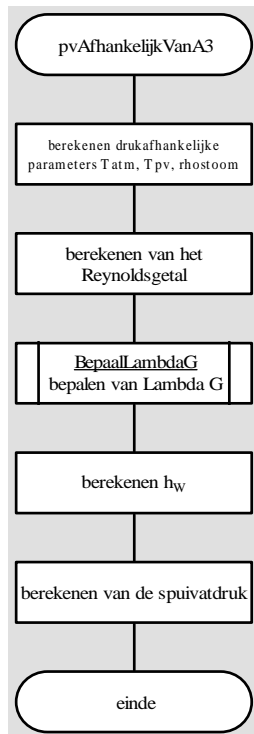
In *pvAfhankelijkVanA3* wordt de nieuwe spuiatdruk berekend met de hiervoor bekomen diameter van de ontluchtungsleiding.

De afvoerhoogte van de afvoerleiding wordt berekend in *BepaalAfvoerhoogte*.

De diameter van de afvoerleiding wordt uiteindelijk ook berekend om bij de gegeven spuiatdruk het massadebiet water te kunnen afvoeren.

7.3.12 pvAfhankelijkVanA3

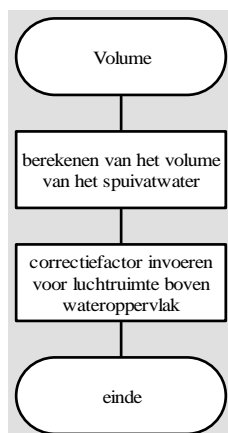
De spuiatdruk wordt bepaald aan de hand van de diameter van de ontluchtingsleiding en het stroomdebiet.



De drukafhankelijke parameters worden bepaald.
 De weerstand in de ontluchtingsleiding wordt bepaald.
 Via Bernoulli wordt dan de druk in het spuiat berekend

7.3.13 Volume

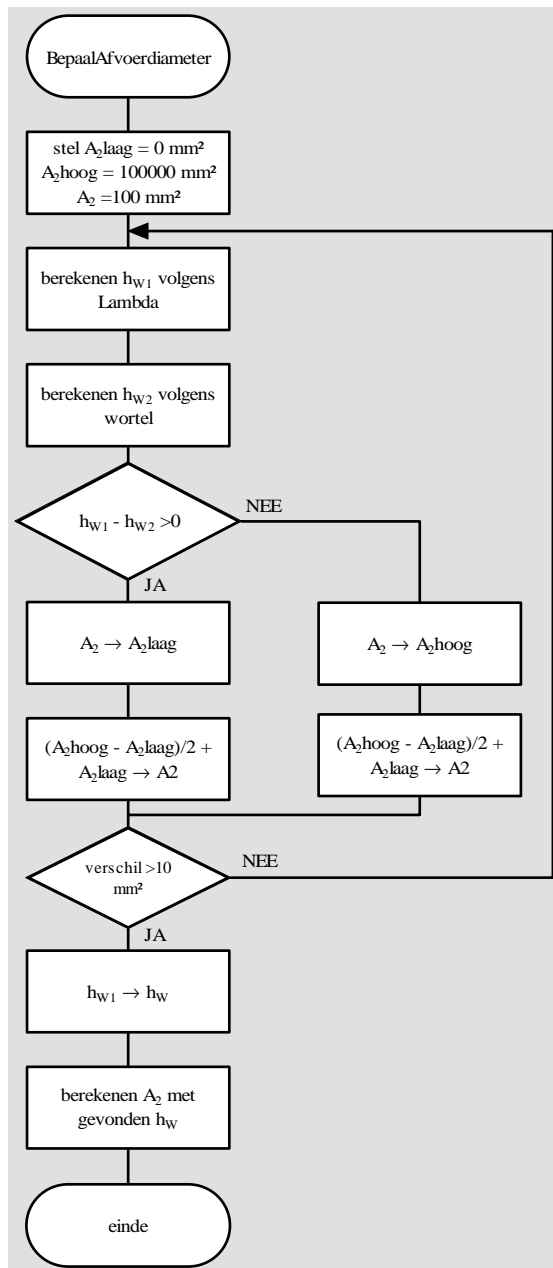
Bepaalt het volume van het spuiat.



