

**DIE EVALUASIE VAN SUID-AFRIKAANSE FILTERMEDIA VIR
DIEPBEDFILTRASIE**

deur

**AD CERONIO
J HAARHOFF**

**Verslag aan die
WATERNAVORSINGSKOMMISSIE**

**deur die
WATERNAVORSINGSGROEP
RANDSE AFRIKAANSE UNIVERSITEIT
JOHANNESBURG**

**WNK Verslag Nr. 472/1/94
ISBN 1 86845 129 1**

BESTUURSOPSOMMING

Daar is geen algemeen aanvaarde Suid-Afrikaanse spesifikasie vir granulêre media wat in filtrasie gebruik word nie, met die gevolg dat grepe van verskillende internasionale spesifikasies gebruik word sonder dat daar eenduidigheid oor die toetsparameters, die toetsmetodes of die aanbevole standaard is.

Ten einde 'n groter mate van uniformiteit ten opsigte van die mediaspesifikasies in die praktyk te bevorder, is hierdie studie geloods met die volgende doelwitte:

- Identifiseer en beskryf watter toetsparameters in bestaande spesifikasies ingesluit is.
- Ontleed alle beskikbare internasionale en plaaslike spesifikasies, en probeer hieruit die toetsparameters identifiseer waaroor daar wel breë konsensus is, asook daardie parameters waaroor daar nog betekenisvolle verskille is.
- Ontleed alle beskikbare toetsprosedures, met hulle voordele en nadele.
- Ontleed verskillende wiskundige modelle waarmee die media se hidrouliese gedrag vanaf die primêr gemete media-eienskappe voorspel kan word, en toets die akkuraatheid van die voorspellings met behulp van praktiese metings.
- Maak voorstelle vir 'n toekomstige Suid-Afrikaanse mediaspesifikasie, in die lig van die gemete media-eienskappe, wat aanbevole toetsparameters, toetsprosedures en standarde insluit.

Die resultate van hierdie projek behoort by te dra tot die uniforme spesifikasie en toets van media in die Suid-Afrikaanse mediabedryf.

Internasionale spesifikasies

Verskeie ander lande en instellings het al die kwessie van mediaspesifikasie aan die hand van eenduidig aanvaarde standarde ondersoek en verskeie standarde is reeds

internasionaal gepubliseer. Verder het verskeie plaaslike instellings, veral die groter waterrade en munisipaliteite, ook al aandag aan die onderwerp geskenk en standarde vir eie gebruik ontwikkel. Lande wat reeds standarde die lig laat sien het, is Amerika, Duitsland, Nederland en Indië, terwyl Brittanje en Frankryk tans besig is met die opstel van soortgelyke standarde. Ander persone, instansies en maatskappye wat standarde het wat algemeen gebruik word, is Prof Ives (1975), Degrémont, Rand Water en Munisipaliteit Kaapstad. Verder beskik die Suid-Afrikaanse Buro vir Standarde ook oor sommige standaard toetsmetodes wat plek-plek toepassing vind in die evaluasie en spesifikasie van filtermedia vir diepbedfiltrasie.

Elkeen van die bogenoemde spesifikasies, behalwe die Franse en Britse standarde, is noukeurig ondersoek. Die spesifikasies is almal, met uitsondering van die Indiese spesifikasie, in isolasie opgestel, d.w.s die opstellers van die spesifikasies het nooit probeer het om 'n uniforme standaard op te stel wat wêreldwyd toepassing sou vind nie. Die gevolg hiervan is dat daar wesenlike verskille tussen die spesifikasies bestaan en hierdie verskille in definisies en toetsmetodes dit onmoontlik maak om die standarde direk met mekaar te vergelyk.

Moontlike toetsparameters

Ondanks die verskille wat uit die spesifikasies te voorskyn kom is daar wel 'n onderlinge ooreenkoms in die media-eienskappe wat ondersoek word. Die belangrikste gemeenskaplike eienskappe is die korrelgrootte en korrelgrootte verspreiding, of gradering, die korrelvorm, en die fisiese en chemiese stabiliteit van die media.

Die definisie en meet van korrelgrootte en korrelgrootte verspreiding is moontlik die aspek van media evaluasie wat die grootste ooreenstemming geniet tussen die onderskeie spesifikasies. Effektiewe grootte (d_{10}) en uniformiteitskoëffisiënt (UC) is begrippe wat algemeen en eenduidig gebruik word. Die meetproses wat algemeen gebruik word is 'n sifanalise, maar die spesifikasies verskil egter onderling in terme van

die skudaksie, die duurt van die skudaksie en die siftipes wat gebruik moet word. Hierdie verskille het resultate tot gevolg wat nie met sekerheid onderling met mekaar vergelyk kan word nie.

Die definisie en meet van korrelvorm, anders as met korrelgrootte, is seker dié aspek van mediakarakterisering waaroor die minste konsensus bestaan. Verskeie definisies is deur die jare deur verskeie navorsers voorgestaan en elk van hierdie definisies het natuurlik 'n eie meetmetode. Dit het die gevolg dat die resultate van die onderskeie toetsmetodes moeilik vergelykbaar is. Dit blyk egter dat die definisie van korrelvorm in terme van oppervlak area en volume oorwegings fundamenteel die mees korrekte definisie kan wees. Die meting en korrelvorm met behulp van die Ergun-vergelyking vir die energieverlies deur 'n skoon mediabed laat egter nog vrae oor die akkuraatheid van die toetsmetode omdat die korrelvorm veranderlike bloot optree as 'n kalibrasiekonstante vir hierdie vergelyking.

Die volgende media-eienskap wat vir ontwerpers belangrik is, is die langtermyn stabiliteit van die media. Hierdie stabiliteit kan beskryf word aan die hand van die fisiese en chemiese eienskappe van die media.

Toetse en eienskappe van media wat gebruik word om die fisiese stabiliteit van media te bepaal is onder andere:

- die hardheid van die media,
- die mate waarin die media weerstand bied teen vergruising, en
- die mate waarin die media weerstand bied teen slyting.

Die resultate wat uit hierdie verskillende toetse verkry word, is nie onderling vergelykbaar nie, en verder bestaan daar geen metode om die resultate van sommige van hierdie toetse direk te vertaal in die langtermyn prestasie van die media in die bed nie.

Die bepaling van die chemiese stabiliteit van media geniet egter meer eenstemmigheid wanneer die verskeie spesifikasies met mekaar vergelyk word. Alle toetse is daarop ingestel om die suuroplosbaarheid van die media te bepaal. Daar bestaan egter nog verskille tussen die spesifikasies in terme van die suurstrekte wat gebruik moet word, die periode van onderdompeling van die media, en dan finaal, watter graad van suuroplosbaarheid as aanvaarbaar beskou kan word.

Ander media-eienskappe en toetsprosedures wat ondersoek was, is die media se porositeit, silika-inhoud en basis-oplosbaarheid.

Dit is dus duidelik dat daar internasionaal 'n gebrek aan konsensus bestaan in die spesifikasie en toets van media. Hierdie ondersoek het dit ten doel om hierdie verskillende maatstawwe te ondersoek, en om aanbevelings te maak vir 'n eenduidige algemeen aanvaarde plaaslike standaard vir Suid-Afrika.

Toetsprosedures

Vir elke media-eienskap wat algemeen gebruik en gespesifiseer word, bestaan daar gewoonlik meer as een toetsprosedure. Die verskille in toetsprosedures is somtyds klein en varieer net op punte van detail vir media-eienskappe wat goed gegrond en gedefinieer is, soos digtheid, en somtyds is die toetsprosedures wyd uiteenlopend.

Die verskeie toetsmetodes wat deur verskillende outeurs en instansies voorgestaan word, is almal ondersoek in die literatuur en sommige in die laboratorium om die beste metodes vir gebruik in Suid Afrika te identifiseer. Die maatstawwe waaraan die finale gekose metodes moes voldoen is:

- akkuraatheid en herhaalbaarheid,
- lae moeilikheidsgraad sodat dit algemeen toegepas kan word, en
- die resultate verkry uit die toetse moes sover moontlik direk vertaal kan word in werklike mediaprestasie in die filter.

Na afloop van hierdie deel van die ondersoek en die identifikasie van geskikte toetsmetodes, is verskeie silika sandmonsters van verskeie produsente verkry. Hierdie mediamonsters is aan die hand van die verskeie toetsmetodes ondersoek.

Tipiese resultate

Uit hierdie ondersoek kon 'n tipiese profiel van Suid-Afrikaanse silikasand saamgestel word. Opsommend sien daardie profiel as volg uit:

- Effektiewe grootte (d_{10}) = 0,28 tot 1,10 mm afhangende van die gradering,
- Uniformiteitskoëffisiënt (UC) = 1,26 tot 1,60 met enkele uitsonderings,
- Digtheid (ρ) = 2625 tot 2641 kg.m⁻³,
- Oppervlakverhouding sferisiteit (ψ) = 0,42 tot 0,86,
- Porositeit (ϵ) = 0,42 tot 0,57,
- Silika inhoud $\geq$ 98,5% per massa,
- Suuroplosbaarheid = 0,05% tot 0,25% en
- Verlies tydens terugwas = 0,022% tot 0,374%.

Die inligting hierbo weergegee toon dat die plaaslike silikasand goed vergelyk wanneer dit teen internasionale spesifikasies opgeweeg word. Aspekte van die plaaslike bedryf wat moontlik wel aandag regverdig is die gradering van die media. Die belangrikste en maklikste om te beheer is die uniformiteitskoëffisiënt wat hoog vertoon teen internasionale spesifikasies wat oor die algemeen waardes laer as 1,40 vereis. Verder is die gevoel dat, alhoewel internasionale spesifikasies nie pertinent riglyne voorstel vir die korrelvorm nie, 'n sferisiteit van 0,42 te laag is. Hierdie silikasand mag egter wel toepassing vind waar verbruikers 'n voorkeur vir skerfagtige media het.

Wiskundige voorspelling van hidrouliese gedrag

Baie van die eienskappe wat hier ondersoek is, word gebruik vir die wiskundige voorspelling van mediagedrag in die filterbed. Die belangrikste vrae wat gevra word in terme van die hidrouliese gedrag van die media is:

- wat is die energieverlies wanneer skoon water deur die bed filtreer word,
- by watter terugwassnelheid begin die bed fluïdiseer, en
- wat is die verband tussen terugwassnelheid en beduitsetting?

Talle modelle wat hierdie vrae aanspreek is reeds deur ander outeurs gepubliseer. In hierdie ondersoek is hierdie modelle onder oë geneem en is die mees toepaslikes geïdentifiseer. Hierdie modelle is aan die hand van praktiese ondersoeke met plaaslike media geverifieer. Ergun (1952) se vergelyking vir energieverlies, Wen en Yu (1966) se verband vir minimum fluïdisasie en Dharmarajah (1986) se algoritme vir beduitsetting is finaal gekies as die beste modelle op grond van hul akkuraatheid en maklike gebruik. Hierdie modelle berus almal op fisiese eienskappe van die media wat vooraf bepaal kan word.

Die modelle wat finaal voorgestel word toon redelike akkuraatheid oor die volledige spektrum van silikasand wat ondersoek is. Wen en Yu (1966) se verband vir minimum fluïdisasie toon 'n gemiddelde afwyking van $0,91 \text{ mm.s}^{-1}$ vir 'n verspreiding van media korrels wat getoets is van 2 mm.s^{-1} tot 22 mm.s^{-1} terwyl Dharmarajah (1986) se beduitsettingsmodel met net 2% tot 3% van waargenome punte verskil. Daar is gevind dat die gemete en voorspelde data groter verskille begin toon waar die uitgesette bedporositeit hoër as 0,75 is weens fluïdisasie.

Ergun (1966) se vergelyking vir energieverlies word effektief gekalibreer wanneer die vergelyking gebruik word om die oppervlakverhouding sferisiteit te bereken. Om die rede behoort die vergelyking besondere raak voorspellings te maak.

Opsomming

In hierdie ondersoek is verskeie media-eienskappe geïdentifiseer en metodes om dit te meet, is ondersoek. Hierdie is dan toegepas op plaaslike silikasand om te sien hoe plaaslike silika internasionaal vergelyk.

In die plaaslike mediabedryf kan hierdie werk, en die bevindinge hierin vervat, gebruik word 'n plaaslike algemene aanvaarde spesifikasie, met insette van ontwerpers, operateurs asook mediaverskaffers, saam te stel.

Voorstelle vir verdere navorsing word aan die einde van die verslag ingesluit.

EXECUTIVE SUMMARY

There is no generally accepted South African specification for granular media deep bed filters. Various international standards are consequently consulted, without standardisation of the test parameters, test methods, definitions of media characteristics, or the specified standard.

In order to promote a larger measure of uniformity in terms of media specification in practice, this study was undertaken with the following goals:

- to identify and describe the test parameters included in existing specifications,
- to analyze existing specifications to identify those test parameters which are consistently used,
- to describe all existing test parameters with their advantages and disadvantages,
- to analyze and verify different mathematical models that describe the hydraulic behaviour of media in terms of measured physical characteristics, and
- to make proposals for a South African specification based on measured media characteristics that include suggested test parameters, test procedures and standards.

The results from this project should contribute to the uniform testing and specification of media in the South African filter media industry.

International specifications

Several countries and institutions already investigated the specification of filter media and various standards were subsequently published. In South Africa, several water

boards and municipalities have also investigated this matter and put forward some guidelines for own use. Countries that have published national standards include America, Germany, the Netherlands and India, while Britain and France are currently busy with the compilation of their standards. Other persons, institutions and companies that have produced specifications which are widely used are; Prof Ives (1975), Degrémont, Rand Water and Cape Town Municipality. The South African Bureau of Standards have also produced standard test methods which could be partly applied to the evaluation and specification of filter media.

Except for the British and French standards, all of the above mentioned publications were investigated thoroughly. All these standards were compiled rather independently, i.e. no attempt was made to create a standard for international use. The specifications differ markedly and, in some respects, are impossible to compare directly.

Possible test parameters

Some test parameters are used in all specifications. The most important of these characteristics are media grain size, grain size distribution, grain shape and the physical and chemical stability of the media.

The definition and measurement of grain size and size distribution enjoy the largest measure of uniformity between the various specifications. The concepts of effective size (d_{10}) and coefficient of uniformity (UC) are well defined and generally accepted. A sieve analysis is used in all cases to determine these quantities. The various specifications do however vary slightly in terms of the shaking motion that should be used, the duration of the shaking motion and the type of sieves that should be used. Because of these differences, results are only approximately comparable.

The measurement and specification of grain shape, on the other hand, is the aspect of grain characterisation that has given rise to the largest variety of definitions and test methods. Comparison between specifications are often impossible. The definition of grain shape in terms of its surface area and volume remains the most fundamentally correct definition. The indirect determination of this value by using the Ergun equation for head loss through a clean bed does, however, leave some doubts.

A important media characteristic is the long term stability of the media. This stability is a function of the physical and chemical characteristics of the media. Tests and parameters that are used to determine the physical stability of the media include:

- the hardness of the media,
- the measure of resistance the media against crushing, and
- the measure of resistance the media against attrition.

The results from these tests cannot easily be compared and furthermore no method exists to extrapolate the results from some of these experiments to true long term media performance in a filter bed.

The determination of chemical stability, on the other hand, enjoys more uniformity when different specifications are compared. Some differences do exist and these include the acid strength that must be used, the length of time the media has to be exposed to the acid and the acceptable level of acid solubility.

Other media characteristics and test procedures that were investigated, were for porosity, silica content of silica sand and base solubility.

It is clear that there is considerable lack of consensus far as media specification and testing is concerned. This project has the objective to clarify some of these issues in order to arrive at a more consistent approach to media specification in South Africa.

Test procedures

Often more than one test procedure exist for the same media characteristic. These differences in definition and test procedure were small for some characteristics, as for density, but the differences are more pronounced in others. This was found to be the case for the more complex media characteristics such as grain shape.

The various testing methods and procedures were investigated on both a practical and theoretical level to determine which would be best suited for use in South Africa. The guidelines that were used to choose the best procedures were:

- accuracy and reproducibility,
- low level of difficulty so that it could be applied easily, and
- the results generated from the tests must have a direct bearing on the actual performance of the media in the filter bed.

After applicable test procedures were identified, silica sand samples were gathered from various producers. These samples were investigated using the test procedures identified in this section.

Typical results

From the investigation that was undertaken, a profile could be compiled of typical South African silica sand. A summary of the results are presented here:

- effective size (d_{10}) = 0,28 to 1,10 mm according to grading,
- uniformity coefficient (UC) = 1,26 to 1,60,

-
- density (ρ) = 2625 to 2641 kg.m⁻³,
 - surface ratio sphericity (ψ) = 0,42 to 0,86,
 - porosity (ϵ) = 0,42 to 0,57,
 - silica content $\geq$ 98,5% per weight,
 - acid solubility = 0,05% to 0,25% and
 - weight loss during backwash = 0,022% to 0,374%.

This data compares well with other specifications for silica sand. An aspect of the local media industry that can be improved is the uniformity coefficient and ultimately the grading of local media. Internationally UC values lower than 1,40 are frequently quoted as the norm. Indications from the literature are also that sphericity values of 0,42 are lower than generally acceptable.

Mathematical prediction hydraulic media behaviour

Many of the media characteristics that were investigated in this study find application in the prediction of media behaviour in a filter bed. Some of the most important questions asked in terms of the media behaviour during design of the bed are:

- what is the energy loss experienced by clean water running through the clean filter bed,
- at what backwash velocity will the bed fluidize, and
- what is the relationship between backwash and bed expansion?

Several workers have developed models for the calculation of the above questions. These models were also investigated during this study in order the most appropriate models. The models were then verified using local media. Ergun's (1952) equation for energy loss, Wen and Yu's (1966) relationship for minimum fluidization and Dharmarajah's (1986) model for bed expansion were finally chosen as best models

based on their accuracy and ease of use. All three these models are based on the physical properties of the media that can be determined beforehand.

The models proposed show reasonable accuracy across the entire spectrum of silica sand that was investigated in this study. Wen and Yu's (1966) relationship for minimum fluidisation had an average deviation of 0,91 mm.s⁻¹ over a spread of silica samples with fluidisation velocities ranging from 2 mm.s⁻¹ to 22 mm.s⁻¹ while Dharmarajah's model (1966) differed from measured points with 2% to 3%. It was found that the difference between measured and predicted bed expansion depths increased beyond this when the expanded bed porosity went beyond 0,75.

Ergun's equation (1966) is effectively calibrated when it is used to determine the surface ratio sphericity of a media sample. Due to this reason it is expected to produce reasonably accurate predictions of head loss through a clean filter bed.

Summary

During this study various media characteristics and their methods of measurement were investigated. These were applied to local media to see how they compare to international standards.

The findings contained in this work could contribute towards the development of a generally accepted media specification for South African. Such a specification would also require the inputs from designers, operators and the media industry itself.

The report is concluded with proposals for further research.

DANKBETUIGINGS

Die outeurs wil hul dank oordra aan die Mediaverskaffers, Raadgewende Ingenieursfirmas, Randwater, die Munisipaliteit Kaapstad en kontrakteurs wat 'n bydrae tot hierdie projek gelever het. Asook aan die Waternavorsingskommissie wat die projek finansieel ondertseun het.

Verdere dank is verskuldig aan die Randse Afrikaanse Universiteit, en in besonder die Laboratorium vir Energie, vir die gebruik van hul fasiliteite.

INHOUDSOPGAWE

BESTUURSOPSOMMING	i
EXECUTIVE SUMMARY	ix
DANKBETUIGINGS	xvi
LYS VAN TABELLE	xxi
LYS VAN FIGURE	xxiv
LYS VAN VERANDERLIKES	xxvi
HOOFSTUK 1 - INLEIDING	1.1
1.1 Die beginsels van filtrasie	1.1
1.2 Filtermedia	1.2
1.3 Die Suid-Afrikaanse mediabedryf	1.4
1.4 Doel van die projek	1.5
1.5 Befondsing en uitvoering van die projek	1.6

HOOFSTUK 2 - LITERATUURSTUDIE	2.1
2.1 Mediaspesifikasies vir diepbedfiltrasie	2.1
2.1.1 Buitelandse mediaspesifikasies	2.2
2.1.2 Plaaslike mediaspesifikasies	2.4
2.2 Karakterisering van media	2.5
2.2.1 Media korrelgrootte	2.6
2.2.3 Media korrelvorm	2.14
2.2.4 Porositeit	2.25
2.2.5 Digtheid	2.28
2.2.6 Duursaamheid	2.31
2.3 Chemiese kenmerke van media	2.33
2.3.1 Silika inhoud	2.34
2.3.2 Suuroplosbaarheid	2.35
2.3.3 Basisoplosbaarheid	2.37
2.4 Hidrouliese gedrag van media	2.37
2.4.1 Energieverlies deur 'n skoon bed	2.38
2.4.2 Minimum fluïdisasie	2.40
2.4.3 Beduitsetting	2.43
2.4.4 Mediavermenging	2.50
2.4.5 Wiskundige modellering van werklike mediabeddens	2.53
2.5 Slot	2.53

HOOFSTUK 3 - EVALUASIEMETODES VIR FILTERMEDIA	3.1
3.1 Identifikasie en besoeke aan plaaslike mediamyne	3.1
3.2 Monsterneming	3.2
3.3 Fisiese kenmerke van media	3.4
3.3.1 Visuele inspeksie	3.4
3.3.2 Sifanalise	3.5
3.3.3 Digtheid	3.7
3.3.4 Ekwivalente diameter (d_{eq})	3.9
3.3.5 Terminaalvalsnelheid (v_t)	3.10
3.3.6 Hidrouliese diameter	3.12
3.3.7 Hidroulies ekwivalente sferisiteit (ψ_h)	3.13
3.4 Kolomtoetse	3.14
3.4.1 Porositeit	3.18
3.4.2 Sferisiteit	3.19
3.4.3 Minimum fluïdisasie en beduitsetting	3.20
3.4.4 Duursaamheid	3.20
3.5 Chemiese eienskappe van media	3.21
3.5.1 Suuroplosbaarheid	3.21
3.5.2 Basisoplosbaarheid	3.23
3.5.3 Chemiese samestelling van silikasand	3.23
 HOOFSTUK 4 - RESULTATE EN BESPREKING	 4.1
4.1 Besoeke aan plaaslike mediaproducte	4.1

4.2	Visuele inspeksie	4.5
4.3	Sifanalises	4.8
4.4	Digtheid	4.13
4.5	Ekwivalente diameter	4.16
4.6	Terminaalvalsnelheid	4.20
4.7	Hidrouliese diameter	4.20
4.8	Sferisiteit	4.22
4.8.1	Visuele sferisiteit	4.22
4.8.2	Hidroulies ekwivalente sferisiteit	4.24
4.8.3	Oppervlakverhouding sferisiteit	4.29
4.9	Duursaamheid	4.33
4.10	Suuroplosbaarheid en basisoplosbaarheid	4.35
4.11	Chemiese samestelling van die silikasand	4.38
4.12	Porositeit	4.40
4.13	Minimum fluïdisasie en beduitsetting	4.43
4.14	Slot	4.46

HOOFSTUK 5 - TENTATIEWE VOORSTELLE VIR MEDIASPEKIFIKASIE EN EVALUASIE	5.1
--	------------

HOOFTUK 6 - SLOT EN VERDERE WERK	6.1
BIBLIOGRAFIE	7.1

LYS VAN TABELLE

- Tabel 2.1 -** Vergelykende mediaspesifikasies vir korrelgrootte en gradering
- Tabel 2.2 -** DIN 19623 Spesifikasies vir filtermedia korrelgroottes
- Tabel 2.3 -** Sferisiteit deur visuele inspeksie
- Tabel 2.4 -** Vergelykende mediaspesifikasies vir korrelvorm
- Tabel 2.5 -** Vergelykende mediaspesifikasies vir digtheid
- Tabel 2.6 -** Die Moh-hardheidskaal
- Tabel 2.7 -** Vergelykende mediaspesifikasies vir mediaduursaamheid
- Tabel 2.8 -** Degrémont duursaamheidsvereistes
- Tabel 2.9 -** Vergelykende spesifikasies vir silika inhoud
- Tabel 2.10 -** Vergelykende spesifikasies vir suuroplosbaarheid
- Tabel 4.1 -** Mediamonsters geëvalueer in hierdie ondersoek
- Tabel 4.2 -** Opsommende data vir sifanalises.
- Tabel 4.3 -** Afwykings in die data ontvang van verskaffers

Tabel 4.4 -	Vergelykende digtheidsresultate
Tabel 4.5 -	Vergelyking van digtheidsbepalingsmetodes vir poreuse media
Tabel 4.6 -	Gemiddelde digthede vir plaaslike media
Tabel 4.7 -	Tipiese resultate vir ekwivalente diameter
Tabel 4.8 -	Gemiddelde hidrouliese diameters
Tabel 4.9 -	Opsommende data vir visuele sferisiteit
Tabel 4.10 -	Opsommende data vir hidroulies ekwivalente sferisiteit
Tabel 4.11 -	Hidroulies ekwivalente sferisiteit ondersoek tussen ooreenstemmende korrelgrootte intervale uit dieselfde myn
Tabel 4.12 -	Hidroulies ekwivalente sferisiteit ondersoek tussen verskillende korrelgrootte intervale uit dieselfde myn
Tabel 4.13 -	Hidroulies ekwivalente sferisiteit ondersoek tussen dieselfde korrelgroottes uit verskillende myne
Tabel 4.14 -	Die oppervlakverhouding sferisiteit vir plaaslike media
Tabel 4.15 -	Duursaamheid van plaaslike media
Tabel 4.16 -	Persentasie suuroplosbare materiaal
Tabel 4.17 -	Persentasie basisoplosbare materiaal

Tabel 4.18 -	Samestelling van silikasand, verkry vanaf verskaffers
Tabel 4.19 -	Samestelling van silikasand, getoets deur onafhanklike laboratorium
Tabel 4.20 -	Porositeit van plaaslike media
Tabel 4.21 -	Opsommende data vir fluïdisasie ondersoek
Tabel 5.1 -	Media-eienskappe en hul rol in 'n filterbed
Tabel 5.2 -	Mediatoetse
Tabel 5.3 -	Keuse van spesifieke toetsmetodes
Tabel 5.4 -	Mediaspesifikasies

LYS VAN FIGURE

- Figuur 2.1** - Tipiese sifanalise data
- Figuur 2.2** - Voorbeeld van 'n begrensingskromme
- Figuur 2.3** - Sferisiteit van granulêre materiaal
- Figuur 2.4** - Die verband tussen sleurkragte en Reynoldsgetalle
- Figuur 2.5** - Die Camp-krommes
- Figuur 2.6** - Die verhouding tussen sferisiteit en porositeit
- Figuur 2.7** - Grafiese bepaling van v_{mf}
- Figuur 2.8** - Energieverlies vs. terugwassnelheid
- Figuur 2.9** - Die verband tussen porositeit en Reynoldsgetal tydens fluïdisasie
- Figuur 2.10** - Vermenging en stratifikasie van media
- Figuur 3.1** - Die toetskolomopstelling
- Figuur 3.2** - Die toetskolom
- Figuur 3.3** - Die manometerkoppelstuk

-
- Figuur 4.1 -** Tipiese silika filtermedia soos gesien deur 'n stereomikroskoop
- Figuur 4.2 -** Tipiese sifanalise data
- Figuur 4.3 -** Sifanalise data geplot op 'n log-waarskynlikheid assestelsel
- Figuur 4.4 -** Wen en Yu (1966) se verbande met datapunte uit hierdie ondersoek
- Figuur 4.5 -** Vergelyking van Wen en Yu (1966) se model vir v_{mf} met data gemeet vir plaaslike media

LYS VAN VERANDERLIKES

A	-	Totale korreloppervlak in 'n mediabed	[m ²]
A1	-	Snelheidsonafhanklike funksie	[-]
C _D	-	Sleurkoëffisiënt	[-]
C _o	-	Volumetriese konsentrasie van mediakorrels in 'n bed	[-]
D _t	-	Kolomdiameter	[m]
d	-	Korrelgrootte	[m]
d _{eq}	-	Ekwivalente diameter	[m]
d _g	-	Geometriese diameter	[m]
d _h	-	Hidroulies ekwivalente diameter	[m]
d _p	-	Pypdiameter in die Poisseuille vergelyking	[m]
d _w	-	Relatiewe digtheid van water	[-]
d _x	-	Sifopening wat x% van die media deurlaat	[m]
d ⁺	-	Sifopening net groter as 'n gegewe korrel	[m]
d ⁻	-	Sifopening net kleiner as 'n gegewe korrel	[m]
d ₁₀	-	Effektiewe diameter	[m]
Ga	-	Galileo getal	[-]
g	-	Gravitasie versnelling	[m.s ⁻²]
H	-	Lengte van filterlopie (Baylis 1937)	[h]
H _o	-	Nulhipotese	[-]
h	-	Energie verlies	[m]
K, K ₁ , K ₂ , K ₃	-	Konstantes	[-]
k, k ₁ , k ₂	-	Konstantes	[-]
k _s	-	Terminaalvalsnelheid temperatuur afhanklike aanpassingskonstante	[m ² .s ⁻²]
l	-	Mediabed diepte	[m]
l _e	-	Beddiepte tydens uitsetting	[m]

l_p	-	Pyplengte in die Poisseuille vergelyking	[m]
m	-	Massa media in 'n bed of maatsilinder	[kg]
m_a	-	Massa van digtheidsmeterbottel	[kg]
m_s	-	Massa van digtheidsmeterbottel en sand	[kg]
m_{sw}	-	Massa van digtheidsmeterbottel, sand en water	[kg]
m_w	-	Massa van digtheidsmeterbottel en water	[kg]
n	-	Beduitsettingskoëffisiënt	[-]
Re	-	Reynolds-getal	[-]
Re_B	-	Blake se aangepaste Reynolds-getal	[-]
Re_{mf}	-	Reynolds-getal in 'n mediabed tydens minimum fluïdisasie	[-]
Re_t	-	Reynolds-getal vir 'n mediakorrel wat val teen sy terminaal valsnelheid	[-]
S	-	Vormfaktor	[-]
S_v	-	Spesifieke area	[m ⁻¹]
SG	-	Soortlike gewig	[-]
T	-	Temperatuur	[°C]
u	-	Vloeisnelheid vir die Poisseuille vergelyking	[m.s ⁻¹]
UC	-	Uniformiteitskoëffisiënt	[-]
V_s	-	Volume soliedes in 'n bed	[m ³]
V_t	-	Totale volume van 'n bed	[m ³]
v	-	Filtrasietyempo	[m.s ⁻¹]
v_{mf}	-	Minimum fluïdisasiesnelheid	[m.s ⁻¹]
v_o	-	Aangepaste terugwastempo	[m.s ⁻¹]
v_t	-	Terminaal valsnelheid van 'n mediakorrel	[m.s ⁻¹]
X	-	Persentasie media vergruis in 'n inpaktoets	[-]
α	-	v_t aanpassingswaarde	[-]
ϵ	-	Porositeit	[-]
ϵ_e	-	Porositeit tydens beduitsetting	[-]

ϵ_{mf}	-	Porositeit by minimum fluïdisasie	[-]
ϵ_x	-	Porositeit van groter korrels by mediavermenging	[kg.m ⁻³]
ϵ_y	-	Porositeit van kleiner korrels by mediavermenging	[kg.m ⁻³]
	-	Dinamiese viskositeit	[kg.m ⁻¹ .s ⁻¹]
ρ	-	Digtheid van water	[kg.m ⁻³]
ρ_{bx}	-	Stortdigtheid van groter korrels by mediavermenging	[kg.m ⁻³]
ρ_{by}	-	Stortdigtheid van kleiner korrels by mediavermenging	[kg.m ⁻³]
ρ_s	-	Digtheid van media	[kg.m ⁻³]
ρ_{sx}	-	Digtheid van groter korrels by mediavermenging	[kg.m ⁻³]
ρ_{sy}	-	Digtheid van kleiner korrels by mediavermenging	[kg.m ⁻³]
ψ	-	Sferisiteit	[-]
ψ_h	-	Hidroulies ekwivalente sferisiteit	[-]

HOOFSTUK 1 - INLEIDING

1.1 Die beginsels van filtrasie

Filtrasie is een van die belangrikste vastestof-vloeistof faseskeidingsprosesse wat gebruik word tydens die suiwering van drinkwater. Die proses word gebruik vir die verwydering van swewende partikels in die water. Hierdie partikels het hul oorsprong in die rouwater wat gesuiwer moet word, of kan gegenereer word deur water behandelingsprosesse wat filtrasie voorafgaan. Voorbeelde daarvan is klei, slik, mikroörganismes, humiese komponente en presipitate van die flokkulante wat vooraf in die proses gebruik word.

Filtrasie is gewoonlik die laaste stap in die suiweringsproses en word in meeste gevalle gevolg met chlorering. Dit is dus die laaste geleentheid om die estetiese kwaliteit (troebelheid, ens.) van die water te verbeter voor dit die verbruiker bereik. Verder speel dit 'n belangrike rol in die verwydering van patogene uit die drinkwater.

Tydens konvensionele afwaartse filtrasie word die filterbed van bo af belaaï met water met swewende materiaal. Die verwydering van die swewende materiaal geskied bo in die boonste deel van die bed. Die meganismes wat hiervoor verantwoordelik is, is sifaksie, onderskepping, adsorpsie, flokkulasie en sedimentasie. Met die verloop van tyd word meer en meer van die materiaal teruggehou in die ruimtes binne die mediabed en dit veroorsaak dat die energieverlies binne die bed toeneem. Die gebruik van 'n filterbed word stopgesit wanneer die energieverlies 'n vooraf gestelde perk bereik of wanneer die filtraatkwaliteit onaanvaarbaar laag word. Hierna word die bed skoongemaak. In meeste korrelmedia filters geskied dit deur die vloeirigting van die water om te keer.

Die ontwerp van 'n filter berus op 'n verskeidenheid oorwegings en spesifikasies (Galvin,

1992). Hierdie is die tipe media, die korrelgrootte, korrelgrootteverspreiding en beddiepte, die filtrasietyempo, die toelaatbare energieverlies, die minimum fluidisasie snelheid van die media, die beduitsetting tydens terugwas en die filterbedryfsprosedure.

Hierdie ondersoek is toegespits op die media wat binne die filterbeddens gebruik word.

1.2 Filtermedia

Die rol van die media is hoofsaaklik om 'n poreuse matriks te skep waardeur onsuiverhede in vuil water kan beweeg om die bed binne te dring en dan ook om 'n aanhegtings oppervlak aan die onsuiverhede te voorsien sodat hulle uit die water verwyder en gehou kan word.

Daar is verskeie mediatipes wat in die filterbed gebruik kan word. Die algemene vereistes is dat dit inerte korrelvormige materiaal is. Hierdie materiaal moet bepaalde meganiese en chemiese eienskappe besit wat dit in staat sal stel om hul integriteit te kan behou tydens die filtrasie en terugwas prosesse. Daarby moet die media voldoen aan eise wat deur die rouwater daaraan gestel word om te verseker dat die filtraat van 'n aanvaarbare standaard is. Die eienskappe van die media wat hierdie uitvloeikwaliteit beïnvloed is korrelgrootte, korrelvorm en korreloppervlak. Hierby speel die porositeit en die aard en lading van die materiaal wat gefiltreer moet word ook 'n baie groot rol (De Lathouder, 1973).

Die medium wat by verre die meeste gebruik word in filterbeddens, is silikasand. Weens die sand se lae prys en ruim beskikbaarheid is dit nie net die mees ekonomiese keuse nie maar daar is reeds uitgebreide ervaring opgedoen met hierdie medium. Vir die gebruikelike beddiepte, is die prys vir silikasand, per m² voltooide filter, ongeveer 2% van die totale koste van die filter (De Lathouder, 1973).

Ander natuurlike mediatipes wat wêreldwyd gebruik word, is antrasiet, granaatsteen en ilmeniet. Hierdie media word gewoonlik in kombinasie met silikasand gebruik. In sommige gevalle word ander tipes media, soos granulêre geaktiveerde koolstof (GAC) ook gebruik. Die GAC word gebruik vir die beheer van reuk en smaak probleme in die beddens waar hierdie media dan optree in beide filtrasie en adsorpsie rolle (AWWA, 1990).

Van die ander mediatipes is antrasiet die enigste wat in 'n redelike mate in Suid-Afrika gebruik word en die eienskappe hiervan word later in diepte in die verslag bespreek. Granaatsteen is 'n term wat in die filterbedryf gebruik word om te verwys na 'n verskeidenheid van minerale, onder andere, almandiet, andradiet en grossulariet wat silikate van yster, aluminium en kalsium mengsels is. Ilmeniet is 'n yster-titanium-erts wat geassosieer word met die ysteroksides hematiet en magnetiet. Beide granaatsteen en ilmeniet het besondere hoë digtheid met benaderde SG-waardes van 3,9 en 4,4 (Cleasby, 1990). Hierdie mediatipes word vind egter nie groot toepassing in Suid-Afrika nie.

Alhoewel die gebruik van sintetiese filtermedia nie baie algemeen is nie, kom dit wel voor. In Suid-Afrika word media vir filterbeddens geproduseer deur platiumslak te vergruis. Die media, met 'n redelike hoë digtheid, sal ook later bespreek word.

Die eienskappe wat media openbaar, is reeds aangeraak. Die belangrikste van hierdie media eienskappe is:

- die korrelgrootte,
- die korrelgrootte verspreiding binne 'n gegewe mediamonster,
- die korrelvorm,
- die porositeit van die mediabed,

- die digtheid van die media,
- die weerstand wat dit bied teen afslyting en die
- die chemiese stabiliteit van die media.

Internasionaal is verskeie mediaspesifikasies reeds gepubliseer. Hierdie spesifikasies stel standarde waaraan die media moet voldoen en ook hoe vir hierdie eienskappe gemeet moet word. Verder bestaan daar verskeie gepubliseerde modelle, wat met behulp van die media eienskappe, voorspel wat die hidrouliese gedrag van die media sal wees. Vir 'n ontwerper is dit belangrik om die volgende hidrouliese eienskappe te kan voorspel:

- Die energieverlies deur die bed tydens filtrasie,
- die punt van minimum fluïdisasie en
- die uitsetting wat die bed ondergaan tydens terugwas.

1.3 Die Suid-Afrikaanse mediabedryf

Suid-Afrika beskik oor 'n goed gevestigde filtermedia bedryf met verskeie produsente wat media aan die mark lewer en verskeie ontwerpers wat hierdie media in hulle filters gebruik. Alhoewel enkele instansies redelik bedrywig is met die ondersoek en spesifikasie van filtermedia, bestaan die volgende gebreke:

- Daar bestaan nie 'n duidelike beeld van die algemene kenmerke van Suid-Afrikaanse filtermedia nie,
- daar bestaan nie 'n spesifikasie vir vereiste media eienskappe nie,
- daar bestaan nie 'n standaard vir toetsmetodes vir filtermedia in Suid-Afrika nie,
- gepubliseerde modelle wat mediagedrag voorspel word nie gereeld aangewend nie en
- volledige ondersoeke op filtermedia word slegs in uitsonderlike gevalle gedoen.

Om hierdie situasie te remedieer het sommige ontwerpers begin om spesifikasies uit ander lande te implementeer. Hierdie spesifikasies verskil egter onderling soveel dat dit

die bedryf eerder kompliseer as ondersteun. Verder bestaan die situasie dat verskaffers net kennis dra van die mees basiese eienskappe van hul produk. Wanneer hulle dan gekonfronteer word met meer volledige tenders weet hulle nie of hul produk aan die vereistes voldoen nie.

Die voordele van 'n enkele standaard media spesifikasie, wat internasionaal goed vergelyk, is ooglopend. Die voordeel van 'n meer intieme kennis van plaaslike media en mediabronne sal homself manifesteer in meer ekonomiese en effektiewe filterbed ontwerp en bedryf. Verder sal die ontwerper in terme van 'n eenduidige, volledige, algemeen aanvaarde stel eienskappe sy behoeftes aan die mediaverskaffer kan weergee. Vir die verskaffer sal die internasionale mediamark meer bereikbaar wees.

1.4 Doel van die projek

Hierdie projek het dit hoofsaaklik ten doel om plaaslike filtermedia te evalueer. Hieraan word verskeie ander ondersoek gekoppel en die stappe waardeur die ondersoek beweeg kan soos volg opgesom word:

- Die bestudering van internasionale en plaaslike mediaspesifikasies om vas te stel watter eienskappe van media verlang word,
- 'n ondersoek na 'n verskeidenheid van meetprosedures wat op media toegepas kan word om die eienskappe daarvan akkuraat en maklik te kan bepaal,
- die evaluasie van die plaaslike media aan die hand van die internasionale publikasies met die gekose meetmetodes om die kwaliteit daarvan te bepaal,
- die toets van reeds gepubliseerde modelle wat die gedrag van media voorspel om die toepaslikheid van hierdie modelle op Suid-Afrikaanse media te ondersoek, en dan laastens
- die maak van voorstelle vir 'n Suid-Afrikaanse mediaspesifikasie.

Die projek word losweg aan die hand van die bogenoemde punte in hierdie verslag weergegee. Die verslag is geskryf in die klassieke formaat waar die inleiding gevolg word deur 'n opskryf van die literatuur wat as van belang geag word. Die rapportering van eksperimentele metodes en die bespreking van die resultate volg hierop. Die verslag sluit met 'n tentatiewe spesifikasie vir Suid-Afrikaanse media vir diepbedfiltrasie. Die data wat deur die loop van die projek versamel is, word opsommenderwys in die verslag weergegee.

1.5 Befondsing en uitvoering van die projek

Hierdie ondersoek is befonds deur die Waternavorsingskommissie en is gedoen in die Laboratorium vir Energie aan die Randse Afrikaanse Universiteit.

HOOFSTUK 2 - LITERATUURSTUDIE

Die evaluasie van media behels kortliks die identifisering van verskeie media eienskappe, die meting (kwantifisering) daarvan, die vergelyking van die resultate met vasgestelde vereistes, en dan die vermoë om die invloed van hierdie eienskap op die mediabed korrek te voorspel. Die toepaslike literatuur is ondersoek en die relevante inligting word in hierdie hoofstuk weergegee. Die literatuur word bespreek onder die volgende hoofde:

- Mediaspesifikasies,
- die karakterisering van media,
- die chemiese kenmerke van media en
- die hidrouliese gedrag van media.

2.1 Mediaspesifikasies vir diepbedfiltrasie

Die logiese begin in die evaluasie van plaaslike media is om die spesifikasies van ander lande, organisasies en verskaffers te bestudeer omrede die skrywers hiervan reeds hulself die volgende vrae moes afvra:

- Watter media eienskappe is belangrik?
- Hoe word hierdie eienskappe gekwantifiseer?
- Watter standarde word van media verwag?

Daar word onderskei tussen publikasies wat internasionaal gebruik word en spesifikasies wat plaaslik toegepas word deur die groter instansies wat deurentyd doenig is met die onderwerp.

2.1.1 Buitelandse mediaspesifikasies

Daar is tans verskeie lande wat besig is met die ontwikkeling van spesifikasies of wat reeds spesifikasies implementeer. Amerika, Duitsland, Nederland en Indië het spesifikasies terwyl die Brittanje en Frankryk besig is om te werk aan hulle onderskeie spesifikasies. Verder is daar begin met 'n paar hoofstukke vir 'n Europese standaard. Die spesifikasies wat beskikbaar is, word vervolgens in hierdie verslag bespreek. Die vereistes wat deur hierdie spesifikasies gestel word, sal later in diepte ondersoek word.

Die Amerikaanse standaard is reeds in 1948 deur die **American Water Works Assosiation** (AWWA) goedgekeur as 'n tentatiewe spesifikasie en is in 1949 gepubliseer. Die doel van die spesifikasie was om grondslag te gee aan die keuse, spesifikasie en hantering van dreineringsgruis en filtermedia vir meganiese of snelsandfilters. Hierdie spesifikasie is opgestel op grond van ondervinding wat met verloop van tyd oor die onderwerp opgedoen is (AWWA, 1949). 'n Hersiening hiervan is in 1989 deur AWWA goedgekeur en is in dieselfde jaar ook deur die Amerikaanse Nasionale Standaarde Instituut goedgekeur. Hierdie spesifikasie staan bekend as **ANSI/AWWA B100-89** (AWWA, 1989). Die Amerikaanse spesifikasie bespreek die volgende media eienskappe: die effektiewe media grootte, die uniformiteitskoëffisiënt, digtheid, hardheid, suuroplosbaarheid, en die hoeveelheid stof teenwoordig in die media. Alhoewel die vorm van *filtergruis* in fyn besonderhede bespreek word, word hierdie aspek van die *filtermedia* nie in hierdie spesifikasie aangeraak nie.

Duitsland (**Deutsche Institut für Normung**) het in Junie 1977 die **DIN 19623**-standaard gepubliseer. 'n Vertaling in Engels is in die daaropvolgende jaar gepubliseer. Die titel daarvan was "Filter Sands and Filter Gravels for Water Purification Filters - Technical Conditions of Delivery" en het net soos die Amerikaanse standaard gekonsentreer op die eienskappe waaraan sand moet voldoen en hoe daar vir hierdie eienskappe getoets moet word. Die afleweringsprosedures word ook hierin uiteengesit (DIN, 1978). Die DIN-spesifikasie stel vereistes vir vorm, sifanalises,

digtheid, silika inhoud van sand, en die skoonheidsgraad van die media. Die spesifikasie sluit nie suur- of basisoplosbaarheid in nie.