Eerst wordt, rekening houdend met de toegelaten temperatuur en de temperatuurverschillen, het benodigde volume aan spuiatwater berekend.
 Dan wordt via een correctiefactor het spuiatvolume berekend.

7.3.14 BepaalAfvoerDiameter

De afvoerdiameter wordt gezocht. De procedure bestaat grotendeels uit het zoeken naar de juiste weerstandswaarde h_w in de afvoerleiding (zie §6.3)



Stel de grenzen waartussen de diameter gezocht moet worden, voorop. Evenals de beginwaarde voor A_2 .

Bepaal dan de weerstand in de leiding met behulp van lambda.

Bepaal dan de weerstand in de leiding met behulp van de wortel-formule.

Benader de diameter tot dat het verschil tussen deze twee weerstandswaarden klein genoeg is.

Bereken dan een laatste maal de diameter met de wortel-formule.

DEEL IV

TESTEN

8 Testen

Eén van de onderdelen van ons eindwerk was de gevonden resultaten controleren door middel van een test op een bestaande installatie. De belangrijkste parameter die moest bepaald worden was het spuidebiet door de spuileiding. Na overleg met personeel van EMK bleek dit niet zo eenvoudig te zijn. Uiteindelijk kwamen we toch tot een paar mogelijkheden, die elk afzonderlijk wel een nadeel hadden, waardoor het testen onmogelijk werd gemaakt.

8.1 *Met debietmeter*

Deze dient geplaatst te worden net na de ketel, dus daar waar de hoeveelheid stoom nog miniem is. Zodanig kan een waterdebetmeter gebruikt worden. Echter, na contact te hebben genomen met Endress + Hauser, leverancier van debietmeters, bleek dit een te dure oplossing. Zodus waren we genoodzaakt andere, minder dure oplossingen te zoeken.

8.2 *Via debiet afvoerleiding*

Er wordt gespuid totdat het water dat uit de afvoerbuis komt 100°C is. Wanneer dit het geval is wordt een laatste keer gespuid waarbij het afvoerwater opgevangen wordt in een bak (1 min spuien, debiet ± 10 kg/s => inhoud bak=600 l). De spuitijd wordt gechronometreerd. Aldus kan het debiet berekend worden. Hier vormden het vinden van een geschikte bak, transport naar de testplaats en het kunnen plaatsen van deze bak onder de afvoerleiding het probleem.

8.3 *Via peilglas stoomketel*

Deze test zou plaats hebben op een proefstand van een ketel die in gebruik werd genomen. De spuitijd, de beginhoogte en eindhoogte van het water in de ketel dienden opgenomen worden. Zo zouden we het volume dat na een bepaalde spuitijd de ketel had verlaten geweten hebben en aldus het debiet. We namen verschillende malen contact op met de promotor die we op dat moment hadden, teneinde ons een geschikte datum door te geven waarop het testen kon plaatshebben. Steeds kregen we te horen dat de ketel nog niet draaide. Toen we de volgende maal contact opnamen, was dit wel het geval. Maar onze kans was verkeken, want de ketel was al op weg naar de klant.

8.4 *Tijd opnemen tot water door de afvoerleiding komt – de eigenlijk uitgevoerde meting*

Het spui vat wordt volledig leeg gelaten, vervolgens begint men te spuien en neemt men de tijd op. Vanaf het ogenblik dat door de afvoerbuis water komt, stopt men de tijd. De omtrek van het vat en de hoogte tot de afvoerbuis worden opgemeten. Zo weet men het volume aan water dat binnengekomen is. De opgenomen tijd laat ook toe het debiet te berekenen. Onze nieuwe promotor Mr. Torck zorgde ervoor dat we bij het bedrijf SCA Packaging in Gent, vergezeld van een technicus mochten gaan testen. We lieten het spui vat leeglopen, alle afstanden van leidingen en spui vat werden opgenomen, evenals de gegevens van de kranen.