Die **Keuringsinstituut voor Waterleidingsartikelen (KIWA)** is 'n Nederlandse instituut wat onder andere navorsing in die waterveld doen. Hierdie instituut het in 1973 'n verslag "Eigenschappen en Karakterisering van Filtermateriaal" gepubliseer. In hierdie publikasie is daar veral gekonsentreer op die verskeie maniere waarop die korrelgrootte verdeling voorgestel word deur verskeie navorsers (De Lathouder, 1973). Die eise wat deur hierdie spesifikasie gestel word sluit in: sandtipe en korrelvorm, kwaliteit en verwerking van die sand, suiwerheid en chemiese bestendigheid van die media. Die spesifikasie spesifiseer ook die vereiste gloeiverlies van die sand. Die gloeiverlies is die verlies aan massa wat 'n sandmonster toon nadat dit aan baie hoë temperature blootgestel is. Dit wil hieruit voorkom of die Nederlandse mediabronne baie organiese materiaal bevat.

'n **Indiese standaard** "Requirements for Filtration Equipment (Part 1) Filtration Media - Sand and Gravel IS:8419 (Part 1) 1977" is reeds in 1977 goedgekeur deur die Indiese Standaarde Instituut. Hierdie spesifikasie hanteer egter net silikasand en gruis en nie die ander media tipes wat soms in filterbeddens gebruik word nie. Hierdie spesifikasie is ontwikkel deur ander spesifikasies wat op daardie stadium internasionaal beskikbaar was te koördineer met die algemene praktyk soos dit op daardie stadium in Indië ervaar was. Hierdie spesifikasie is redelik volledig en stel vereistes vir meeste van die media-eienskappe. Hierdie eienskappe sluit in digtheid, 'n losse vereiste vir vorm, silika inhoud, skoonheidsgraad en gloeiverlies.

In 1975 het **Prof. K.J. Ives** van University College London 'n artikel getiteld "Specifications for granular filter media" gepubliseer. Op daardie stadium was daar nie 'n Britse spesifikasie beskikbaar nie en was daar 'n behoefte aan 'n stel objektiewe maatstawwe en toetsprosedures om media te evalueer. Hy het gevolglik die artikel gepubliseer wat gewenste eienskappe gedefinieer het, het ook 'n stel toetse daargestel om hierdie eienskappe mee te meet en het hy dan ook gewenste waardes aan hierdie

eienskappe gekoppel Ives, 1975). In 1990 het Ives 'n soortgelyke artikel gepubliseer. Sy doel was egter dié keer om toetsprosedures daar te stel wat internasionaal aanvaarbaar sou wees. Hierdie artikel is baseer op sy vorige artikel. Die inligting daarin weergegee was grotendeels dieselfde (Ives, 1990). Die volgende eienskappe word behandel: sifanalises, digtheid, terminaalvalsnelheid, korrelvorm, porositeit, suuroplosbaarheid, korrelhardheid, weerstand teen afslyting en filtreerbaarheid van die media.

Degrémont is 'n kommersiële Franse firma wat plaaslik deur die maatskappy Aquazur verteenwoordig word. Aquazur gebruik 'n handleiding geskryf deur **Degrémont** vir die ontwerp van hulle suiweringsstelsels en hierdie handleiding omvat dan ook 'n redelik volledige reeks spesifikasies en toetsprosedures vir filtermedia. Degrémont spesifiseer onder andere korrelgrootte, uniformiteitskoëffisiënte, brosheid, suuroplosbaarheid en 'n verskeidenheid van digtheidstoetse (Degrémont, 1979).

2.1.2 Plaaslike mediaspesifikasies

Sommige instansies in Suid-Afrika het spesifikasies vir media of soortgelyke materiaal. In hierdie ondersoek is die spesifikasies van die SABS, Rand Water en Munisipaliteit Kaapstad onder oë geneem.

Die **Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde (SABS)** het enkele publikasies die lig laat sien maar dit is ontoereikend vir die toets en spesifikasie van filtermedia omdat hierdie spesifikasies in die meerderheid van gevalle opgestel is vir toepassing op sand vir gebruike anders as vir diepbedfiltrasie. Die waarde van hierdie spesifikasies lê egter in die toetsprosedures wat voorgestel word vir die toets van sekere eienskappe van sand. Die waardes wat voorgestel word as wenslike resultate moet in heroorweging geneem word wanneer hierdie toetse op filtermedia toegepas word. Ander mediatipes word nie in hierdie spesifikasies bespreek nie. Die spesifikasies wat van belang is, is:

- CKS 85-1972 Spesifikasie vir Aggregaat vir Snelvalfilters. Hierdie spesifikasie is een van die mees bruikbare spesifikasies omdat dit toegespits is op die

filterbedryf. Die spesifikasie dek vergruisde klip van gelyke grootte vir snelvalfilters. In hierdie spesifikasie word daar nie verwys na filtersand nie.

- SABS 1090-1976 Standaardspesifikasie vir Sand vir Pleister en Dagha.
- SABS 1083-1976 Standaardspesifikasie vir Aggregate uit Natuurlike Bronne. Soos CKS 85-1972 behandel die spesifikasie aggregate maar in hierdie spesifikasie is dit vir beton- en padbou doeleindes.
- CKS 305-1971 Spesifikasie vir Gietsand.

Moontlik bruikbare toetse in hierdie spesifikasies is sifontledings, gaafheid (skilferagtigheid) en die skoonheidsgraad van media. Hierdie toetse word weergegee in SABS 647. Ander toetse is vir gradering en fynheidsmodulus (SABS-metode 829) en die toets vir organiese onsuiverhede (SABS-metode 832). In ander spesifikasies word vereis dat die media inert moet wees en geen skadelike stowwe aan die filterwater moet oordra nie (DIN 19623). Die SABS-metode 834 beskryf so 'n toets maar hierdie toets is gemik op sand wat gebruik word vir pleisterwerk.

Rand Water is die grootste verskaffer van gesuiwerde water vir huishoudelike en industriële gebruik in Suid-Afrika, wat uitgebreide mediatoetse op loodsskaal gedoen het. Rand Water stel hul mediavereistes in tenderdokumente aan die hand van die volgende eienskappe: korrelgrootte, uniformiteitskoëffisiënt, spesifikasies vir die skoonheidsgraad, vorm en suuroplosbaarheid (Rand Water, 1993).

Kaapstad Munisipaliteit het ook hul eie mediavereistes wat op loodsskaaltoetse baseer is. Die algemene vereiste wat gestel word behels effektiewe grootte, uniformiteitskoëffisiënt, vorm en skoonheidsgraad (Morrison, 1993).

2.2 Karakterisering van media

Uit die spesifikasies wat bestudeer is, is dit duidelik dat sekere algemene vereistes aan filtermedia gestel word. Hierdie vereistes word vervolgens in groter detail behandel en sluit die volgende eienskappe in: korrelgrootte en korrelgrootte verspreiding, digtheid,

korrelvorm, sekere fisiese en chemiese eienskappe ens. Die aanbieding sal deurgaans soos volg wees:

- Omskrywing van die eienskap.
- Watter effek het dit op filtrasie?
- Hoe word dit gemeet?
- Wat is 'n realistiese spesifikasie?

2.2.1 Media korrelgrootte

Die korrelgrootte van media affekteer filtrasie op verskeie maniere. Eksperimente gedoen deur Conley en Pitman (1960) het getoon dat fyner sand 'n beter uitvloeikwaliteit gelever het as growwer sand. Daar is egter gevind dat deur meer koagulant, in die geval aluminiumsulfaat, by die filterwater te voeg, die verskil in die uitvloeikwaliteit opgehef kon word. In die algemeen sou growwer korrels lei tot 'n laer energieverlies maar wanneer gepoog word om die uitvloeiwatervkwaliteit vergelykbaar te maak met fyner korrels, deur die gebruik van meer koagulant, kan die energieverlies toeneem tot 'n vlak soortgelyk aan dié van fyner korrels (Conley en Pitman, 1960). 'n Hoër koagulantdosis lei noodwendig tot hoër bedryfskoste.

Navorsing het getoon dat growwer korrels langer filterlopie toelaat, wat hoofsaaklik toegeskryf word aan die feit dat growwer korrels die partikels toelaat om dieper die bed in te dring (Proc. ASCE, 1936). Baylis (1937) het selfs 'n verband (vergelyking 2.1)

$$H = K \cdot d^{2.15} \dots \dots \dots (2.1)$$

gepubliseer waar H die lengte van die filterlopie in ure is, d die effektiewe korrelgrootte in mm en K 'n filtrasie konstante.

Kleiner korrels word minder effektief skoon gewas as groter korrels (Armstrong, 1931). Die rede hiervoor is drievoudig. Eerstens kan vlok kleiner korrels omvou en dit kan dan moeilik wees om die vlok weer los te was as gevolg van die onegalige oppervlak

van die korrel. Tweedens vind daar min botsing tussen korrels plaas tydens fluïdisasie en met die botsings wat wel plaasvind is die massa van korrels so klein omdat die inpak skerp afneem met korrelgrootte en dus min invloed het. Die derde rede is dat die sleurkragte nodig om korrels te fluïdiseer dramaties afneem met korrelgrootte en dus ervaar die vlok minder sleur op kleiner korrels. Die nadeel van groter korrels in hierdie opsig is dat die filter noodwendig sal moet ontwerp word vir groter terugwastempo's wat kan lei tot groter kapitaal uitgawes (AWWA, 1949).

Alle mediakorrels in 'n monster het nie identiese groottes nie. Dit is dus moeilik om 'n enkele grootte aan 'n mediamonster toe te ken. Verder is korrelvorme nie soortgelyk is aan enige wiskundig hanteerbare geometriese figure nie. Korrels kan rond, plat, skerfagtig of enige ander willekeurige vorm wees. Die gevolg is dat daar verskeie maniere is om na korrelgrootte te verwys.

Die wyse waarop vandag meestal na korrelgroottes verwys word, is deur Hazen aanbeveel en behels die sif van sand deur 'n stel siwwe met opeenvolgend fyner maasopeninge. Die grootte van die mediakorrels word dan gerapporteer as die grootte van die sif wat dit net deurlaat en die grootte van die sif wat dit net terughou, byvoorbeeld 'n 0,6-0,7 mm sand word deur 'n 0,6 mm sif teruggehou maar dring deur 'n 0,7 mm sif (De Lathouder, 1973). Hierdie definisie hou nou verband met die bepaling wat die totale verspreiding van korrelgroottes in 'n mediamonster en sal later onder punt 2.2.2 verder bespreek word.

'n Tweede metode wat verband hou met die bogenoemde metode is die geometriese diameter (Ives, 1990). Hierdie is die gemiddeld van die deurlaat- en terughousifgroottes en word bereken deur vergelyking 2.2.

$$d_g = \sqrt{d^+ * d^-} \dots \dots \dots (2.2)$$

In hierdie vergelyking is d_g die geometriese diameter en d^+ en d^- is onderskeidelik die deurlaatsifgrootte en terughousifgrootte.

Die ekwivalente diameter van 'n sandkorrel is die diameter van 'n sfeer met dieselfde volume as die gegewe mediakorrel en word in hierdie verslag aangedui met d_{eq} (Cleasby en Fan, 1981). Hierdie waarde word bereken deur die massa van 'n bekende aantal korrels (± 100) te meet. Indien die digtheid van die media bekend is kan die ekwivalente sferiese diameter daaruit bereken word. Dharmarajah (1989) verkies hierdie diameter bo d_g omdat die laaste sif waardeur die mediakorrels beweeg slegs 'n aanduiding is van die intermediêre afmeting van die korrel se drie loodregte hoofasse (Heywood, 1947). Volgens Cleasby en Fan (1981) is d_{90} 'n goeie benadering vir d_{eq} van 'n mediamonster indien dit nie beskikbaar is nie. Die d_{90} is 'n waarde wat uit 'n sifanalise bepaal word en die begrip sal later in die verslag verduidelik word.

Die hidroulies ekwivalente diameter (d_h) word bepaal deur die hidrouliese gedrag van die media te ondersoek. Per definisie is die hidrouliese ekwivalente diameter van 'n sandkorrel die diameter van 'n sfeer met dieselfde terminaalvalsnelheid as die mediakorrel met die voorbehoud dat beide dieselfde digtheid het (Sholji, 1987). Die hidrouliese ekwivalente diameter word bereken deur vir d_h op te los uit vergelyking 2.3.

$$v_t = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho)d_h}{3C_D\rho}} \dots \dots \dots (2.3)$$

In hierdie geval is v_t die terminaal valsnelheid, g gravitasie versnelling, ρ_s en ρ onderskeidelik die digtheid van die media en die water en C_D 'n sleurkoëffisiënt vir sferiese korrels wat bereken kan word met vergelyking 2.4.

$$C_D = \frac{24}{Re_t} + \frac{3}{\sqrt{Re_t}} + 0,34 \dots \dots \dots (2.4)$$

In hierdie vergelyking is Re_t die Reynolds-waarde vir 'n vallende korrel en word dit gedefinieer deur vergelyking 2.5.

$$Re_t = \frac{\rho v_t d_h}{\mu} \dots \dots \dots (2.5)$$

waar μ die dinamiese viskositeit van die water is. Vergelyking 2.5 bevat ook die term d_h en vir die oplossing van hierdie stel vergelykings is 'n iteratiewe proses dus nodig. Hierdie Reynoldswaarde lê gewoonlik tussen 10 en 100 wat ver bo laminêre toestande ($Re < 5$) is. Om hierdie rede word die wel bekende Stokes-wet nie gebruik nie (Ives, 1990).

Die voordeel van d_h is dat die spesifieke diameters vir elke korrel verkry kan word wat ondersoek word. Om 'n betroubare waarde vir 'n mediamonster te kry moet daar egter heelwat korrels getoets word. Ives (1990) stel voor dat 'n minimum van 20 korrels getoets word.

'n Alternatiewe beraming van d_h kan gedoen word deur gebruik te maak van Allen se vergelyking (vergelyking 2.6) vir oorgangsvloei (Gunasingham *et al.*, 1979). Die veranderlikes het dieselfde betekenis as voorheen.

$$d_h = \frac{4 v_t}{\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{\frac{2}{3}}} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{3}} + 0,4 \left(\frac{9 \mu^2}{g(\rho_s - \rho) \rho_s} \right)^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Ander metodes, byvoorbeeld mikroskopiese metodes waar korrels met okulêre mikrometers gemeet word (Heywood, 1947), is ook al voorgestel maar hierdie metodes word nie algemeen in die filterbedryf gebruik nie.

Korrelgrootte word gewoonlik gespesifiseer aan die hand van 'n verspreidingskromme en dit word vervolgens bespreek. Die korrelgroottes d_g , d_{eq} en d_h kom nooit in spesifikasies voor nie en word slegs gebruik vir die ontleding van media se hidrouliese gedrag.

2.2.2 Gradering

Media het in die oorgrote meerderheid van gevalle 'n natuurlike oorsprong. Die veranderende omstandighede wat dus bestaan wanneer media korrels vorm en verskillende geologiese prosesse wat hierdie media moet deurgaen voor dit ontgin word, veroorsaak dus dat daar 'n verskeidenheid van korrel eienskappe sal wees waarmee rekening gehou moet word. Dit geld veral vir die korrelgrootte en korrelgrootte verspreiding van 'n mediamonster.

Hierdie verspreiding van korrelgroottes veroorsaak hoofsaaklik dat die media in 'n bed stratifiseer. Dit word algemeen aanvaar dat die hidrouliese gradering na terugwas perfek is en hierdie benadering word gereeld gebruik in die analyses van filterbeddens. Dit is egter slegs gedeeltelik waar omdat die gradering 'n funksie is van 'n verskeidenheid van ander faktore (Proc. ASCE, 1936). Die belangrikste van hierdie faktore is die tempo waarteen die terugwasklep gesluit word. Wanneer die bed teruggewas word teen besonder hoë tempo's is die bed gewoonlik so goed vermeng dat wanneer die klep vinnig gesluit word, die growwer korrels van die fyner korrels saam afsleep. Wanneer die klep egter stadig toegemaak word sal die groter korrels uitsak terwyl die kleiner korrels steeds in suspensie bly. Dit sal veroorsaak dat hidrouliese gradering beter bewerkstellig word. Die grootte van die korrel het ook 'n invloed op die gradering (Proc. ASCE, 1936). Daar is gevind dat kleiner korrels beter hidroulies gradeer as growwer korrels.

Om die beste penetrasie van vlok in 'n filterbed te verkry moet die gradering in 'n filterbed ideaal van bo na onder in die bed van grof na fyn wees. As gevolg van die natuurlike hidrouliese gradering wat plaasvind is dit egter nie moontlik wanneer net een mediatipe gebruik word nie. Die hidrouliese gradering bevorder verstopping van die boonste deel van die bed terwyl die onderste deel soms onbenut lê. Dit is dus nodig om die verspreiding van korrelgroottes in 'n besending media so laag moontlik te hou. Daar moet egter 'n balans gevind word tussen mediakoste en 'n klein korrelgrootteverspreiding.

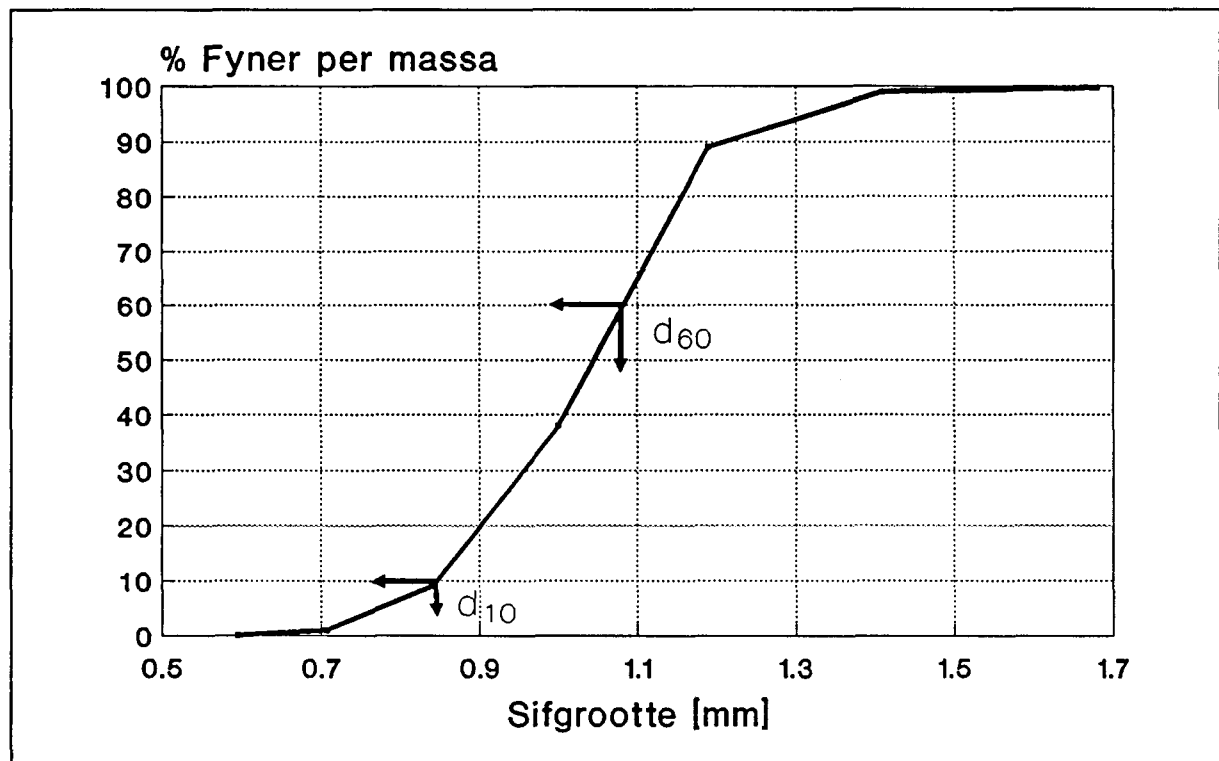
Die variasie in korrelgrootte word algemeen gemeet met die Hazen sifmetode waar 'n verteenwoordigende monster deur 'n stel gekalibreerde siwwe gesif word. Wanneer die persentasie media deurgelaat teenoor sifgroottes geplot word op 'n semi-logassestelsel word 'n benaderde reguit lyn verkry. 'n Voorbeeld van so 'n sifanalise word in figuur 2.1 weergegee. Die lyn word nou vasgepen met twee konstantes wat uit die grafiek onttrek word (Fair *et al.*, 1968). Die eerste is die effektiewe grootte of d_{10} , in millimeter gemeet, en die tweede is 'n dimensilose uniformiteitskoëffisiënt (UC). Hierdie koëffisiënt word in vergelyking 2.7 gedefinieer en gee 'n aanduiding van die korrelgrootteverspreiding in 'n mediamonster. 'n UC van 1 impliseer dat die monster uit slegs een korrelgrootte bestaan.

$$UC = \frac{d_{60}}{d_{10}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Die diameter van die media korrel met 10% van die monster (per massa) kleiner as hierdie diameter word gedefinieer as d_{10} . Die 60% maatstaf geld vir d_{60} . Hazen het oorspronklik gevind dat d_{10} as gemiddelde diameter gebruik kan word in hidrouliese berekeninge as 'n verteenwoordigende korrel diameter. Dit is eers later vasgestel dat d_{10} , volgens massa bepaal, benaderd gelyk is aan die mediaan van al die korrelgroottes in die bed.

Alhoewel die gebruik van die effektiewe diameter en die uniformiteitskoëffisiënt aan 'n verskaffer 'n goeie idee gee van wat verlang word is dit moeilik om daardie presiese korrelgrootte verspreiding te voorsien. Om hierdie rede word 'n verskeidenheid van ander spesifikasietodes gebruik om die verskaffer meer speling te gee.

Hierdie ander metodes kan saam of afsonderlik van Hazen se sifmetode gebruik word (De Lathouder, 1973). Hiervan is die mees effektiewe metode moontlik die begrensingskromme (figuur 2.2). Die vereiste korrelgrootte verspreiding word begrens

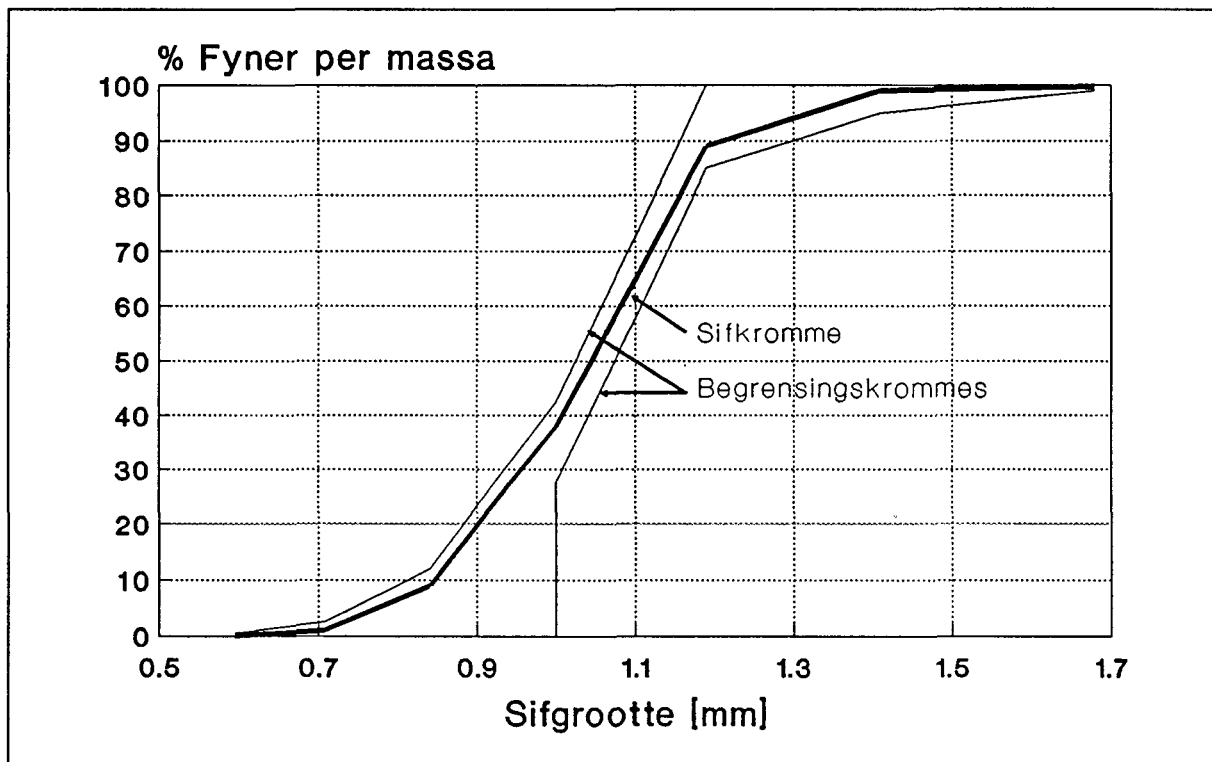


Figuur 2.1 Tipiese sifontleding (De Lathouder, 1973).

deur 'n minimum toelaatbare en 'n maksimum toelaatbare kromme. Op figuur 2.2 word 'n toleransie van byvoorbeeld 5% op korrelgrootte in die middelste deel van die kromme toegelaat, wat onder meeste omstandighede genoegsaam is (De Lathouder, 1973).

'n Ander metode wat algemeen gebruik word behels die spesifikasie van die boonste en onderste sifgroottes wat die mediamonster begrens, met dien verstande dat 'n klein persentasie bo en onder hierdie maatstawwe toegelaat sal word.

Die prosedures wat gevolg word om die media te sif verskil ook van spesifikasie tot spesifikasie en daar word veral klem gelê op die siwwe wat gebruik moet word. Die akkuraatheid van 'n sifanalise word beïnvloed deur die toleransies in die weef van die sifmateriaal en deur die onreëlmatighede in die korrelvorm (Heywood, 1947). Die afmetings en toleransies van siwwe word tans gereguleer deur streng spesifikasies en in Suid-Afrika word SABS 197-1971 gebruik.



Figuur 2.2 Voorbeeld van 'n begrenskingskromme (De Lathouder, 1973).

Die metode van sif het ook 'n dramatiese effek op die finale resultaat. Die sifproses is 'n statistiese proses en berus op die waarskynlikheid of 'n korrel deur 'n sif sal val of nie, en dus is daar geen definitiewe eindpunt aan die sifproses nie. Die eindpunt moet arbitrêr gekies word, deur of 'n vasgestelde sifyd of tot korrels deur die sif beweeg teen 'n vasgestelde tempo (Heywood, 1947). Spesifikasies, soortgelyk aan die Suid-Afrikaanse SABS Standaardmetode 829, is wêreldwyd hiervoor ingestel. Hierdie spesifikasies verskil egter steeds van land tot land.

In beginsel behels al die sifprosedures dieselfde werkwyse en is dit nie nodig om elkeen van hulle afsonderlik te bespreek nie. Al die metodes neem 'n vasgestelde gewig oondgedroogte monster media wat deur 'n bepaalde versameling siwwe gevoer word. Die resultaat word gewoonlik aangebied op 'n grafiek van persentasie media terug gehou vs. sifgrootte. Sommige spesifikasies soos SABS 829 vereis die bepaling van 'n fynheidsmodulus. Met hierdie toets word die hoeveelheid media in 'n monster

fyner as $75 \mu\text{m}$ bepaal en dit gee dan 'n aanduiding van die skoonheidsgraad van die media.

Indien 'n verspreidingskromme vir media nie beskikbaar is nie maar die effektiewe grootte en UC wel bekend is, kan die ander groottes bereken word indien aanvaar word dat die kromme deur 'n reguit lyn op 'n log-waarskynlikheidsgrafiek voorgestel word. So byvoorbeeld kan d_{90} bereken word met vergelyking 2.8.

$$d_{90} = d_{10}(UC^{(1,67 \log UC)}) \dots \dots \dots (2.8)$$

Hierdie verband is handig omdat d_{90} deur Cleasby aanbeveel word vir gebruik tydens die berekening van die vereiste terugwastempo van 'n filterbed (AWWA, 1990)

Die spesifikasie van korrelgrootte en korrelgrootteverspreiding is nie 'n eenvoudig nie. Die keuse van korrelgrootte is, soos reeds bespreek, 'n funksie van 'n verskeidenheid van faktore wat merkbaar van plek tot plek verskil. Hierdie faktore is onder andere die water wat filtreer word, die behandeling van die water, die vloeitempo, die verlangde uitvloeikwaliteit, die lengte van die filterlopie en die terugwasprosedure (Ives, 1990). Om hierdie rede word korrelgrootte nie altyd in spesifikasies weergegee nie. Dit word wel in meeste tenderdokumente weergegee omdat die ideale korrelgrootte vooraf bepaal is om die beste uitvloeikwaliteit te gee of om in te pas by 'n bestaande filterbed ontwerp. Die vereistes wat deur die verskillende spesifikasies gestel word, word in Tabel 2.1 weergegee.

2.2.3 Media korrelvorm

Die vorm van die media in 'n bed beïnvloed die terugwas vereistes, die bedporositeit, die energieverlies, die filtrasie effektiwiteit en die sifproses (AWWA, 1990).

Navorsers het getoon dat meer hoekige korrels lei tot meer effektiewe filtrasie (Ives, 1975). Die oorspronklike redenasie was dat korrels wat meer hoekig is 'n groter korreloppervlak per volume media het, en daarom meer neerslag kon akkommodeer.

Dit is egter nie so nie (Ives, 1975). Die beskikbare korrel oppervlak in bed bly benaderd konstant omdat hoekiger korrels minder dig pak as ronde korrels en daar dus minder korrels per eenheid bedvolume is (Ives, 1975).

Tabel 2.1

Vergelykende mediaspesifikasies vir korrelgrootte en gradering.

Media spesifikasie	Vereiste	Toetsproses
ANSI/AWWA B100-89	d_{10} en UC of grootte interval gespesifiseer deur aankoper	Gradering volgens ASTM C136 Siwwe volgens ASTM E11
DIN 19623	Verwys Tabel 2.2 $UC < 1,5$	Toets volgens DIN 4188 Part 1 en DIN 66100
KIWA 1973	d_{10} deur aankoper $UC < 1,25$ (verkieslik) $UC < 1,35$ (aanvaarbaar)	Siwwe volgens ASTM E11 1970
IS:8419 (Part 1) 1977	Gespesifiseer deur aankoper	Volgens IS:2720 (Part IV)-1975
Ives 1990	Gespesifiseer deur aankoper	Siwwe volgens ISO-2395
Degrémont	d_{10} deur aankoper $UC < 1,60$ (verkieslik) $UC < 1,80$ (aanvaarbaar)	Sif volgens NFX 11.507
SABS	-	SABS Standaardmetode 829 Siwwe volgens SABS 197-1971
Rand Water (Rand Water, 1993)	$0,65\text{mm} < d_{10} < 0,75\text{mm}$ $UC < 1,40$ $d_3 > 0,50\text{mm}$; $d_{95} < 1,00\text{mm}$	SABS Standaardmetode 829 Siwwe volgens SABS 197-1971
Munisipaliteit Kaapstad (Morrison, 1993)	$0,67\text{mm} < d_{10} < 0,79\text{mm}$ $UC < 1,37$	SABS Standaardmetode 829 Siwwe volgens SABS 197-1971

Die voordeel wat die hoekiger korrels aan die bed verleen lê in die meer kronkelende pad wat die water deur die korrelmatriks moet volg. Dit gee geleentheid aan die vervoermeganismes om meer effektief op te tree (Ives, 1975). Hoekiger korrels kan egter lei tot hoër energieverlies. Hoekiger korrels kan op 'n anisotropiese manier saampak en dus veroorsaak dat die permeabiliteit in die hoof vloei rigting verlaag word sodat verstopping van die bed vinniger plaasvind en die energieverlies deur die bed vinniger styg (Ives, 1975). Daar is egter opinies wat hiervan verskil. Toetse gedoen deur Kaapstad Munisipaliteit toon dat vir ronder korrels die uitvloeikwaliteit nie net swakker is nie, maar dat energieverlies ook hoër is as vir meer skerfagtige korrels (Morrison, 1993). Degrémont (1979) stel dat die energie verlies hoër is vir ronde

korrels as vir skerfagtige korrels omdat die ronde korrels digter saampak.

Tabel 2.2
DIN 19623 Spesifikasies vir filtermedia korrelgroottes

Filter media korrelgrootte mm	% Toegelaat kleiner as	% Toegelaat groter as
0,40 tot 0,63 0,40 tot 0,80 0,63 tot 0,80 0,63 tot 1,00 0,70 tot 1,25	5 %	5 %
1,00 tot 1,25 1,00 tot 1,60 1,00 tot 2,00 1,25 tot 1,80 1,60 tot 2,00 1,60 tot 2,50	10 %	10 %

Soos met die grootte van die korrels is die bepaling van die vorm daarvan nie 'n eenvoudige saak nie. Dit word verder bemoeilik deurdat bykans alle navorsers die vorm van korrels beskryf met 'n dimensilose parameter genaamd sferisiteit alhoewel die definisies onderling verskil. Die beginsel is egter in meeste gevalle eenders omdat dit die korrelvorm vergelyk met die van 'n perfekte sfeer. Ander dissiplines, soos geologie, het ander definisies vir sferisiteit en daar moet dus te alle tye sorg gedra word dat die definisie bekend is.

Dharmarajah (1986) het 'n lys van 15 diameters saamgestel wat reeds in die literatuur gebruik is om die vorm van nie-sferiese partikels te karakteriseer. Net die drie tipes sferisiteite wat verder gebruik gaan word in hierdie verslag, word behandel.

Volgens Dharmarajah (1986) was Waddell die eerste om voor te stel dat sferisiteit uitgedruk kan word deur 'n verhouding van partikels van gelyke volume (vergelyking 2.9):

$$\psi = \frac{\text{oppervlakarea van perfekte sfeer}}{\text{oppervlakarea van mediakorrel}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Hierdie verhouding word as fundamenteel die mees korrekte definisie van sferisiteit

aanvaar (Dharmarajah en Cleasby, 1989) en sal verder in hierdie verslag na verwys word as die oppervlakverhouding sferisiteit van 'n mediakorrel.

Die sogenaamde hidrouliese sferisiteite, daarenteen, beskou sferisiteit as die verhouding tussen die hidrouliese ekwivalente diameter (d_h) van die korrel en 'n tweede diameter (d) (vergelyking 2.10).

$$\psi_h = \frac{d_h}{d} \dots \dots \dots (2.10)$$

Ives (1990) en Sholji (1987) gebruik die geometriese diameter (d_g) en Gunasingham *et al.* (1979) die ekwivalente diameter (d_{eq}) vir die tweede diameter.

Die inherente verskil tussen die oppervlakverhouding sferisiteit en die hidrouliese sferisiteit lê in die feit dat die hidrouliese sferisiteit 'n funksie van Reynoldsgetal, d.w.s. korrelgrootte, is. Dit beteken dat die sferisiteit bereken met die hidrouliese sferisiteitsdefinisies vir 'n gegewe korrelvorm sal verskil van korrelgrootte tot korrelgrootte, terwyl dit konstant sal bly vir die oppervlakverhouding sferisiteit (Dharmarajah en Cleasby, 1989).

Al drie hierdie definisies word hier behandel omdat die meetmetodes vir die oppervlakverhouding sferisiteit aansienlik moeiliker en omslagtiger is as die vir die ander definisies. Modelle om die gedrag van mediabeddens te voorspel is vir beide hierdie definisies ontwikkel.

Pettyjohn en Christiansen (1948) het tot die gevolgtrekking gekom dat die oppervlakverhouding sferisiteit 'n aanvaarbare maatstaf is van die effek van partikelvorm op die weerstand wat isometriese partikels ervaar wanneer dit deur 'n vloeistof beweeg. Die partikel vorms hier ondersoek is sfer, kubiese oktahedrone, oktahedrone, kubusse en tetrahedrone. Dit kan egter nog nie gesê word van nie-isometriese partikels nie. Media korrels is nie-isometries. Een van die probleme wat bestaan met hierdie korrels is dat nie so maklik is om die oppervlakarea van so 'n

bestaan met hierdie korrels is dat nie so maklik is om die oppervlakarea van so 'n korrel te bepaal nie. Om dié rede moet indirekte metodes gebruik word om die gemiddelde sferisiteit van 'n mediamonster te bepaal (Cleasby en Fan, 1981). Cleasby en Fan het getoon hoe dit bereken kan word deur gebruik te maak van die Ergunvergelyking vir energieverlies deur 'n filterbed. Die oorsprong van hierdie vergelyking sal later in meer detail bespreek word.

$$\frac{h}{l} = 150 \frac{\mu}{\rho g} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right)^2 v + 1,75 \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \frac{S_v}{6} \frac{v^2}{g} \dots \dots \dots (2.11)$$

Hier is h/l die hidrouliese gradiënt deur die media bed terwyl S_v die spesifieke area of te wel die oppervlak per korrelvolume is. S_v kan vervang word met vergelyking 2.12 vir nie-sferiese korrels. Die ander veranderlikes het die gewone betekenis.

$$S_v = \frac{6}{\psi d_{eq}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Indien die temperatuur (T [°C]) van die water bekend is kan die digtheid (ρ [kg.m⁻³]) en die viskositeit (μ [kg.m⁻¹.s⁻¹]) van die water bereken word met empiriese korrelasies soos weergegee deur vergelykings 2.13 en 2.14 (Haarhoff en Schoeller, 1988). Die ekwivalente diameter word bereken soos verduidelik in afdeling 2.2.1. Die toetsprosedure vir porositeit (ϵ) sal later bespreek word.

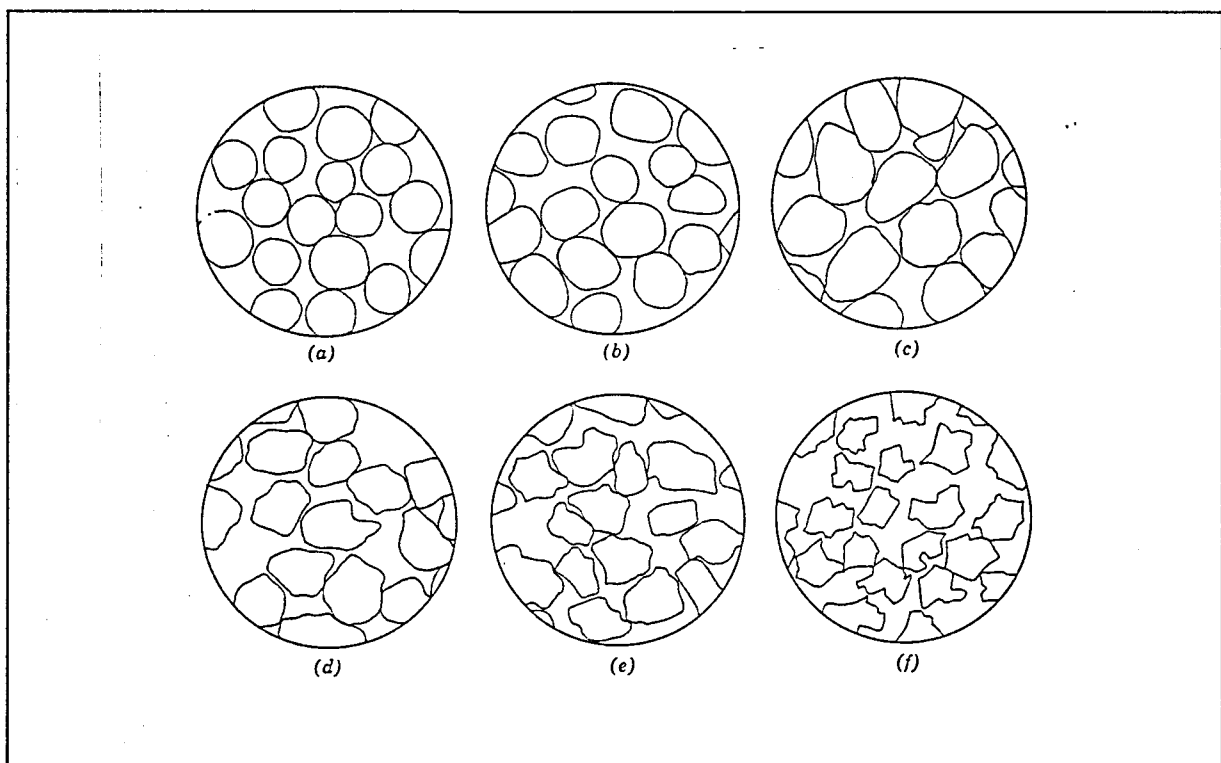
$$\rho = \frac{999,84 + 16,945 T - 0,007897 T^2 - 4,6171 \times 10^{-5} T^3}{1 + 0,0168799 T} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\mu = 0,0017868 - 5,8573 \times 10^{-5} T + 1,1951 \times 10^{-6} T^2 - 1,1146 \times 10^{-8} T^3 \dots \dots \dots (2.14)$$

Wanneer die energieverlies deur 'n filterbed dus gemeet word, en al die ander veranderlikes bekend is, kan die sferisiteit bereken word uit die Ergun-vergelyking (Cleasby en Fan, 1981). Daar moet egter sorg gedra word dat die ander veranderlikes so akkuraat moontlik bepaal word omdat die kumulatiewe fout van al hierdie veranderlikes sal verskyn in die sferisiteit wat dan effektief sal optree as 'n

porositeit so na moontlik aan die minimum fluïdisasie porositeit (ϵ_{mf}) moet wees omdat 'n effens gekompakteerde bed aanleiding gee tot onaanvaarbare waardes vir sferisiteit (Dharmarajah, 1986).

Die benaderde sferisiteit van media kan ook deur visuele inspeksie bepaal word (Fair *et al.*, 1968). Hierdie metode moet egter versigtig toegepas word omdat dit slegs geld vir korrelagtige en nie vir skilferagtige media nie. Die sferisiteit word bepaal deur die vorm van die korrels wat onder 'n mikroskoop waargeneem word, te vergelyk met standaard korrelvorme soos gepubliseer in Fair, Geyer en Okun, 1968, Fig. 27-4. Hierdie figuur word gereproduseer in Figuur 2.3. Die sferisiteitswaardes gekoppel aan hierdie korrelvorme word in Tabel 2.3 weergegee.



Figuur 2.3 Sferisiteit van granulêre materiaal.

Tabel 2.3
Sferisiteit deur visuele inspeksie

Beskrywing	Sferisiteit, ψ
(a) Sferies	1,00
(b) Gerond	0,98
(c) Verweer	0,94
(d) Skerp	0,81
(e) Hoekig	0,78
(f) Vergruis	0,70

Alhoewel die metode redelik subjektief is en ook net benaderde waardes vir sferisiteit gee, kan dit tot aanvaarbare resultate lei indien dit reg toegepas word (Morrison, 1993).

Die oppervlakverhouding sferisiteit kan laastens bereken word deur gebruik te maak van terminaalvalsnelheid (Pettyjohn en Christiansen, 1948). Onder viskeuse vloeitoestande ($Re_t < 0,05$) kan die terminaal valsnelhede van korrels bepaal word met behulp van Stokes se wet met die Stokes-wet vorm faktor as 'n funksie van sferisiteit (vergelyking 2.15).

$$v_t = K \frac{(\rho_s - \rho) d^2 g}{18\mu} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$K = 0,843 \log \frac{\psi}{0,065}$$

Vir hoogs turbulente vloe ($Re_t = 2000$ tot 200000) word die terminaal valsnelheid voorspel deur vergelyking 2.16. Hierdie vergelyking is dieselfde as wat deur Sholji (1987) gebruik word om d_n te bereken. In hierdie geval word die sleurkoëffisiënt egter uitgedruk in terme van die oppervlakverhouding sferisiteit. Die toepassingsveld van hierdie vergelyking lê volgens Pettyjohn en Christiansen (1948) ver buite die gewone terminaalvalsnelhede vir gewone media.

Vir vloeistoestande in die intermediêre sone ($Re_t = 0,5$ tot 2000) word die bepaling van sferisiteit anders benader. Gewone filtermedia lê in hierdie sone. Indien 'n

$$v_t = \sqrt{\frac{4d_{eq}(\rho_s - \rho)g}{3C_D\rho}} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$C_D = 5,31 - 4,88\psi$$

mediakorrel in 'n vloeistof met bekende digtheid en viskositeit besink, kan die sleurkoëffisiënt (C_D) en die Reynoldsgetal (Re_t) daarvoor bereken word met vergelyking 2.17 (Pettyjohn en Christiansen, 1948).