Nu bleek dat bij het openen van de spuikraan het water onmiddellijk door de afvoerbuis naar buiten stroomde. Waarschijnlijk wordt een deel van het spuiwater dat met een grote kracht het spuiwat binnenkomt, direct door de afvoerleiding naar buiten geperst. Dit maakt het onmogelijk te bepalen wanneer het spuiwatwater de bovenste rand van de afvoerbuis bereikt. De gehele test was dus waardeloos in een poging om het debiet te bepalen.

8.5 *Besluit:*

Na overleg met onze promotor hebben we besloten om onze theoretische resultaten niet te testen, omdat we geen mogelijke oplossingen meer zagen. Er is dus geen enkel experiment geweest dat onze resultaten kan bevestigen of ontkrachten.

DEEL V

UITGEWERKT VOORBEELD

9 Voorbeeldberekening

Van een denkbeeldige installatie wordt hier de spuitank berekend. Eerst wordt dit gedaan alsof het spuiat reeds bestaat. Een tweede maal alsof het spuiat nog moet ontworpen worden. De bedoeling is ook dat men een idee krijgt van de interactie tussen de gebruiker en het programma.

Als men het programma opstart verschijnt volgend scherm

```

Hoofdmenu

Wat wilt u doen:

1. Bestaande installatie narekenen/voorspellen
2. Installatie ontwerpen
9. Einde

Maak uw keuze: _

```

9.1 Installatie narekenen

Wanneer er gekozen wordt voor keuze 1 komt men in het volgende scherm terecht:

```

Installatie narekenen

Wat wilt u doen:

1. Installatiegegevens invoeren
2. Installatie berekenen
3. Resultaten bekijken
9. Naar hoofdmenu

Maak uw keuze: _

```

Men zal eerst de gegevens van de installatie willen invoeren en men kiest daarom optie 1. Men krijgt dan een scherm zoals hieronder:

```

Installatie narekenen
Gegevens invoeren

Keteldruk (Pa, absoluut) .....[120000]:
Diameter spuileiding (m) .....[0.040]:
Lengte spuileiding (m) .....[ 10.0]:
Hoogteverschil spuileiding (m) .....[5.00]:
Aantal bochten in spuileiding .....[ 6]:
Diameter spuiat (m) .....[0.900]:
Diameter afvoerleiding (m) .....[0.040]:
Lengte afvoerleiding (m) .....[1.500]:
Diameter ontluchting (m) .....[0.200]:
Lengte ontluchting (m) .....[10.00]:
Stoomproductie ketel (kg/h) .....[ 1000]:
Percentage spui (%) .....[ 5.0]:
Spui-periode (h) .....[ 4]:
Gem. temp. van het spuiatwater (°C) ...[ 25]:
Maximum temp. van het afvoerwater (°C) ..[ 45]:

Zijn deze gegevens correct (j/n)          ? _

```

Wanneer de gegevens correct zijn belandt men weer in het vorige scherm, waar men kan overgaan tot de berekening (keuze 2). *Opmerking: niet alle parameters van de installatie zijn hier te wijzigen. Denk maar aan de ruwheidswaarde van de buizen, de weerstandswaarden van de bochten en kranen.*

Ook andere parameters die misschien gewijzigd willen worden (correlatietype e.d.), kan men hier niet wijzigen. Al deze zaken kunnen echter wel in het programma zelf worden gewijzigd, allen in het hoofdprogramma. Een menugestuurde wijziging zou dus een wenselijke optie zijn in een eventueel verbeterde versie van het programma.