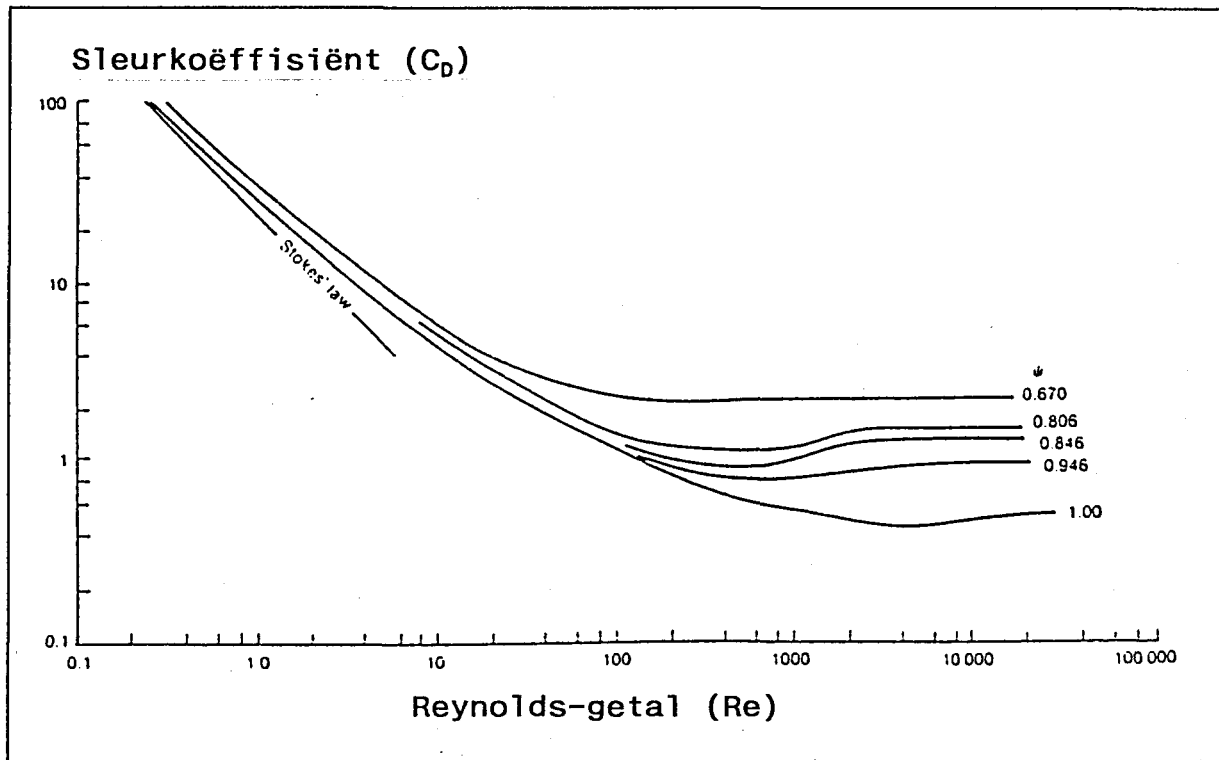
$$C_D = \frac{4d_{eq}(\rho_s - \rho)g}{3\rho v_t^2} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$Re_t = \frac{d_{eq}\rho v_t}{\mu}$$

Hierdie waardes word teenoor mekaar geplot word op figuur 2.4. Op hierdie grafiek is C_D teenoor Re_t geplot vir bekende sferisiteit en hiervolgens kan daar dus interpolasies getrek word vir die sferisiteit van die korrel wat getoets word. Hierdie toetsmetode gee weer eens net benaderde waardes vir elke individuele korrel en 'n groot aantal korrels moet getoets word om 'n betekenisvolle aanduiding te kry van die sferisiteit van 'n besending media.

Die bepaling van die hidrouliese sferisiteit van media korrels is, soos reeds genoem, redelik eenvoudig. Dit behels die bepaling van die hidrouliese ekwivalente diameter soos reeds voorheen in hierdie verslag beskryf. Hierna volg die toepassing van die gekose hidrouliese sferisiteit definisie. Om die iteratiewe proses uit te skakel kan 'n grafiese metode gebruik word (Ives, 1990).

Die dimensilose verhouding van die sleurkoëffisiënt (C_D) teenoor die Reynoldsgetal (Re) van 'n korrel met digtheid (ρ_s) met 'n terminaal valsnelheid (v_t) in 'n vloeistof met digtheid (ρ) en viskositeit (μ) word bepaal met vergelyking 2.18. Hierdie vergelyking word verkry deur C_D en Re uit vergelyking 2.17 met mekaar te deel.



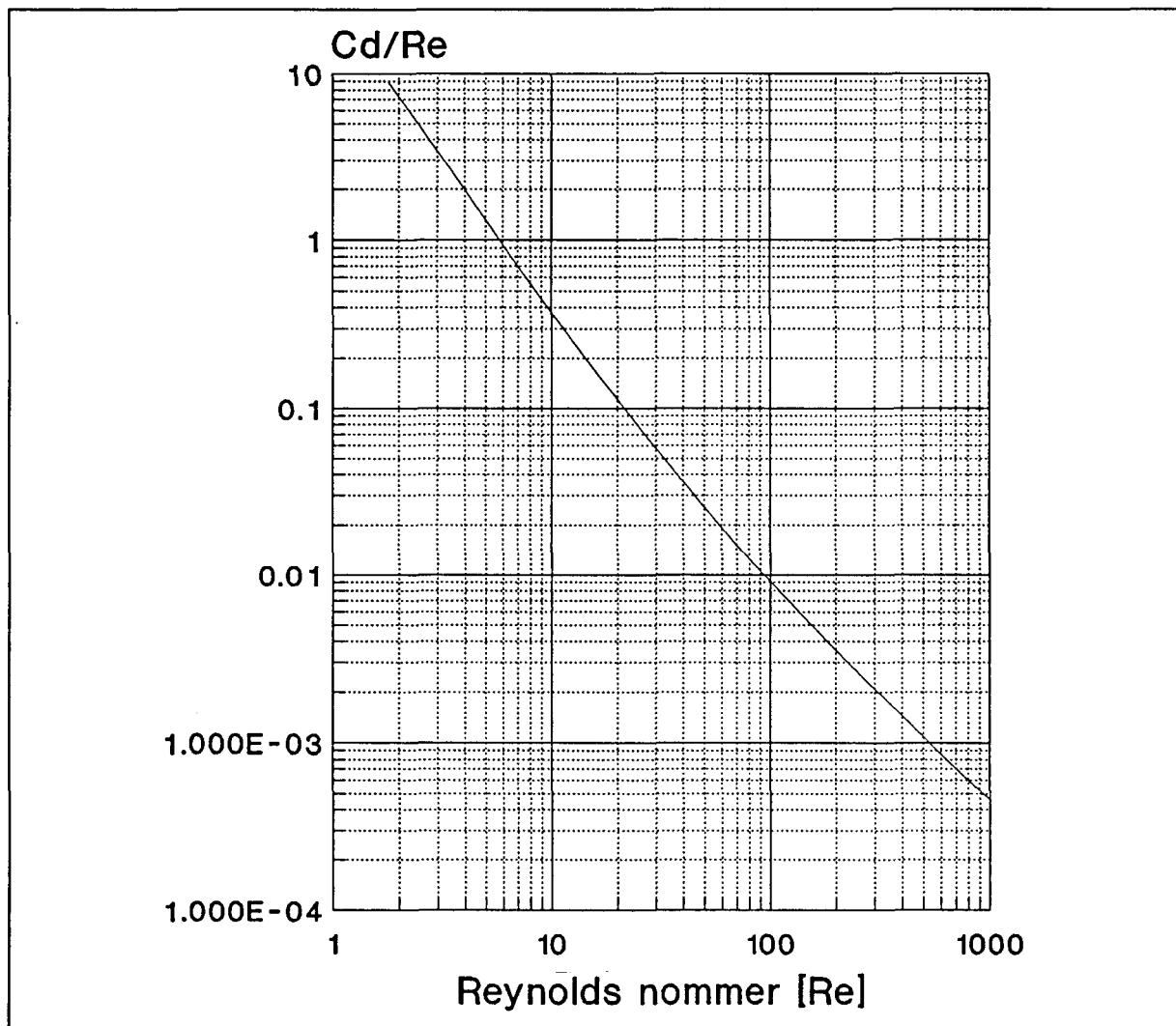
Figuur 2.4 Die verband tussen sleurkragte (C_D) en Reynoldsgetalle (Re_t) vir gegewe sferisiteit.

$$\frac{C_D}{Re_t} = \frac{4g(\rho_s - \rho)\mu}{3\rho^2 V_t^3} \dots \dots \dots (2.18)$$

Uit die Camp krommes (Figuur 2.5) kan 'n ooreenstemmende Reynolds-waarde bepaal word wat in die Reynolds-vergelyking (vergelyking 2.19) vervang kan word om die hidroulies ekwivalente diameter te bereken.

$$d_h = \frac{\mu Re_t}{\rho V_t} \dots \dots \dots (2.19)$$

Die berekende waarde vir d_h kan nou in enige van die hidrouliese sferisiteit definisies gebruik word. Om herhaalbaarheid te verseker moet ten minste twintig korrels gebruik word om 'n gemiddelde terminaal valsnelheid te bereken (Ives, 1990). Die terminaalvalsnelheid toets word gedoen oor 'n 1 m afstand in 'n kolom water met



Figuur 2.5 Die Camp-krommes

bekende temperatuur, gewoonlik 20°C. 'n Glasbuis met 'n 50 mm binne diameter, 1,5 m lank met 2 merkies 1 m van mekaar is prakties. Die eerste merk moet ongeveer 200 mm van die water oppervlak wees om 'n terminale valsnelheid te waarborg (Ives, 1990).

Dit is egter baie belangrik om te onthou dat daar geen wiskundige korrelasie tussen die oppervlakverhouding en hidrouliese sferisiteit is nie (Cleasby en Fan, 1982). Modelle wat gebruik maak van die oppervlakverhouding sferisiteit kan nie gebruik word met hidrouliese sferisiteit nie, en andersom.

Bestaande mediaspesifikasies stel nie duidelik hul vereistes vir sferisiteit nie. Dit word in Tabel 2.4 weergegee. Enige van twee redes kan hiervoor verantwoordelik wees. Eerstens kan die probleme wat bestaan in terme van die definisie en meet van korrelvorm die opstellers van spesifikasies weerhou van die daarstel van kwantitatiewe spesifikasies en tweedens is dit so dat die behandeling van water voor filtrasie 'n groter rol speel as die media korrelvorm en die korrelvorm dus 'n sekondêre rol speel indien die vereiste uitvloeikwaliteit verkry kan word met sorgvuldige chemiese behandeling.

Tabel 2.4
Vergelykende mediaspesifikasies vir korrelvorm.

Media spesifikasie	Vereiste	Toetsproses
ANSI/AWWA B100-89	Geen spesifikasie op filtermedia	-
DIN 19623	So sferies as moontlik	-
KIWA 1973	Deur aankoper gespesifiseer Nie meer as 2% langwerpig, plat of mika-agtig. Lengte $\leq 3 \times$ Dikte.	-
IS:8419 (Part 1) 1977	Voorkeur aan rond korrels. Nie meer as 2% (per massa) plat of lang korrels. Lengte $\leq 3 \times$ Dikte.	-
Ives 1990	$\psi_n \geq 0,60$	Hidrouliese sferisiteit met $\psi = d_n/d_0$
Degrémont	Geen spesifikasie	-
SABS	Geen spesifikasie	-
Rand Water (Rand Water, 1993)	Nie meer as 1% (per gewig) plat of mika-agtig.	-
Munisipaliteit Kaapstad (Morrison, 1993)	Die korrels mag nie rond of glad wees nie.	Visueel

Opsommend kan die volgende gevolgtrekkings uit Tabel 2.4 gemaak word:

- Waar gespesifiseer, is die voorkeur, met een uitsondering, ten gunste van ronde eerder as skerfagtige korrels. Die redes hiervoor word nie gegee nie (Ives, 1990).
- Prominente spesifikasies ignoreer sferisiteit, wat dat daarop dui dat dit nie van deurslaggewende belang vir suksesvolle filtrasie is nie.

- Die toetsprosesse is, met een uitsondering, moeilik om prakties en konsekwent toe te pas.

2.2.4 Porositeit

Die porositeit (ϵ) van 'n filterbed is 'n verband tussen die volume van die media korrels (V_s) in die bed en die totale volume van die bed (V_t) en dit word bereken met vergelyking 2.20. In hierdie vergelykings is m die massa van die monster terwyl ρ_s die digtheid van die monster is. Dit is belangrik om van hierdie eienskap kennis te neem omdat dit 'n invloed het op die terugwasvereistes van die bed, die energieverlies deur die bed en die kapasiteit van die bed vir swewende stowwe (AWWA, 1990).

$$\epsilon = 1 - \frac{V_s}{V_t} \dots \dots \dots (2.20)$$

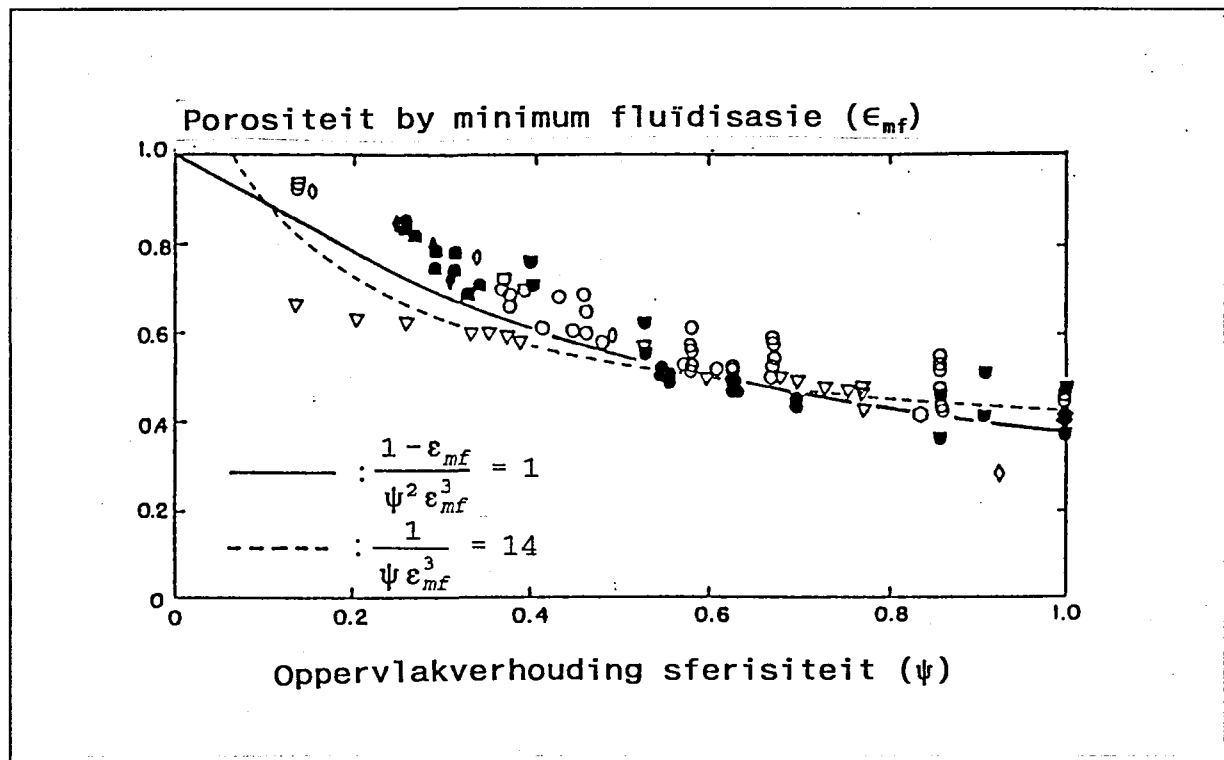
$$\epsilon = 1 - \frac{m}{\rho_s V_t}$$

Die sferisiteit beïnvloed die porositeit van die filterbed. Werk gedoen deur Wen en Yu (1966) toon dat die porositeit van 'n filterbed afneem namate die korrelvorm ronder word. Figuur 2.6 toon 'n figuur uit Wen en Yu (1966) wat verskeie navorsers se data saamvat. Hierdie grafiek toon twee krommes wat deur hierdie punte gepas is. Hierdie krommes se funksies word gegee deur vergelykings 2.21 en 2.22.

$$\frac{1 - \epsilon_{mf}}{\psi^2 \epsilon_{mf}^3} \cong 11 \dots \dots \dots (2.21)$$

$$\frac{1}{\psi \epsilon_{mf}^3} \cong 14 \dots \dots \dots (2.22)$$

In hierdie vergelykings is ψ die oppervlakverhouding sferisiteit van die korrel.



Figuur 2.6 Die verhouding tussen sferisiteit en porositeit.

Die porositeit word ook verder beïnvloed deur die mate waarin die filterbed gekompakteer is. 'n Filterbed wat toegelaat word om stadig uit te sak na dit gefluidiseer is kan 'n porositeit van tot 5% hoër hê as 'n bed wat ligte kompaksie ondergaan het (AWWA, 1990). Minder geronde korrels kan 'n groter verskil toon tussen die los en gekompakteerde toestand (AWWA, 1990).

Die losste moontlike konfigurasie van 'n filterbed word die porositeit van minimum fluïdisasie (ϵ_{mf}) genoem (Zenz en Othmer, 1960). Hierdie porositeit kan verkry word die filterbed te fluïdiseer en dan terugspoeling baie stadig te laat beëindig. Die porositeit van minimum fluïdisasie word gebruik in modelle wat die minimum fluïdisasie en beduitsetting voorspel.

Teoreties behoort die porositeit onafhanklik te wees van die korreldiameter van die media indien die pakking van die media dieselfde is. Ghosh (1958) het egter gevind

dat porositeit toeneem met 'n afname in korreldiameter. Hierdie waarneming is gemaak met beide glas ballotini en sand wat gebruik is.

In literatuur word gereeld na stortdigtheid (ρ_b) verwys. Hierdie is die digtheid van die gestorte media met inbegrip van die tussenruimtes (De Lathouder, 1973). Die porositeit kan dus in terme hiervan ook gespesifiseer word. Indien aanvaar word dat die gemiddelde digtheid van silikasand 2650 kg.m^{-3} is, beteken dit dat 'n maksimum toelaatbare stortdigtheid van 1600 kg.m^{-3} ooreenkomstig is met 'n minimum porositeit (ϵ) van benaderd 40%. Die porositeit is gewoonlik groter en lê gewoonlik nader aan 45%, in uiterste gevalle kan dit self so hoog as 55% wees. In hierdie uiterste geval is die stortdigtheid (ρ_b) van silikasand benaderd 1200 kg.m^{-3} (De Lathouder, 1973).

Die porositeit van media kan bereken word deur 'n monster met bekende massa (m) in 'n deursigtige kolom te plaas waarvan die binnedeursnit bekend is. Deur die beddiepte van die media te meet, kan die volume (V_t) van die bed bereken word. Die volume van die media in die bed kan bereken word deur die totale gewig van die monster te deel met die vooraf berekende digtheid van die media. Die volume wat dan deur tussenruimtes beslaan word is dan gelyk aan die volume van die bed minus die volume van die media (AWWA, 1990).

Cleasby en Woods (1975) stel voor dat die bed uitgeset word tot 150% van sy oorspronklike diepte voordat dit toegelaat word om stadig te besink. Ives (1990) waarsku dat konsolidasie in so 'n kolom maklik kan plaasvind wanneer aan die kolom gestamp word en daarom is dit nodig dat versigtig te werk gegaan moet word wanneer die porositeit bepaal word.

Spesifikasies is nie streng jeens porositeit nie. Dit is so dat porositeit eerder 'n funksie is van ander media eienskappe, soos bv. sferisiteit (Wen en Yu, 1966), as andersom en dus word porositeit inherent vasgepen wanneer hierdie ander spesifikasies toegepas word.

2.2.5 Digtheid

Die digtheid van 'n medium, of te wel die massa per eenheid korrelvolume, is belangrik omdat dit die terugwasvereistes van die mediabed beïnvloed. Mediakorrels met 'n hoër digtheid maar met dieselfde diameter as ander korrels vereis hoër terugwassnelhede voor fluïdisasie plaasvind. Groter sleurkragte word ook op die korrel uitgeoefen tydens terugwas en die korrel word dus skoner gewas as korrels met laer digthede (AWWA, 1990).

Die rol wat 'n verskil van digthede tussen media tipes kan speel kom veral na vore wanneer die effektiewe digtheid van die media in die water ondersoek word (Ives, 1990). Aanvaar die digtheid van water is 1000 kg.m^{-3} en dit word van twee antrasiet tipes afgetrek om die effektiewe digtheid van die media in water te bereken. Die effektiewe digthede vir die antrasiet uit Wallis (digtheid = 1400 kg.m^{-3}) en Amerika (digtheid = 1700 kg.m^{-3}) is dus 400 kg.m^{-3} en 700 kg.m^{-3} onderskeidelik. Die een monster is dus 75% digter as die ander in en dit beïnvloed die ontwerp van die terugwasstelsel.

Die verskil in digtheid tussen mediatipes maak die gebruik van multimedia filterbeddens moontlik. Soos reeds voorheen bespreek is die ideale korrelgrootte verspreiding in 'n filterbed (van bo na onder) van grof na fyn. Wanneer 'n enkele mediatipe in 'n bed gebruik word veroorsaak hidrouliese gradering dat hierdie rangskikking egter nie verkry kan word nie. Wanneer media met 'n laer digtheid saam met ander media in 'n bed geplaas word kan, met sorgvuldige korrelgrootte keuses, 'n situasie verkry word waar die groter ligter korrels 'n laer minimum fluïdisasie snelheid het as die kleiner digter korrels. Op die wyse kan die gewenste omgekeerde korrelgrootteverspreiding in 'n filterbed verkry word. Hierdie filters lewer beter uitvloeikwaliteit en langer filterlopie as konvensionele monomediafilters (Conley, 1961)

Die massa per eenheid mediavolume kan op twee maniere uitgedruk word, naamlik as die absolute digtheid met kg.m^{-3} as eenheid, of as die media se relatiewe digtheid

(SG). Die SG is dimensieloos en word bereken deur die kwosiënt te neem van die massa van die media en die massa van 'n gelyke volume water by 'n gegewe temperatuur. Die Amerikaanse standaard, ASTM C128-84, spesifiseer 23°C (AWWA, 1990). Om herhaalbaarheid te waarborg moet die voginhoud van die media eers gestabiliseer word en om hierdie rede word met 'n mediamonster gewerk wat eers in 'n oond gedroog is.

Die vereistes wat aan digtheid gekoppel word stem min of meer ooreen in die meeste spesifikasies. Hierdie spesifikasies word weergegee in Tabel 2.5. Oor die algemeen bestaan daar nog 'n leemte vir die digtheidspesifikasie vir antrasiet en ander mediatipes.

Tabel 2.5
Vergelykende mediaspesifikasies vir digtheid.

Media spesifikasie	Vereiste	Toetsproses
ANSI/AWWA B100-89	Silikasand SG > 2,50 Antrasiet SG > 1,40	Volgens ASTM C127
DIN 19623	Silikasand 2500 tot 2670 kg.m ⁻³	Volumeverplasing soos beskryf in DIN 19623
KIWA 1973	Silikasand > 2500 kg.m ⁻³ met minder as 1% < 2250 kg.m ⁻³	-
IS:8419 (Part 1) 1977	Silikasand SG > 2,5	-
Ives 1990	Geen ideale digtheid.	Maak gebruik van volume botteltjie.
Degrémont	Geen ideale digtheid.	Toetsmetodes word in handleiding weergegee.
SABS	-	SABS metode 844

Die digtheid van mediakorrels word op hoofsaaklik twee metodes gemeet. Beide hierdie metodes behels die meet van die volume water wat verplaas word deur 'n mediamonster met 'n bekende gewig. Vir die eerste van hierdie metodes word 'n digtheidsbotteltjie benodig (Ives, 1990). Die volume van die bottel word eers akkuraat bereken deur die massa water nodig om dit vol te maak, te weeg. Hierna word die massa media nodig om die botteltjie te vul geweeg en ook die massa van die media saam met water. Die verskil in massa tussen die laaste twee lesings kan gebruik word

om die volume van die mediakorrels in die bottel te bepaal. Indien die massa van die botteltjie bekend is, kan massa van die media bereken word. Met die massa van die media en die volume van die media bekend kan die digtheid daarvan bepaal word. Hierdie metode is soortgelyk aan SABS Standaard Metode 844 vir die bepaling van relatiewe digtheid. Alhoewel hierdie metode omslagtig is, is hierdie die mees akkurate metode van digtheidsbepaling.

Die tweede metode vir digtheidsbepaling is eenvoudiger. Die metode word onderskryf deur die DIN-standaard en Degrémont. Die eerste stap is om 'n gegradueerde maatsilinder te vul met 'n gegewe hoeveelheid water. DIN vereis 500 ml en Degrémont vereis 100 ml. Voeg dan 'n bekende gewig (1000 g vir DIN en 50 g vir Degrémont) oondgedroogde media by hierdie water. Nadat al die lugborrels uit die media verwyder is word die nuwe volume op die maatsilinder gelees. Die volume water verplaas deur die media kan nou bereken word en tesame met die media massa volg die digtheid van die media. Hierdie metode is aansienlik vinniger as die digtheidsbotteltjie en indien die gewig van die mediamonster wat getoets word, groot genoeg is en die resolusie op die maatsilinder fyn genoeg is, behoort die akkuraatheid van hierdie metode soortgelyk te wees aan die eersgenoemde metode.

In beide meetmetodes moet poreuse media, soos antrasiet, eers geweek word voordat die volumeverplasing van water gemeet word (AWWA, 1990). Degrémont stel voor dat die maatsilinder met media en water onder 'n gedeeltelike vakuum van 80 Kpa geplaas word vir ongeveer 15 minute wanneer gewerk word met 'n poreuse media.

Die stortdigtheid van media, d.w.s. die digtheid van die mediabed insluitend die tussenruimtes, word ook somtyds gebruik. Degrémont (1979) stel twee metodes voor. Die eerste metode behels eenvoudig die meet van die volume van media met 'n bekende gewig in 'n maatsilinder. Die tweede metode meet die relatiewe digtheid net na die media toegelaat is om te dreineer nadat dit behoorlik benat is. Hierdie toets word nie algemeen gebruik nie.

2.2.6 Duursaamheid

Dit is wenslik dat media duursaam is sodat 'n filterbed jaar na jaar dieselfde eienskappe sal behou. Die duursaamheid van media word bepaal deur hoofsaaklik twee eienskappe. Die eerste hiervan is die hardheid van die media wat 'n funksie is van die media se kristalstruktuur. Die tweede is die weerstand wat die media bied teen slytasie. Alhoewel hierdie tweede eienskap gedeeltelik afhanklik is van die kristaleienskappe van die media, is dit hoofsaaklik 'n funksie van die fisiese eienskappe van die mediakorrel. Indien 'n korrel bros is en 'n hoekige vorm met skerp punte het, kan hierdie punte afbreek tydens terugwas. Hierdie proses word beskryf as slytasie (Ives, 1990). Geeneen van hierdie twee eienskappe moet verwar word met media se weerstand teen vergruising nie.

Die hardheid van media word geyk op die Moh-hardheid skaal. Hierdie skaal van hardheid word bepaal op grond van die vermoë van verskeie minerale om ander minerale te krap. 'n Lys van minerale met gespesifiseerde hardhede word in Tabel 2.6 weergegee.

Die twee minerale wat die media oppervlak kan krap en nie kan krap nie word gebruik om die hardheid van die media te bepaal. Hierdie toets is redelik kru en word nie maklik op klein korrels toegepas nie (AWWA, 1990).

Tabel 2.6
Die Moh-hardheidskaal

Mineraal	Moh hardheid	Mineraal	Moh hardheid
Talk	1	Ortoklaas feldspar	6
Gips	2	Kwarts	7
Kalsiet	3	Topaas	8
Fluoriet	4	Korundum	9
Apatiet	5	Diamant	10

Volgens Cleasby (AWWA, 1990) is antrasiet en geaktiveerde koolstof in korrelvorm die enigste media waaroor kommer bestaan soverre dit hul hardheid aangaan. Die Moh-hardheid vir media word in die algemeen gespesifiseer as groter as 2,5 vir antrasiet en 7 vir sand (Ives, 1990). Cleasby (AWWA, 1990) rapporteer egter dat die vermindering in grootte tydens gebruik van bros materiaal nog nie 'n probleem was nie terwyl Ives (1990) die suksesvolle gebruik van sagte steenkool rapporteer.

Die skerfagtige punte van mediakorrels behoort na die eerste paar wasse van 'n bed reeds afgebreek en uitgewas te wees. Hierdie verlies behoort nie groot te wees nie. Indien die verlies aanhou, of die mediakorrel verder opbreek as gevolg van 'n swak struktuur, kan dit nadelig wees vir die bed.

Daar is reeds 'n verskeidenheid van toetsmetodes voorgestel om hierdie eienskap te meet en sommige van hierdie toetse behels die vergruising van media met staalballe (Degrémont, 1979) of soortgelyke metodes. Hierdie toetse is egter onvanpas wees omdat resultate nie vergelyk kan word met die gedrag van die media in 'n filterbed nie (Ives, 1975).

Ives (1990) stel 'n meer realistiese toets voor. Media wat in 'n kolom teruggespoel word teen minimum fluïdisasie vir 100 uur behoort aan dieselfde verweringsinvloede blootgestel te word as media wat vir drie jaar in 'n gewone filterbed gebruik word.

Hierdie toets behoort die gedrag van media in 'n bed redelik akkuraat te voorspel. Die toets sluit om twee redes die gebruik van lug as hulpwasmiddel uit. Die eerste is dat lug nie oral gebruik of op dieselfde manier gebruik word nie en tweedens is daar aanduidings dat lug nie grootliks bydra tot die slytasie van media nie (Ives, 1990).

Die toets voorgestel deur Degrémont (1977) is 'n brosheidstoets en verloop kortliks as volg. 'n Metaalsilinder met binnediameter 40mm en binnediepte van 100mm word gedeeltelik gevul met presies 35 gram media en 18 staalballe met 'n diameter van 12mm elk voor die silinder verseël word. Die silinder word dan, met 'n radiale

oriëntasie, aan 'n vertikale wiel met diameter 340mm vasgemaak. Die wiel word dan roteer teen 25 opm.

Voor die eksperiment, na 375 omwentelinge en dan weer na 750 omwentelinge moet die media korrelgrootte verspreiding op dieselfde mediamonster bepaal word. Indien X die persentasie media na vergruising voorstel wat kleiner is as die oorspronklike effektiewe grootte (d_{10}), dan word die verlies aan bruikbare media voorgestel deur vergelyking 2.23.

$$\text{Verlies}[\%] = \frac{10}{9}(X - 10) \dots \dots \dots (2.23)$$

Hierdie verlies is 'n aanduiding van die brosheid van die media. Die belangrikheid van korrelhardheid en weerstand teen slytasie word in die algemeen as belangrik geag en word dus in meeste gevalle gespesifiseer. Hierdie spesifikasies word in Tabel 2.7 weergegee.

2.3 Chemiese kenmerke van media

Tot nou toe het die bespreking hoofsaaklik gesentreer op die fisiese eienskappe van die media en mediabed. Dit is egter ook so dat die chemiese eienskappe 'n ewe belangrike rol speel. Die twee vereistes wat algemeen gespesifiseer word is die silika inhoud van die sand en die suuroplosbaarheid van die media. 'n Derde eienskap wat minder aandag geniet is die oplosbaarheid van media onder alkaliese toestande. Hierdie toets is veral belangrik vir antrasiet en ander minder bekende mediatipes.

Tabel 2.7

Vergelykende spesifikasies vir media duursaamheid.

Media spesifikasie	Vereiste	Toetsproses
ANSI/AWWA B100-89	Antrasiet Moh hardheid > 2,7 Geen spesifikasie op sand	Moh hardheidstoets
DIN 19623	-	-
KIWA 1973	Hard, duursaam en bestand teen slytasie	-
IS:8419 (Part 1) 1977	Hard en duursaam	-
Ives 1990	Verlies < 1% aanvaarbaar 1% < Verlies < 3% onseker 3% < Verlies < 5% ongewens Verlies > 5% onaanvaarbaar	Terugwastoets
Degrémont	Verwys Tabel 2.8	Inpak toets soos in Degrémont (1979)
SABS	Geen Spesifikasie	-
Rand Water (Rand Water, 1993)	Hard en duursaam	-
Munisipaliteit Kaapstad (Morrison, 1993)	Hard en duursaam	-

Tabel 2.8

Degrémont duursaamheidsvereistes

Materiaal	Sand en Antrasiet	
	15 minute 750 omwentelinge	30 minute 1500 omwentelinge
Baie goed	6-10%	15-20%
Goed	10-15%	20-25%
Swak	15-20%	25-35%
Verwerp	> 20%	> 35%

2.3.1 Silika inhoud

Sand wat as media gebruik word bestaan hoofsaaklik uit silika (SiO_2). Silika is baie hard en inert en is dus ideaal om in 'n filterbed te gebruik. Verder speel die silika 'n groot rol in ander belangrike eienskappe van die media soos byvoorbeeld die korrelhardheid, suuroplosbaarheid en brosheid. Dit is egter so dat sand nie net uit

silika bestaan nie en om hierdie rede stel verskeie spesifikasies 'n silika inhoud vereiste daar. Tabel 2.9 toon die silika inhoud spesifikasies.

'n Toetsprosedure vir silika inhoud (per massa) word gegee deur die Duitse spesifikasie. 'n Vergruisde 1 gram sandmonster word eers heeltemal afgebreek deur herhaaldelik 'n 40%- oplossing hidrofluorsuur (HF) daarby te gooi en af te damp. Hierna word 1 druppel swawelsuur (H_2SO_4), met digtheid $1,84 \text{ g.ml}^{-1}$, bygevoeg en dit word dan weer afgedamp. Die inhoud word hierna vir 5 minute in 'n oond geplaas teen $1175 \pm 25^\circ\text{C}$ waarna dit in 'n desikkator geplaas word om af te koel. Die massa van die residu word dan gemeet en gebruik om die silika inhoud van die sand te bepaal. Oor die algemeen word die silika-inhoud van filtersand bepaal met x-straalfluorensie.

2.3.2 Suuroplosbaarheid

'n Soutsuurtoets word in die algemeen vereis in filtermediaspesifikasies. Die Ph-waarde van die toets is veel laer as in enige normale filtrasieproses en as die media hierdie toets deurstaan sal dit nie onder normale toestande faal nie (Ives, 1990).

Tabel 2.9
Vergelykende silika inhoud spesifikasies

Media spesifikasie	Vereiste	Toetsproses
ANSI/AWWA B100-89	"Hoofsaaklik silikaat houdend"	-
DIN 19623	> 96%	Soos in DIN 19 623
KIWA 1973	> 98%	-
IS:8419 (Part 1) 1977	> 90%	Metode 7 IS:2000-1962-
Ives 1990	Geen spesifikasie	-
Degrémont	Geen spesifikasie	-
SABS	Geen Spesifikasie	-
Rand Water (Rand Water, 1993)	"Silikaat houdend"	-
Munisipaliteit Kaapstad (Morrison, 1993)	"Silikaat houdend"	-

Die suuroplosbaarheidstoets toets hoofsaaklik drie media eienskappe. Indien die media uit aggregate bestaan eerder as uit enkel korrels sal die gesementeerde vlakke oplos en sal die korrels disintegreer. Verder sal die teenwoordigheid van skulpreste (kalsiumkarbonaat) in media wat een of ander marine oorsprong het, verrai word deur die bruising wat plaasvind en die verlies in massa wat sal voorkom. Laastens sal die teenwoordigheid van suuroplosbare materiale, soos yster, bespeur kan word wanneer dit in die suur oplos en dit verkleur (Ives, 1990). Die suuroplosbaarheidstoets kan ook gesien word as 'n maatstaf van die chemiese inertheid van die media (Ives, 1990).

Die toetsprosedure is redelik eenvoudig en daar bestaan redelike eenvormigheid tussen die verskillende spesifikasies. Die toets behels die bepaling van die massaverlies wat 'n mediamonster ondergaan na dit vir 'n vasgestelde tyd onderwerp was aan 'n suur met standaard konsentrasie. Die vereistes en toetsprosedures word in Tabel 2.10 weergegee.

Tabel 2.10
Vergelykende suuroplosbaarheidsspesifikasies.

Media spesifikasie	Vereiste	Toetsproses
ANSI/AWWA B100-89	Verlies < 5%	1:1 1,18 SG Hcl en water tot 30 min na bruising ophou teen kamertemperatuur
DIN 19623	Geen spesifikasie	-
KIWA 1973	Verlies < 2%	20% Hcl (per volume) vir 24 uur
IS:8419 (Part 1) 1977	Verlies < 5%	40% Hcl (per volume) vir 24 uur teen kamertemperatuur
Ives 1990	Verlies < 2%	20% Hcl (per volume) vir 24 uur teen 20°C
Degrémont	Verlies < 2%	20% Hcl (per volume) vir 24 uur
SABS	Geen Spesifikasie	-
Rand Water (Rand Water, 1993)	-	"Sal voldoen aan 'n goedgekeurde suuroplosbaarheidstoets"
Munisipaliteit Kaapstad (Morrison, 1993)	Geen spesifikasie	-

2.3.3 Basisoplosbaarheid

Basisoplosbaarheid word nie in een van die mediaspesifikasies genoem nie. Die vermoede bestaan egter dat sekere mediatipes soos antrasiet minder stabiel is in alkaliese oplossings. In beginsel is die basisoplosbaarheidstoets soortgelyk aan die suuroplosbaarheidstoets. Die verskil lê daarin dat 'n sterk NaOH-oplossing in stede van HCl gebruik word. Vir antrasiet toetse is 'n 2% per massa NaOH-oplossing al voorgestel (De Boor, 1992).

Die Duitse spesifikasie vereis 'n toets met bytsoda om die organiese inhoud van die mediamonster te bepaal. Die media word in 'n 3% bytsoda oplossing geplaas en deeglik geroer. Indien die oplossing na 24 uur kleurloos tot lig geel is beteken dit dat daar geen organiese materiaal in die monster teenwoordig is nie. Indien die oplossing bolangs egter donker geel, bruinerig of rooi is, mag die media nie gebruik word nie.

2.4 Hidrouliese gedrag van media

Die gedrag en eienskappe wat die media openbaar terwyl dit in 'n filterbed gebruik word, kan met redelike akkuraatheid voorspel word deur gebruik te maak van wiskundige modelle wat reeds deur navorsers ontwikkel is. Hierdie eienskappe is:

- die energieverlies deur 'n skoon bed,
- die snelheid van minimum fluïdisasie,
- die beduitsetting tydens terugwas en die
- die media vermenging wat plaasvind in 'n multimedia bed tydens terugwas.

Daar is reeds verskeie modelle gepubliseer om elk van hierdie eienskappe mee te voorspel. Hierdie deel van die literatuurstudie het dit ten doel om hierdie modelle te identifiseer en te ondersoek aan die hand van 'n paar maatstawwe, onder andere die akkuraatheid daarvan en die "gebruikersvriendelikheid". Verder moet die modelle sover moontlik onafhanklik van bankskaaltoetse gebruik kan word, d.w.s. die modelle

moet voorspellend van aard wees. Die beste beskikbare modelle word opgesom en ondersoek.

2.4.1 Energieverlies deur 'n skoon bed

Gebaseer op die beginsel dat die vloei van water deur sand beheer word en onderworpe is aan dieselfde invloede as laminêre vloei in pype, het Fair en Hatch (1933) gebruik gemaak van die Poiseuille-vergelyking vir laminêre vloei deur pype (vergelyking 2.24) as 'n beginpunt vir die bepaling van energieverlies deur 'n skoon bed. Hierdie vergelyking beskryf die energieverlies (h) wat laminêr vloeiende water ervaar wanneer dit in 'n pyp vloei en l_p is die lengte van die pyp, d_p is die diameter van die pyp en k is 'n pypvloei-konstante wat gelyk is aan 32.

$$\frac{h}{l_p} = \frac{k \mu u}{g \rho d_p^2} \dots \dots \dots (2.24)$$

Om te voorsien vir sandkorrels wat op verskeie maniere kan pak, het Fair en Hatch (1933) porositeit (ϵ) in die vergelyking bygewerk en om te voorsien vir veranderende korrelvorm is die pypdiameter vervang met 'n term wat die korreloppervlak (A) per bedvolume (V_t) voorstel. Hierdie term is soortgelyk aan die definisie vir oppervlakverhouding sferisiteit. Dit het gelei tot vergelyking 2.25.

$$\frac{h}{l} = \frac{k \mu (1-\epsilon)^2}{g \rho \epsilon^3} v \left(\frac{A}{V_t} \right)^2 \dots \dots \dots (2.25)$$

Om die bepaling van die area tot volume faktor te vergemaklik, kan A/V vervang word met $6/d$, waar d die diameter van 'n sfeer is. Vir nie-sferiese korrels word S/d gebruik met S 'n dimensilose vormfaktor. Fair en Hatch (1933) staan die gebruik van die geometriese diameter (d_g) voor vir die diameter term. Dit gee dan aanleiding tot Fair en Hatch (1933) se vergelyking vir energieverlies deur 'n filterbed vir nie-sferiese korrels (vergelyking 2.26). Die pypvloei-konstante is vervang met 'n eksperimenteel bepaalde filtrasie konstante gelyk aan 5.

$$\frac{h}{l} = \frac{5\mu}{g\rho} \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left(\frac{S}{d_g} \right)^2 v \dots \dots \dots (2.26)$$

Die term A/V word ook die spesifieke area (S_v) van die filterbed genoem en 'n meer bekende definisie daarvoor word in vergelyking 2.27 weergegee. Hier word weer eens gebruik gemaak van die oppervlakverhouding sferisiteit.

$$\frac{A}{V} = S_v = \frac{6}{\psi d_{eq}} \dots \dots \dots (2.27)$$

Fair *et al.* (1968) gee krediet vir die energieverlies vergelyking aan Blake (1922) asook aan Kozeny wat in 1927 hieroor gepubliseer het. Dieselfde vergelyking word deur Sakthivadivel *et al.* (1972) die Carman-Kozeny vergelyking genoem. Hoe dit ook al sy, hierdie vergelyking is ontwikkel op die aanname dat daar ten alle tye laminêre vloei in die bed teenwoordig is. Volgens Cleasby en Fan (1981) geskied filtrasie gewoonlik met 'n Reynoldsgetal kleiner as 3 terwyl Camp (1964) dit stel dat laminêre vloei tot op 'n Reynoldsgetal van 12 voorkom.

Ergun (1952) het getoon dat die vergelyking wat energieverlies vir beide laminêre en turbulente vloei beskryf die som van twee terme is. Daar is gevind dat vir lae vloeisnelhede die energieverlies beskryf word deur die Carman-Kozeny vergelyking (vergelyking 2.28) terwyl dit vir turbulente vloei beskryf word deur 'n vergelyking voorgestel deur Burke en Plummer (1928) (vergelyking 2.29).

$$\frac{h}{l} = k_1 \frac{\mu}{\rho g} \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right)^2 v \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\frac{h}{l} = k_2 \frac{1}{g} \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right) v^2 \dots \dots \dots (2.29)$$

Verskeie eksperimente is gedoen en die waardes vir k_1 en k_2 is bepaal as 150 en 1,75 onderskeidelik. Die finale Ergun vergelyking word gegee deur vergelyking 2.30.

$$\frac{h}{l} = 150 \frac{\mu}{\rho g} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right)^2 v + 1,75 \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3} \left(\frac{S_v}{6} \right) \frac{v^2}{g} \dots \dots \dots (2.30)$$

Hierdie vergelyking is fundamenteel meer korrek juis omdat dit die turbulente vloeikomponent ook in ag neem en word daarom deur Cleasby en Fan (1981) voorgestaan vir die bepaling van die sferisiteit van media. Dit is wel so dat filtrasie oorwegend plaasvind in laminêre vloei en die Carman-Kozeny dus akkuraat genoeg vir sulke berekeninge maar dit skiet te kort tydens terugwas (voor fluïdisasie) en tydens filtrasie met redelike groot media korrels wanneer die turbulente sone betree word (Cleasby en Fan, 1981).

2.4.2 Minimum fluïdisasie

Die minimum fluïdisasie snelheid (v_{mf}) is die terugwastempo waarteen 'n filterbed net begin fluïdiseer (Amirtharajah *et al.*, 1991). Wanneer die media nie teruggewas word nie werk daar net twee kragte op die media in. Hierdie kragte is gravitasie en die dryfkrag van die mediakorrels. Tydens terugwas oefen die opwaartse vloei egter 'n sleurkrag op hierdie korrels uit. Indien die terugwastempo verder verhoog word tot waar die som van die dryfkrag en die sleurkrag gelyk is aan die swaartekrag, kom hierdie korrels in suspensie en word die bed as gefluïdiseer beskou.

Indien die bed na fluïdisasie, as gevolg van nog hoër tempo's, nog verder uitsetting ondergaan, sal die energieverlies deur die bed 'n konstante waarde behou. Hierdie konstante waarde word die drywende gewig van die media genoem (Wen en Yu, 1966). Die terugwastempo waarteen die korrels gebalanseer word tussen sedimentasie en verdere beduitsetting is gelyk aan die terminaal valsnelheid van die korrel (Zenz en Othmer, 1960; Sholji, 1987).

Vir media wat in die praktyk gebruik word moet egter onthou word dat daar nie 'n skerp gedefinieerde v_{mf} bestaan nie omdat daar inherente grootte- en vormverspreidings tussen die verskillende korrels bestaan (Cleasby *et al.*, 1977).