Het aantal herhalingen (benaderen van de spuitatdruk) wordt gevraagd. Bij ingave van 3 herhalingen verschijnt uiteindelijk het volgende op het scherm:

```

Herhaling: 3
Bezig met het zoeken van W voor spuitankdruk 1.0153 bar.....
pF      = 389804.4 Pa      of 3.90 bar
pa      = 178208.1 Pa      of 1.78 bar
pg      = 9432.3 Pa       of 0.09 bar
pb      = 521082.2 Pa      of 5.21 bar
Totale Drukval      = 1098527.0 Pa      of 10.99 bar
Benodigde Drukval   = 1098474.9 Pa      of 10.98 bar
Drukverschil        = -52.1 Pa       of -0.00 bar

Massadebiet         = 2.0631 kg/s      of 7.43 t/h
Massadebiet Water   = 1.7172 kg/s      of 6.18 t/h
Massadebiet Stoom   = 0.3460 kg/s      of 1.25 t/h

De stroomsnelheid van de stoom in de ontluchting: 18.71 m/s
nieuwe pv volgens G      = 101505.2 Pa      of 1.01 bar
Snelheid in de afvoerleiding: 1.37 m/s
De hoogte van de waterspiegel (t.o.v. de afvoerleiding) = 0.176 m hoger

Wilt u de tabel zien (j/n) ?_

```

De uitkomsten die hier getoond worden kunnen later in een meer geordende vorm opgevraagd worden. Zij worden slechts getoond om de veranderingen na elke herhalingen zichtbaar te maken. De tabel waarom hier gevraagd wordt, drukt alle deeldrukvalen (wrijving, acceleratie, gravitatie, bochten, kranen) voor elk leidingsdeeltje af.

Men komt uiteindelijk weer in een vorig scherm. Hier kan men de gevonden resultaten opvragen (keuze 3) wat volgende output geeft:

```

Resultaten:

Massadebiet         = 2.0631 kg/s      of 7.43 t/h
Massadebiet Water   = 1.7172 kg/s      of 6.18 t/h
Massadebiet Stoom   = 0.3460 kg/s      of 1.25 t/h

Spuitatdruk         = 101505.2 Pa      of 1.02 bar

Stroomsnelheid van het water in de afvoerleiding      = 1.37 m/s
Stroomsnelheid van de stoom in de ontluchting        = 18.71 m/s
De hoogte van de waterspiegel (t.o.v. de afvoerleiding) = 0.176 m hoger

Spuitijd            = 1 min 37 sec
Spuitatvolume       = 0.595 m³

```

9.2 Ontwerpen installatie

Koos men in het hoofdmenu (het eerste scherm) keuze 2 dan verschijnt een volledig analogo scherm als bij *narekenen installatie*. Ook hier worden via een sub-scherm de gegevens ingevoerd:

```

Installatie Ontwerpen
Gegevens invoeren

Keteldruk (Pa, absoluut) .....[120000]:
Diameter spuilleiding (m) .....[0.040]:
Lengte spuilleiding (m) .....[ 10.0]:

```

```

Hoogteverschil spuileiding (m) .....[5.00]:
Aantal bochten in spuileiding .....[ 6]:
Diameter spuiwat (m) .....[0.900]:
Lengte afvoerleiding (m) .....[1.500]:
Lengte ontluchting (m) .....[10.00]:
Gewenste uitstroomsnelheid ontl. (m/s) [20.00]:
Gewenste waterhoogte (m) .....[ 0.00]:
Stoomproductie ketel (kg/h) .....[ 1000]:
Percentage spui (%) .....[ 5.0]:
Spui-periode (h) .....[ 4]:
Gem. temp. van het spuiwatwater (°C) ....[ 25]:
Maximum temp. van het afvoerwater (°C) ..[ 45]:

Zijn deze gegevens correct (j/n)           ? _

```

Bemerk dat nu niet meer gevraagd wordt naar de diameter van ontluchtings- en afvoerleiding, maar wel naar de gewenste uitstroomsnelheid van de stoom en de gewenste waterhoogte. De aandachtige lezer zal gezien hebben dat wel nog steeds naar de diameter van het spuiwat gevraagd wordt, die we echter nog niet kennen! Inderdaad, maar deze waarde wordt alleen maar gebruikt in de procedure *BepaalAfvoerDiameter* alwaar haar exacte waarde van weinig invloed is op het resultaat. Men kan dus best de richtwaarde laten staan.