'n Akkurate dog eenvoudige metode van die berekening van v_{mf} is deur Wen en Yu (1966) voorgestel. Die energieverlies van die vaste bed is op die punt van fluïdisasie gelyk aan die konstante energieverlies van die bed na fluïdisasie. Die konstante energieverlies deur die bed kan bereken word met vergelyking 2.31 (Cleasby en Fan, 1981).

$$\frac{h}{l} = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} (1 - \epsilon) \dots \dots \dots (2.31)$$

Wanneer hierdie vergelyking gelyk gestel word aan die Ergun vergelyking (vergeljking 2.30) kan vir v_{mf} opgelos word. Hierdie berekening is egter afhanklik van akkurate waardes vir oppervlakverhouding sferisiteit (ψ) en vaste bed porositeit (ϵ). Die data hiervoor is nie altyd beskikbaar nie en om hierdie probleem te oorkom het Wen en Yu (1966) die waarneming gemaak dat ψ en ϵ_{mf} afhanklik is van mekaar en het hulle twee korrelasies daargestel. Hierdie korrelasies word in vergelykings 2.7 en 2.8 weergegee. Deur hierdie korrelasies in die energieverliesvergeljings te vervang kon ψ en ϵ_{mf} geëlimineer word. Vergelyking 2.32 toon die resulterende vergelykings. Hier is Re_{mf} die Reynoldsgetal op die punt van minimum fluïdisasie en Ga die Galileo-getal (Cleasby en Fan, 1981).

$$Re_{mf} = \sqrt{33,7^2 + 0,0408 Ga} - 33,7$$

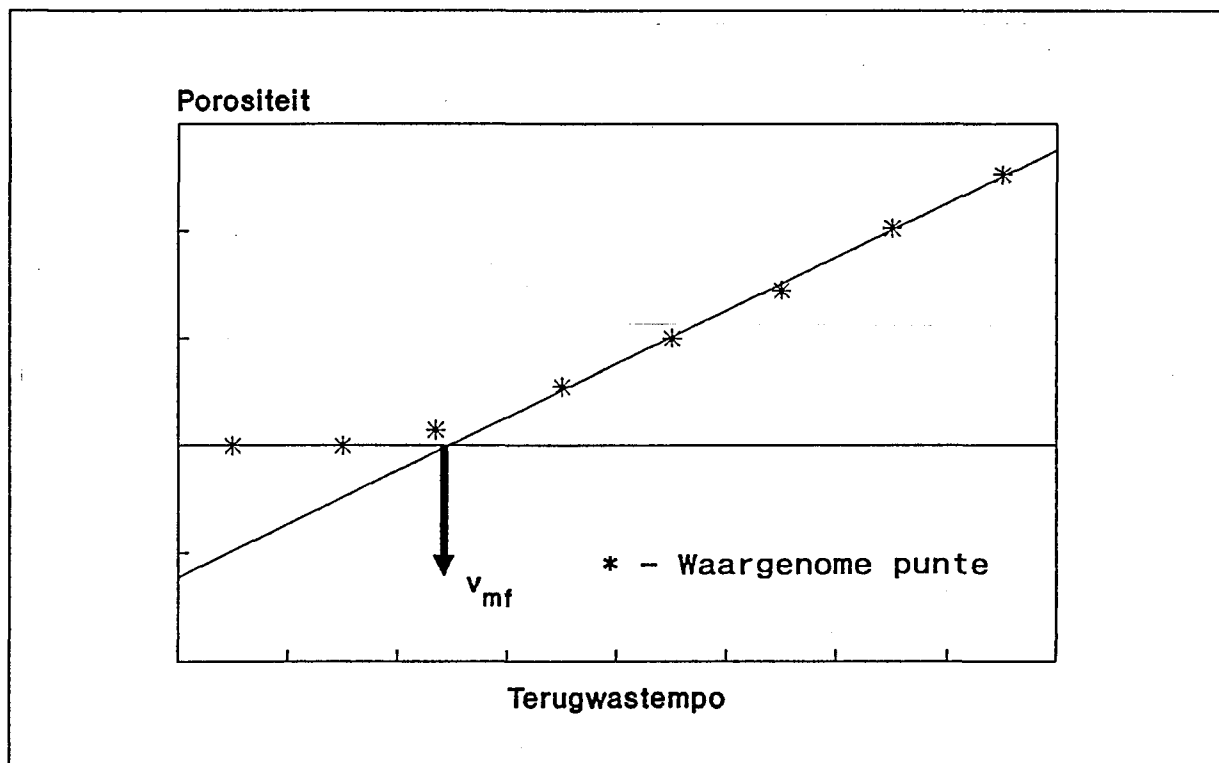
$$Re_{mf} = \frac{d_{eq} v_{mf} \rho}{\mu} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$Ga = \frac{d_{eq}^3 \rho (\rho_s - \rho) g}{\mu^2}$$

Wanneer minimum fluïdisasie bereken word vir 'n bed met 'n korrelgrootte verspreiding, moet v_{mf} bereken word vir die groter korrels om te verseker dat die hele

bed gefluidiseer word (Cleasby en Fan, 1981). Die d_{90} grootte is 'n praktiese keuse hiervoor en indien die ekwivalente diameter hiervan nie beskikbaar is nie kan die d_{90} self hiervoor gebruik word (Cleasby en Fan, 1981). 'n Veiligheidsfaktor van 30% moet bygevoeg word om te verseker dat die growwer korrels genoegsaam beweeg indien hierdie berekening gedoen word vir bed was doeleindes (Cleasby en Fan, 1981).

Grafiese metodes kan ook gebruik word om v_{mf} eksperimenteel te bepaal. Die beddiepte van 'n kolom media word gemeet terwyl die terugwastempo daardeur inkrementeel verhoog word. Wanneer die bedporositeit teenoor terugwastempo geplot word kan twee lyne deur hierdie punte getrek word, een deur die punte voor fluïdisasie en een deur die punte na fluïdisasie. Dit word geïllustreer in figuur 2.7. Die punt waar hierdie twee lyne kruis word as v_{mf} geneem.

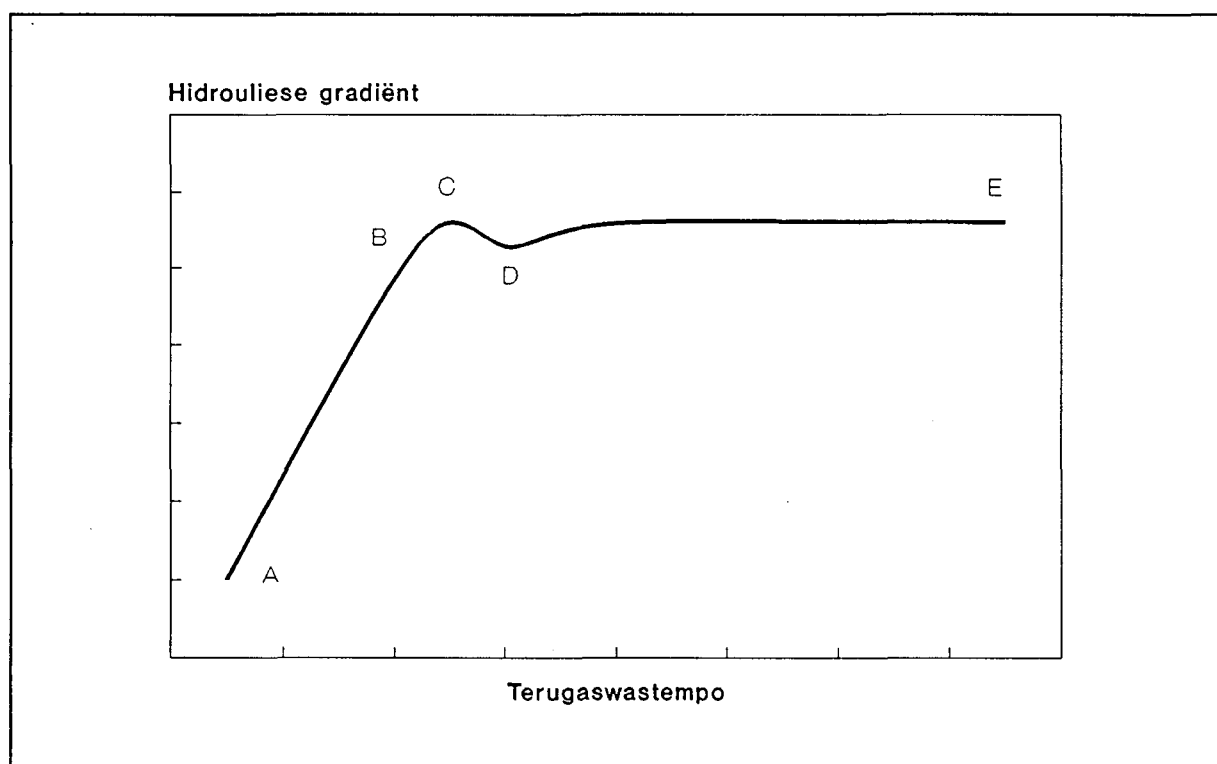


Figuur 2.7 Grafiese bepaling van v_{mf} .

2.4.3 Beduitsetting

Wanneer die filterbed teruggewas word teen tempo's groter as v_{mf} , ondergaan die bed uitsetting. Beduitsetting verander egter nie die fundamentele gedrag van vloei deur 'n gewone filterbed nie behalwe dat porositeit (ϵ) van die bed nie konstant bly soos in die geval van 'n gekonsolideerde bed nie. Die porositeit in 'n gefluidiseerde bed is die kleinste vir die groter korrels in die bed en andersom vir die kleiner korrels (Fair en Hatch, 1933).

Figuur 2.8 toon 'n tipiese energieverlies vs. terugwastempo grafiek vir 'n bed met uniforme partikels (Wilhelm en Kwauk, 1948). Die reguit lyn seksie AB toon die vloei

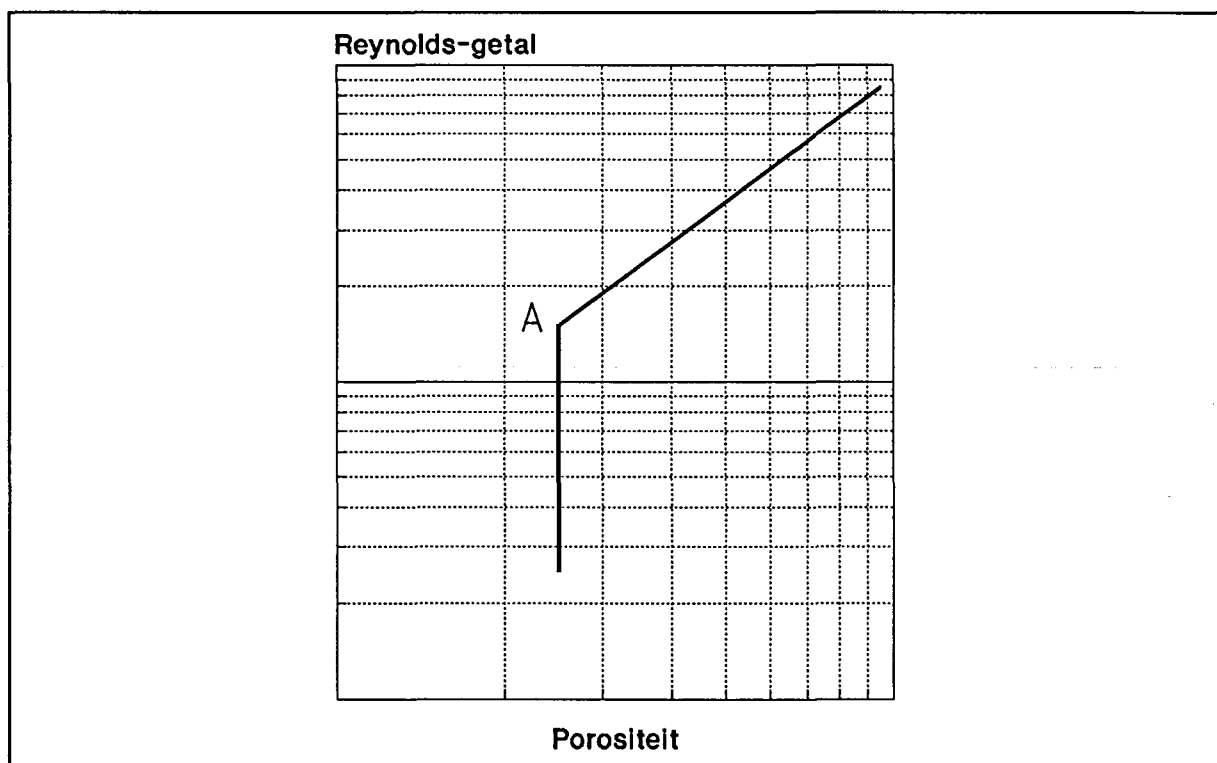


Figuur 2.8 Energieverlies vs. terugwassnelheid.

van die water voor fluïdisasie. Die afwyking van die reguit lyn by B is kenmerkend van die herrangskikking van die media korrels om die grootste moontlike deurvloei area aan die water te bied. Met 'n verdere toename in terugvloei snelheid vind nog

herrangskikking plaas tot op punt C waar die losste moontlike rangskikking van die korrels bereik word. Met 'n verdere toename in die snelheid is van die korrels nie meer in kontak met die ander korrels van die bed nie en is dit gefluidiseer. Van B na C kan die diepte van die bed met tot soveel as 10% toeneem. Punt C is die fluidiseringspunt en die ooreenstemmende snelheid is die fluidiseringsnelheid (v_{mf}). By punt D is die fluidisasie voltooi en is geen van die korrels in kontak met ander korrels nie. Die volledig gefluidiseerde deel, van D tot E, word gekarakteriseer deur 'n benaderd konstante energieverlies met toenemende terugwastempo's. Toenemende terugwastempo's lei tot 'n verdere verhoging in beddiepte (Wilhelm en Kwauk, 1948).

Figuur 2.9 beeld ander eienskappe van 'n gefluidiseerde filterbed uit. Hierdie grafiek



Figuur 2.9 Die verband tussen porositeit en Reynoldsgetal tydens fluidisasie.

toon die verband tussen porositeit (ϵ) en Reynoldsgetal (Re) uit. Reynoldsgetal is direk eweredig aan die terugwastempo. Die vertikale deel van die kurwe toon die toestand van die bed voor fluidisasie. Punt A is die fluidisasiepunt op hierdie kromme.

Na hierdie punt neem die porositeit eksponensieel toe met Reynoldsgetal. Eksperimente toon dat die beddiepte geen invloed het op minimum fluïdisasie en persentasie beduitsetting het nie (Wilhelm en Kwauk, 1948).

Net soos by minimum fluïdisasie moet die korrels wat in die water gesuspendeer word se opwaartse sleurkrag gelyk wees aan die gewig van die media in die water.

$$\frac{h}{l_e} = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} (1 - \epsilon_e) \dots \dots \dots (2.33)$$

Wanneer die energieverlies deur die filterbed tydens uitsetting (vergelyking 2.33) dan in verhouding geneem word met vergelyking 2.31 vir 'n gekonsolideerde bed, is die resultaat 'n verband tussen die diepte van 'n uitgesette bed (l_e) en die uitgesette bedporositeit (ϵ_e) (vergelyking 3.34) (Fair en Hatch, 1933).

$$\frac{l_e}{l} = \frac{1 - \epsilon}{1 - \epsilon_e} \dots \dots \dots (3.34)$$

Hierdie afleiding aanvaar die bed bestaan uit diskrete media lae waarvan die porositeit in die onderskeie lae konstant bly (Fair en Hatch, 1933). Om die totale diepte van die bed te bereken word die uitsettings op die onderskeidelike lae bereken en gesommeer (vergelyking 2.35).

$$\Sigma l_e = \Sigma \left(l \frac{1 - \epsilon}{1 - \epsilon_e} \right) \dots \dots \dots (3.35)$$

Fair en Hatch het in 1933 'n model daargestel om die porositeit van 'n uitgesette bed te voorspel deur gebruik te maak van meetbare media eienskappe. Net soos met Wen en Yu (1966) se minimum fluïdisasiemodel stel Fair en Hatch die energieverlies deur die gefluïdiseerde bed gelyk aan hul energieverliesvergelyking. Met hierdie model word die aanname gemaak dat die porositeite in die individuele lae uniform bly. Die

resulterende verband word in vergelyking 2.36 weergegee. In hierdie geval stel die outeurs egter 'n waarde van 4 voor vir k .

Die rede wat hier voorgehou word, is dat in 'n uitgesette bed die volle korreloppervlak en volle tussenruimte volume beskikbaar is (Fair en Hatch, 1933). In hierdie vergelyking word vir ϵ_e opgelos en met behulp van vergelyking 3.35 word die beduitsetting bepaal. As gevolg van die feit dat hierdie model gebruik maak van die

$$\frac{\epsilon_e^3}{1-\epsilon_e} = k \frac{\mu}{g\rho} \left(\frac{6}{\psi d_g} \right)^2 v \dots \dots \dots (2.36)$$

Carman-Kozeny vergelyking, kan hierdie model net in die laminêre sone gebruik word (Amirtharajah, 1972). Oorweging moet geskenk word aan die gebruik van die Ergun-vergelyking in 'n soortgelyke afleiding omdat terugwas gewoonlik in 'n oorgangsvloei regime plaasvind.

$$\epsilon^{4,7} = \frac{18Re + 2,70Re^{1,687}}{Ga} \dots \dots \dots (2.37)$$

Deur gebruik te maak van data en modelle gepubliseer deur ander outeurs het Wen en Yu (1966) 'n beduitsettings model voorgestel wat geld vir Reynolds-waardes van 0,001 tot 1000. Die model, weergegee in vergelyking 2.37, is eenvoudig en benodig fisiese gegewens wat gemeet kan word (Amirtharajah, 1972). Die vorm van die mediakorrel word egter nie in berekening gebring nie.

'n Verskeidenheid van outeurs het gebruik gemaak van 'n beduitsettingsmodel van die vorm soos weergegee in vergelyking 2.38 (Richardson en Zaki, 1954; Fair *et al.*, 1968).

$$\frac{v}{v_t} = \epsilon^n \dots \dots \dots (2.38)$$

In hierdie vergelyking is v die terugwastempo, v_t die terminaal valsnelheid, ϵ die porositeit van die bed en n is 'n beduitsettingskoëffisiënt wat van outeur na outeur

verskil. Fair *et al.* (1968) gebruik $n=5$ en Richardson en Zaki (1954) gebruik uitdrukkings (vergelyking 2.39) wat funksies is van die terugwaskolom geometrie en die Reynoldsgetal gebaseer op die terugwas snelheid in die bed.

$$n = \left(4,35 + 17,5 \frac{d}{D_t}\right) Re_t^{-0,03} \quad \text{vir } 0,2 < Re_t < 1$$

$$n = \left(4,45 + 18 \frac{d}{D_t}\right) Re_t^{-0,1} \quad \text{vir } 1 < Re_t < 200 \quad \dots\dots\dots (2.39)$$

$$n = 4,45 Re_t^{-0,1} \quad \text{vir } 200 < Re_t < 500$$

Vir hierdie vergelykings word die terminaal valsnelheid (v_t) van die mediakorrels egter benodig wat bepaal kan word deur eksperimentele ondersoek of uit 'n C_D vs. Reynolds plot in die oorgangsvloei sone. Nadat Cleasby en Fan (1981) waargeneem het dat die n -waardes hoër was vir nie-sferiese korrels as vir sferiese korrels, het hulle die empiriese korrelasies van Richardson en Zaki aangepas met terme om die vorm van die media korrels in ag te neem. Die resulterende verbande word in vergelyking 2.40 weergegee.

$$n = \left(4,45 + 18 \frac{d}{D_t}\right) Re_t^{-0,1} \psi^{(-2,9237 \psi^{0,884} Re_t^{-0,363})} \quad \text{vir } 15 < Re_t < 200 \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

$$n = 4,45 Re_t^{-0,1} \psi^{(-2,9237 \psi^{0,884} Re_t^{-0,363})} \quad \text{vir } 200 < Re_t < 503$$

Volgens Dharmarajah (1986) neem die invloed van korrelvorm egter af met toenemende Re -waardes en voorspel vergelyking 2.40 bloot die regte tendens.

Sholji (1987) het sy beduitsettingsmodel ontwikkel met die doel om die keuse wat gemaak moet word jeens die vloei regime vir Richardson en Zaki (1954) se model, uit te skakel. Die model word as vergelyking 2.41 getoon.

In hierdie vergelyking is C_o die aanvanklike volumetriese konsentrasie van die korrels in die media bed en dit is gelyk aan $(1-\epsilon)$. K_2 en K_3 is konstantes wat eksperimenteel

$$\frac{I_o}{I} = \frac{K_2 C_o}{\left[1 - \left(\frac{v}{v_t}\right)\right]^{\frac{3}{2}}} + K_3 \dots \dots \dots (2.41)$$

bepaal moet word. Die model moet dus gekalibreer word vir elke toepassing. Hierdie model se waarde lê daarin dat dit maklik toegepas kan word vir filterbeddens wat in die praktyk gebruik word, gegee dat die verskillende konstantes vir die bed reeds bepaal is (Sholji, 1987).

Met inagname van die tekortkominge van bogenoemde modelle het Dharmarajah (1986) 'n voorspellende model ontwikkel uit 'n dimensioneel analitiese benadering. Hierdie blyk tot dusver die mees volledige model te wees. Die model word in vergelyking 2.42 gereproduseer.

$$\log(A1) = 0,56543 + 1,09348(\log Re_B) + 0,17979(\log Re_B)^2 + \\ -0,00392(\log Re_B)^4 - 1,5(\log \psi)^2$$

$$A1 = \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^2} \frac{\rho(\rho_s - \rho)g}{S_\mu^3 \mu^2} \dots \dots \dots (2.42)$$

$$Re_B = \frac{\rho v}{S_\mu(1-\epsilon)}$$

$$S_v = \frac{6}{\psi d_{eq}}$$

Omdat A1 en Re_B beide funksies van ϵ is, geskied die oplossing van hierdie vergelykings iteratief. Indien die beduitsetting in 'n kolom vereis word moet die terugwastempo eers aangepas word om 'n hipotetiese terugwastempo (v_o) te verkry waarmee Re_B bereken word. Hierdie aanpassing is nodig omdat die porositeit vir 'n mediabed hoër is wanneer die d/D_t -verhouding hoër as 'n gegewe kritiese d/D_t -verhouding is. Die aanpassing wat Dharmarajah (1986) hiervoor gebruik, word weergegee in vergelyking 2.43.

Hier is v_o die terugwastempo wat benodig word om dieselfde porositeit te verkry in 'n oneindig groter kolom as wat die terugwastempo (v) sal teweegbring in 'n kolom met diameter D_t (Dharmarajah, 1986).

$$v_o = v \cdot 10^{\alpha \left(\frac{d}{D_t} \right)} \quad \dots \dots \dots (2.43)$$

$$\alpha = \frac{5,18}{Re_t^{0,585}} \approx \frac{5,2}{Re_t^{0,6}}$$

Hierdie vergelykings stem ooreen met Richardson en Zaki (1954) deurdat die invloed van die wand nie net 'n funksie van die d/D_t -verhouding is nie maar ook beïnvloed word deur Re_t . Die korreksiefaktor is weglaatbaar by hoë Re_t -waardes (Dharmarajah, 1986). Fidleris en Whitmore (1961) maak ook die gevolgtrekking dat die vertragende invloed van die kolommuur afneem met toenemende Reynolds-waardes sodat vir d/D -verhoudings van 0,05 en 0,10 die wand korreksiefaktor minder as 1% word vir Reynoldsgetalle respektiewelik groter as 5 en 30.

Volgens Dharmarajah wyk die model af van eksperimenteel waargenome gedrag by $\epsilon > 0,85$ vir media korrels met $Re_t < 100$ en by $\epsilon > 0,90$ vir $Re_t > 100$. Die model voorspel ook nie die gedrag van media met buitengewone hoë digtheid goed nie. Hierdie behoort egter nie 'n faktor te wees in die voorspelling van gewone filter media gedrag nie omdat hulle digtheid gewoonlik onder 4300 kg.m^{-3} lê.