De berekening levert de volgende uitkomsten op (na 3 herhalingen) :

Resultaten:

Massadebiet	= 2.0636 kg/s	of	7.43 t/h
Massadebiet Water	= 1.7175 kg/s	of	6.18 t/h
Massadebiet Stoom	= 0.3460 kg/s	of	1.25 t/h
Spuiwatdruk	= 101531.7 Pa	of	1.02 bar
Diameter afvoerleid.	= 0.06444 m	of	64.44 mm
Diameter ontluchting	= 0.19349 m	of	193.49 mm
Afvoerhoogte	= 0.02362 m	of	23.62 mm
Spuitijd	= 1 min 37 sec		
Spuiwatvolume	= 0.595 m ³		

Druk op een toets...

10 Vergelijken met gegevens van bestaande installatie

Tientallen jaren reeds wordt het spuiwat voor een installatie gekozen via onderstaande tabel. Enkel uitgaande van de stoomcapaciteit wordt het volume van het spuiwat afgelezen waarbij ook de andere spuiwatafmetingen vastliggen. Er wordt dus geen rekening gehouden met de keteldruk, lengte spuileiding, bochten en alle andere parameters die het programma nodig heeft om de berekening te maken.

Stoomcapaciteit (l/h)	Volume spuiwat (l)	Volume spuiwatwater (l)	Afvoerhoogte (mm)	Diameter spuiwat (mm)	Hoogte spuiwat (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)
185 - 900	350	217	774	600	1100	1" 33,7	DN 65 70,3	DN100 107,1
1200 - 1500	700			800	1250			
2000 - 2500	1200	747	1153	950	1500	5/4" 42,4	DN 80 82,5	DN150 159,3
3000 - 7000	1580	1006	1108	1100	1500	6/4" 48,3	DN 80 82,5	DN200 206,5
≥ 8000	200	1327	1549	1100	2000	DN50 54,4	DN100 107,1	DN200 206,5

Tabel 3

Om de vergelijking te maken met de gegevens en resultaten van de voorbeeldberekening, kunnen we de stoomcapaciteit als belangrijkste vergelijkingsparameter hanteren. Vermits we in onze berekening uitgegaan zijn van een ketel met stoomcapaciteit van 1 t/h, zullen we moeten vergelijken met de gegevens van de eerste en tweede rij van de tabel. Sommige gegevens van de tweede rij ontbreken, omdat we niet beschikten over een technische tekening.

Ons programma berekende voor het **volume van het spuiwat** 595 l, wat mooi tussen de waarden 350 l en 700 l van de tabel ligt. Het valt wel op dat in de tabel het volume van het spuiwat 60% groter is dan het volume van het spuiwatwater in de tabel (dit geldt ongeveer voor alle rijen), wat betrekkelijk sterk afwijkt van onze 30 % die we intuïtief gekozen hebben.

Bij alle spuiwaten uit de tabel reikt de afvoerbuis tot net boven de bodem van het spuiwat wat een grote **afvoerhoogte** geeft. Ons programma geeft een kleine waarde, dit is echter de minimum lengte waaraan voldaan moet zijn om geen stoom door de afvoerleiding naar buiten te blazen. Het lijkt ons zinvol om de afvoerbuis steeds tot aan de bodem te laten reiken, zodanig dat eerst het koude water onder in het spuiwat naar buiten stroomt.

De **diameter van de ontluchting** (D₃) is in de voorbeeldberekening iets groter dan wat nu in praktijk gebruikt wordt nl. 193 mm versus 107,1 mm in de tabel. In het voorbeeld werd voor de berekening uitgegaan van een uitstroomsnelheid van de stoom van 20 m/s. Wordt deze waarde groter genomen dan zal ook in het voorbeeld de benodigde diameter afnemen. Bijvoorbeeld, bij een uitstroomsnelheid van 65 m/s krijgen we een diameter van ca. 107 mm.

Bij de **afvoerdiameter** (D₂) zien we dat de waarden ongeveer overeenkomen.

DEEL VI

CONCLUSIE

11 Algemeen besluit

Is het doel bereikt?

Het doel van deze opdracht bestond uit twee hoofdzaken. Enerzijds komen tot een standaardgamma van spuitanks dat aan de marktvereisten voldoet, anderzijds een programma te ontwikkelen dat de ontwerper van een stoominstallatie toelaat eenvoudig een spuitank uit dat gamma te kiezen, uiteraard na invoer van een aantal parameters van de installatie.

Wat hebben we bereikt? We ontwikkelden een programma dat, na ingave van de benodigde gegevens, een aantal parameters berekent: het debiet in de spuileiding, de diameters van ontluchtungs- en afvoerleiding, spuiatdruk, spuitijd, afvoerhoogte en volume spuiat. De grote vraag blijft echter: in hoeverre zijn deze resultaten correct. Dit kan alleen geverifieerd worden door testen. Dan pas kan er verder gewerkt worden om tot een standaardgamma te komen.

We denken dat dit eindwerk een stevige basis vormt voor een nieuw eindwerk dat de vooropgestelde doelen kan bereiken, maar slechts indien er meer tijd en geld kan geïnvesteerd worden in het testen van de resultaten.

Mogelijke verbetering

Een eindwerk is nooit af, het is steeds vatbaar voor aanvullingen en verbeteringen. Niet omdat we ons werk de voorbije maanden niet naar behoren of onzorgvuldig deden, maar omdat zich onderweg steeds nieuwe elementen aandienen: een bepaalde factor bleek van minder belang dan al die tijd gedacht, een andere hadden we onderschat en vereiste meer uitwerking dan verwacht. Maar op alles staat een tijdslimiet, en lopende zaken moeten eens worden afgesloten.

De zaken waaraan we graag nog wat meer gesleuteld hadden of iets dieper uitgewerkt zagen, volgen hieronder.

- Uiteraard uitgebreid testen van de resultaten.
- In rekening brengen van de continu-spuis.
- De berekening van de afkoeling van het spuiat kan nog dieper uitgewerkt worden
- In verband met het programma:
 - opsplitsen van de drukvalberekening kraan/bocht
 - mogelijkheid voorzien om gegevens en resultaten uit te printen
 - de gebruiker toelaten meer gegevens en variabelen in te voeren.
 - helpfunctie voorzien
 - herprogrammeren in krachtigere programmeertaal (C++, VisualBasic, ...)
 - de snelheid van bepaalde algoritmes opdrijven
 - een betere (grafische ?) gebruikersinterface

Eigen ervaring

Tweefasenstroming is een erg gespecialiseerd vakgebied in de thermo- en fluidomechanica, dat ondervonden we al vrij snel. Misschien iets te gespecialiseerd zelfs. Documentatie hieromtrent was niet zo gemakkelijk te verkrijgen als we gewenst hadden. Meerdere malen werden we doorverwezen, in het beste geval naar een professor, maar meestal richting bibliotheek. Verschillende keren hadden we het gevoel dat we echt vast zaten en niet wisten hoe verder te gaan. Ongetwijfeld heeft het feit dat onze eerste promotor - die sterk achter ons eindwerk stond - ons door omstandigheden moest verlaten, daartoe sterk bijgedragen. Het steeds veranderen van promotor maakte het er ook niet gemakkelijker op.

Misschien hebben we ook iets te lang stil gestaan bij het tweefasenprobleem in de spuleiding. Maar wat we als een van de grootste tekortkomingen ervoeren, is het feit dat we geen degelijke testen konden doen. We hadden geen waarden om onze resultaten aan te toetsen, zodat we een beetje onzeker de volgende stappen namen.

Aan de andere kant, ons eindwerk draaide niet uit op een simpele schoolbordoefening waar we bij de hand genomen werden. Steeds weer was het zoeken naar de volgende stap – iets wat niet altijd meer blijkt nu de tekst mooi geordend en geschreven staat – steeds weer was het informatie inwinnen en bijsturen van de reeds gevonden resultaten. Maar naar het eind toe hadden we toch het gevoel dat we er ons op een bepaalde manier goed doorheen gewerkt hadden. Uiteindelijk kunnen we zeggen dat het boeiend was en vooral leerrijk. En ligt daar niet het echte doel van een eindwerk?