Die voorafgaande modelle berus almal op een van twee beginsels. Die eerste groep aanvaar dat die energieverlies deur 'n uitgesette bed konstant bly maar hierdie is nie heeltemal waar nie en foute in die orde van 10-15% kan as gevolg van hierdie veronderstelling gemaak word (Amirtharajah, 1972). Die tweede groep maak gebruik van die terminaal valsnelheid van die mediakorrels wat veroorsaak dat dit nie volkome voorspellende modelle is nie. Vir Wen en Yu (1966) se model is wel voorspellend van aard maar daar is gevind dat dit nie die gedrag van vergruisde antrasiet na wense voorspel nie (Amirtharajah en Cleasby, 1972).

Baylis (1959) en Amirtharajah (1972) stel die optimale beduitsetting vir die was van 'n bed op 20-25%. Dit is belangrik om te onthou dat mediakorrels nie skoon gewas word deur interaksies onderling tydens terugwas nie, dit is hoofsaaklik as gevolg van die sleurkrag wat deur die water daarop uitgevoer word (Amirtharajah, 1972). Aanvullende wasmetodes is nodig en in Suid-Afrika word lug algemeen gebruik. Die toepassing van lug veroorsaak 'n laer beduitsetting as net water alleen (Camp, 1971).

2.4.4 Mediavermenging

Conley en Pitman (1960) stel dat die vermenging van sand en antrasiet wat voorkom wanneer die twee mediatipes gekombineerd in 'n bed gebruik word die filtrasieproses tot voordeel strek omdat die fyner sandkorrels nie onder sulke omstandighede 'n ondeurlaatbare mat kan vorm wat lei tot hoër energieverliese nie.

Sommige ontwerpers gebruik redelike groot antrasietkorrels om diepte penetrasie van flock tydens filtrasie te verseker. In hierdie gevalle word 'n fyner gradering sand onder die antrasiet gebruik om die water te "poleer". Om volle voordeel hieruit te trek word die beddens so ontwerp dat daar geen vermenging in die bed plaasvind nie (Camp, 1961).

Cleasby en Woods (1975) skryf dat die algemene konsensus 'n mate van vermenging tussen die lae verkies en dat Camp (1961) al uitsondering hierop is. Cleasby en Sejkora (1975) se eksperimente toon dat 'n vermenging in media lei tot 'n beter uitvloei kwaliteit as gevolg van die aansienlik kleiner sandkorrels in die vermengde laag en noem dat die vermengde media gelei het tot hoër energieverliese as gevolg van die beter verwydering van soliedes. Hulle sluit af deur te sê dat 'n mate van vermenging in multimedia beddens wenslik is gegrond op die beter kwaliteit van die filtraat.

Die vermenging wat tussen twee medialae voorkom, word nie kwantitatief in die literatuur uitgedruk nie. Hierdie modelle toon eerder onder watter omstandighede vermenging sal plaasvind as tot watter mate dit sal gebeur.

Cleasby en Woods (1975) het modelle van Le Clair en Camp *et al.* (1971) ondersoek. Hierdie ondersoek het getoon dat geeneen van modelle 'n presiese aanduiding gee van die terugwastempo waarby vermenging tussen medialae sal plaasvind nie. Die model van Pruden gee, volgens Cleasby en Woods (1975), egter 'n meer korrekte voorspelling van die gedrag van media. Hierdie model is gegrond op die beginsel dat verdeling van media in aparte lae gedryf word deur die verskil in die stort digthede van die verskillende mediatipes. Die verskil in stortdigthede tussen groot korrels (x) en klein korrels (y) word bereken met vergelyking 2.44.

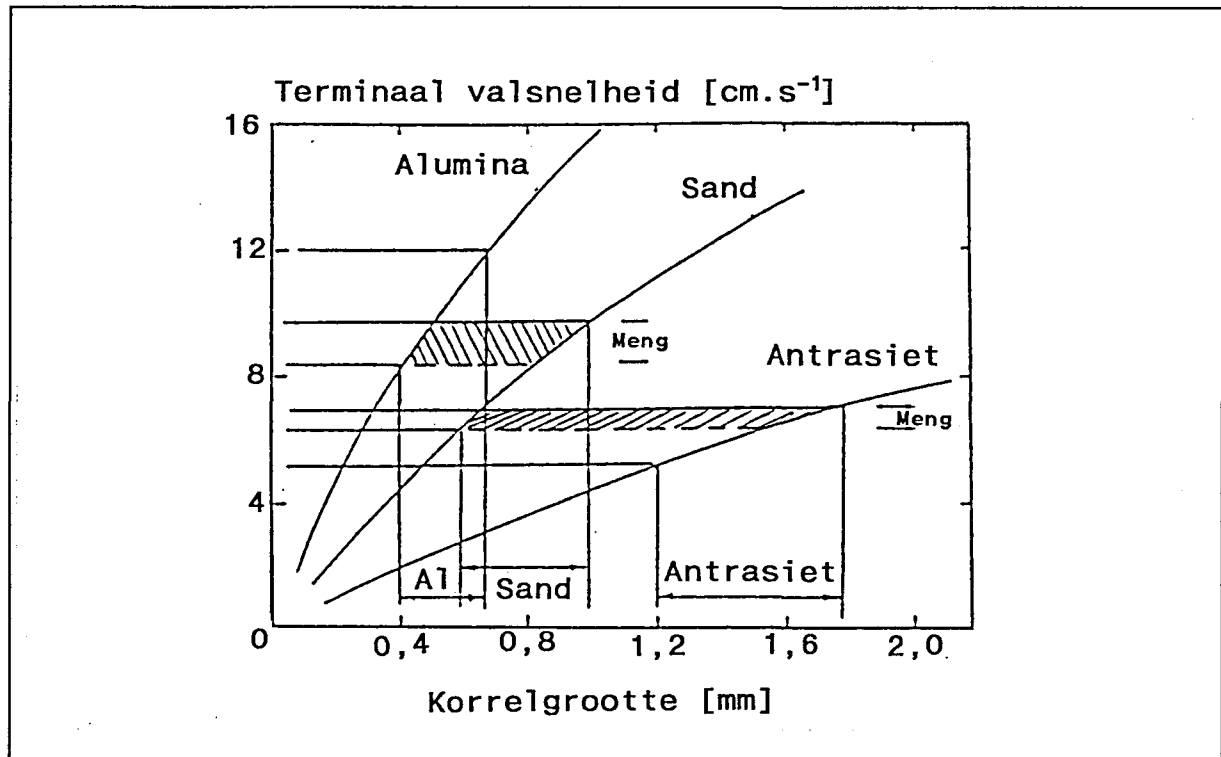
$$\rho_{bx} - \rho_{by} = (1 - \epsilon_x)(\rho_{sx} - \rho) - (1 - \epsilon_y)(\rho_{sy} - \rho) \dots \dots \dots (2.44)$$

Wanneer die verskil in die stortdigthede gelyk is aan nul sal die aangrensende medialae volledig gemeng wees. 'n Positiewe of negatiewe teken dui op stratifikasie (Cleasby en Woods, 1975). Le Clair het ook die volgende uitgewys:

- Data versamel vir individuele komponente in 'n multimediabed sal nie die vermengings porositeit tussen die lae korrek voorspel nie omdat die individuele komponent data die gemiddelde porositeit van daardie komponent sal beskryf eerder as die punt porositeite in hierdie komponente.
- Die totaal gemengde fase van die twee komponente word bereik by 'n terugwas tempo laer as voorspel deur die individuele komponent korrelgrootte verspreiding, omdat die kleiner korrels 'n groter variasie in grootte en stortdigtheid het as die groter korrels.
- Die uitsettingsbeddiepte, gemeng of gelaagd, van twee komponent media beddens word korrek beskryf deur die som van die uitsettingsdieptes van die individuele komponente.

Camp *et al.* (1971) se benadering het berus op die veronderstelling dat vermenging beheer is deur digtheid van die ligte media en die stortdigtheid van die swaar media (Cleasby en Woods, 1975).

Volgens Ives (1990) kan die vermengings gedrag van media voorspel word deur die terminaal valsnelhede van individuele media korrels. Figuur 2.10 word gereproduseer uit Ives (1990) en dien as 'n voorbeeld van die bepaling van stratifikasie gedrag van media.



Figuur 2.10 Vermenging en stratifikasie van media gebaseer op die terminaal valsnelheid teenoor die sif korrelgrootte vir drie media tipes.

Die terminaal valsnelhede van mediakorrels wat reeds gebruik is vir die hidroulies ekwivalente sferisiteit, kan gebruik word om hierdie voorspelling te doen. 'n Vereiste is egter dat die temperatuur waarin die terminaal snelhede gemeet is vir al die mediatipes dieselfde is of dat die snelhede almal aangepas is na dieselfde temperatuur.

Volgens Cleasby en Woods (1975) moet ontwerpers hulself wend na die gebruik van duimreëls vir die keuse van korrelgroottes van aangrensende media lae in multimedia beddens. Van hierdie reëls word hieronder weergegee.

Antrasiet, met 'n SG van 1,4 tot 1,6 en 'n laer sferisiteit as sand moet 'n korrelgrootte 2 tot 3 maal groter as die sand met SG 2,65 hê om vermenging tussen die twee te voorkom (Conley, 1961). Hierdie stem ooreen met Cleasby en Sejkora (1975) wat 'n sand tot antrasiet korrelgrootte verhouding van 1:2 voorstel vir geen vermenging en 1:4 vir algehele vermenging. Wen en Yu (1966) stel dat skeiding tussen twee lae media met dieselfde digtheid sal voorkom indien die korrelgrootte verhouding van die twee lae meer as 1:1,3 is maar Baylis (1935) waarsku dat sand deur gruis sal "lek" indien die gruis 2,5 keer groter as die sand is; hy stel voor dat 'n verhouding van 2 gebruik word.

2.4.5 Wiskundige modellering van werklike mediabeddens

Die modelle wat tot op hierdie punt behandel is, kan meestal slegs een korrelgrootte op 'n slag hanteer. Dit is egter so dat filterbeddens 'n verspreiding van korrelgroottes bevat. Om hierdie situasie aan te spreek word mediabeddens tydens analises beskou as 'n samestelling van, gewoonlik vyf tot tien, diskrete lae, waar elke laag 'n konstante korrelgrootte het. Dit word baseer op die hidrouliese stratifikasie beginsel.

Die korrelgroottes gebruik in die modellering word verkry deur die data uit sifanalises deur dieselfde hoeveelheid "lae", op die persentasie massa deurgelaat skaal, te deel. Die korrelgroottes word geneem as die gemiddelde groottes in elk van daardie lae.

Die analise van die onderskeie lae word afsonderlik gedoen. Die resultaat vir die bed, is dan die som van die onderskeie lae in die bed.

2.5 Slot

Na afloop van die literatuurstudie kan die volgende stellings gemaak word:

- Daar bestaan verskeie standaarde, plaaslik en internasionaal, wat die vereiste eienskappe vir media in diepbedfiltrasie voorskryf. Suid-Afrikaanse spesifikasies is egter onvolledig en nie vrylik beskikbaar nie. Verder is dit duidelik dat

spesifikasies nie konsekwent in hulle vereistes is nie.

- Daar is verskeie metodes beskikbaar om elk van die media eienskappe mee te bepaal, dit is dus nie nodig om nuwe toetsprosedures te ontwikkel nie.
- Daar bestaan 'n formidabele raamwerk teorie waarmee mediagedrag voorspel kan word, gegee dat die eienskappe van die media bekend is.
- Daar is geen algemene eienskappe wat aan media gekoppel kan word nie. Hierdie eienskappe moet vir elke media monster gemeet word.

In hierdie verslag word dus voortgegaan om:

- verskeie media eienskappe te ondersoek sodat tipiese eienskappe vir Suid-Afrikaanse media bekend kan wees,
- verskillende toets en meetprosedures te ondersoek om die mees gepastes te identifiseer,
- modelle wat mediagedrag voorspel, te ondersoek, om sodoende gepaste modelle aan te beveel en,
- spesifikasies vir plaaslike media voor te stel.

HOOFSTUK 3 - EVALUASIEMETODES VIR FILTERMEDIA

Soos dit in die literatuurstudie duidelik geword het, is daar verskeie standarde en toetsmetodes wat gebruik kan word om filtermedia se eienskappe mee te peil. Om die toepaslikheid van hiervan op plaaslike media te ondersoek, is die plaaslike media aan die hand van die verskeie metodes ondersoek. Hierdie hoofstuk beskryf prosedures wat in media ondersoeke gevolg moet word en dan ook in die ondersoek na tipiese plaaslike resultate gebruik is. Verskeie wiskundige modelle wat die gedrag van media in die filterbed voorspel, is ook ondersoek.

3.1 Identifikasie en besoeke aan plaaslike media myne

Die meeste silika in Suid-Afrika word vir die glasbedryf gemyn en na aanleiding van Coetzee (1976) word die grootste gedeelte hiervan gemyn in die Kaapse Vlakte, die Magaliesberge en die Delmas omgewing. Die vereistes deur die glasbedryf gestel aan die silika in terme van chemiese suiwerheid is heelwat hoër as vir filtersand en oor die algemeen word kleiner korrels, in die orde van 0,25 mm tot 0,50 mm, vereis, maar verder word daar geen onderskeid getref tussen media vir die glas en filterbedryf nie. Die bronne wat dus benut word in die glasbedryf word in baie gevalle dan ook gebruik vir filtermedia en die omgekeerde is ook waar.

Om die media wat in Suid-Afrika kommersieel beskikbaar is so doeltreffend moontlik te evalueer is soveel moontlik van die verskaffers genader. Die identifikasie van hierdie verskaffers is hoofsaaklik gedoen deur kommunikasie met ontwerpers van filterbeddens en watersuiweringsaanlegte. In onderhoude met die verskaffers van media is daar ook altyd gepoog om die name van nuwe verskaffers te bekom. Die resultaat was dat media van ses silikamyne in hierdie ondersoek getoets is. Hierdie verskaffers verteenwoordig al die vernaamste silikaproduserende streke in die land.

Nadat 'n myn identifiseer is, is besoek aan hierdie myn gebring. Hierdie besoeke het uit die volgende komponente bestaan:

- 'n Onderhoud met die verskaffer om te bepaal watter eienskappe aankopers van media verlang, watter spesifikasies in bestellings aangehaal word en watter eienskappe van hul media op 'n deurlopende grondslag getoets word.
- 'n Besoek aan die myn self om die media in sy rou vorm te ondersoek. Hieruit word 'n beeld gevorm van die oorspronklike neersetting van die media en die graad van verwerking daarvan.
- 'n Besoek aan die verwerkingsaanleg. Die wyse waarop media verwerk word het 'n invloed op die finale produk, dit is dus insiggewend om te sien hoe hierdie produkte verwerk en verpak word.
- Die neem van verteenwoordigende monsters vir laboratoriumondersoek.

Volgens Coetzee (1976) is daar nie kommersiële antrasiet bronne in Suid-Afrika nie. Antrasiet vir filtrasie doeleindes word wel in die Vryheid omgewing gemyn en word in klein hoeveelhede vir filtrasie doeleindes versprei. 'n Groot hoeveelheid van die antrasiet wat in Suid-Afrika gebruik word, word egter ingevoer.

Filterite word ook onder die naam Blastrite versprei vir sandstraalwerk. Hierdie produk is afkomstig uit die Wes-Transvaal waar dit herwin word van platinslak uitskothope. Dit blyk magnesiumhoudende fajaliet te wees en hierdie medium se uitstaande kenmerk is sy relatief hoë digtheid.

3.2 Monsterneming

Die neem van 'n verteenwoordigende mediamonster wanneer die media getoets word, is om ooglopende redes van kardinale belang. Verskeie spesifikasies stel uitdruklik hoe monsters geneem moet word. Hierdie spesifikasies korreleer hoofsaaklik die hoeveelheid media wat versend word met die hoeveelheid monsters wat getrek moet word.

Wanneer media in groot maat vervoer word kan verteenwoordigende monsters die maklikste getrek word by die laaipunt of die punt van produksie (AWWA, 1989). Monsters moet getrek word soos elke vragmotor of treintrok gevul word. Dit word nie voorgestel dat die monster getrek word wanneer die media op terrein opdaag nie. Indien dit egter verlang word, moet tien monsters uit elke trok getrek word. Een monster naby, maar nie in die hoeke van die trok nie, een in die middel en die res op willekeurige posisies (AWWA, 1989).

Wanneer die media in sakke versend word moet die monsters met behulp van boorkerne getrek word. Die boorkerne moet gekombineer word om die verteenwoordigende monster daar te stel. Die metode van die kombinasie van hierdie kerne word ook voorgeskryf deur sekere spesifikasies soos ASTM C702. Volgens AWWA (1989) is die minimum toelaatbare monstergrootte 4,5 kg. AWWA (1989) spesifiseer dan ook die hoeveelheid monsters wat getrek moet word. Wanneer monsters uit produkhoop onttrek word is dit ook wenslik dat boorkerne gebruik word.

Monsterneming word in SABS-standaardmetode 827-1976 beskryf. Net soos met die Amerikaanse standaard word vereis dat 'n aggremaatmonster saamgestel word uit 'n verskeidenheid monsters wat op vasgestelde plekke en tye uit 'n besending of produksielyn getrek word. Daar word vereis dat die monster deeglik vermeng en dan met 'n monstersplitser verdeel word tot op die vereiste monstergrootte voor analises begin.

Die doel van hierdie ondersoek nie om 'n spesifieke monster of besending te ondersoek nie maar eerder om 'n breë indruk te kry van wat die media in Suid-Afrika se eienskappe is. Daar is egter so ver moontlik probeer om by goeie monsternemingspraktyk te bly. In sommige gevalle was die monsters egter deur die verskaffer self getrek en in hierdie gevalle word aanvaar dat die monsters verteenwoordigend is.

3.3 Fisiese kenmerke van media

Dit is voordelig om die fisiese eienskappe van media eerste te bepaal omdat hierdie data gebruik word in die ander analyses van die media. Die belangrikste van hierdie eienskappe is:

- die mediakorrelgrootte,
- die mediadigtheid en
- 'n aanduiding van die korrelvorm.

3.3.1 Visuele inspeksie

'n Mediamonster se homogeniteit en skoonheidsgraad kan maklik deur middel van visuele inspeksie vasgestel word. Ives (1990) beskryf hierdie prosedure. Indien die monster stowwerig voorkom of vreemde materiale bevat, moet dit gewas word voor dit verder ondersoek word. 'n Mate van stowwerigheid op die media, veral op bros media soos antrasiet, mag veroorsaak word deur die hantering en vervoer van die media maar hierdie is onbelangrik omdat die terugwastoets sal toon of hierdie media sal afskuur tydens terugwas. Nadat die media gewas en gedroog is, sal 'n ondersoek onder 'n lae vergroting mikroskoop waardevolle inligting lewer jeens die korrelvorm, oppervlaktekstuur, uniformiteit, oppervlakverkleuring, die teenwoordigheid van vreemde materiale en of die korrels enkel of agglomerate is (Ives, 1990).

Vergrotings van 20 tot 80 maal is genoegsaam vir meeste korrelgroottes en die gebruik van stereomikroskopie beklemtoon veral die oppervlaktekstuur en korrelvorm. Verder maak die gebruik van lig van beide bo en onder die monster, meer inligting beskikbaar oor die deurskynendheid, silhoeët, die korreloppervlak en kliewing (Ives, 1990).

Daar word veral op die volgende eienskappe van die media gelet tydens die visuele inspeksie:

- die tipe en kleur van die media,

-
- die skoonheidsgraad,
 - die homogeniteit van die korrelstruktuur,
 - die oppervlak van die korrels,
 - die korrelvorm,
 - die uniformiteit van die korrels in die monster.

Hierdie ondersoek is gedoen onder 'n Olympus SZ1145TF verstelbare stereomikroskoop met vergrotings wat verstel kan word van 1,8 na 11 maal. Die stereoskoop is gekombineer met 2 Olympus GSWH 10 maal oogstukke wat die moontlike vergroting van voorwerpe verhoog na die interval 18 tot 110 maal. Die media monster is verlig met 'n eksterne ligbron. Hierdie was 'n Olympus LSG-A wat gebruik maak van 6 volt 15 watt halogeen lampe.

Foto's van die media is geneem tydens die visuele inspeksie. Die fotomikrografiese opstelling het bo-op die stereoskoop gepas en het bestaan uit 'n Olympus SZ-PT fotobuis waarin 'n Olympus NFK2.5XLD foto-oogstuk gebruik is. Die foto-oogstuk lewer 'n vergroting van 2,5 maal. 'n Olympus OM-2N 35mm kamera met 100 ASA kleurnegatiewe film is gebruik om die foto's mee te neem. Om te voorkom dat die foto's deurmekaar raak is gebruik te maak van 'n Olympus Recordata Back 4 om die negatiewe te kodeer wanneer media afgeneem word.

3.3.2 Sifanalise

Soos in die literatuurstudie gesien is 'n sifanalise die mees effektiewe en algemene metode om die grootte en grootteverspreiding van mediakorrels te bepaal. Die resultate wat uit so 'n siftoets verkry word is egter 'n funksie van 'n verskeidenheid van faktore wat daartoe lei dat dit moeilik is om 'n analise te reproduseer. Om hierdie rede is dit nodig om spesifikasies streng na te volg.

Die mediamonster wat ondersoek word moet verteenwoordigend wees. Dit word gewoonlik verkry deur die toetsmonster deur 'n gleufmonsterverdeler te stuur. Die

media word herhaaldelik verdeel totdat die gewenste monster grootte verkry word. SABS-standaardmetode 828-1976 stel voor dat die monster vogtig genoeg is sodat die stof nie afkom wanneer hierdie gedoen word nie. Die gewenste monstergrootte word deur SABS-standaardmetode 829-1976 gegee as 200 g vir media tussen 1,18 - 2,36 mm en 175 g vir media van 0,30 - 0,60 mm. Hierdie spesifikasies geld vir 200 mm diameter siwwe.

SABS-standaardmetode 828-1976 vereis dat die hoeveelheid fynstof op die media bepaal word deur die gedroogte gewigte van die monsters te vergelyk voor en na dit gewas is. Dit word gewas terwyl dit tussen 'n 75 μ m en 600 μ m sif gehou word. Filtermedia korrelgrootte is nooit so laag as 75 μ m nie en indien daar wel fynstof teenwoordig is, is die hoeveelheid weggelaatbaar. Om hierdie rede kan hierdie deel van die toets vir die filtermedia weggelaat word. Die filtermedia word gedroog voor dit gesif word om te voorkom dat die korrels konglomerate vorm of nie die sif onnodig verstop nie. Die media word gedroog deur dit vir ten minste 12 uur in 'n droogoond teen 110°C te plaas. Die massa van die monster is tot die tweede desimaal van 'n gram bepaal nadat dit in die oond of desikkator afgekoel het.

Die monster word gesif deur 'n stel siwwe met maasopeninge wat van bo na onder in die sifstapel afneem. Sifgroottes, gespesifiseer deur die grootte van die maas, word gestandaardiseer deur internasionale standaarde. Daar is egter steeds sommige sifgroottes wat nie aan die ISO-standaarde voldoen nie bv. die US Tyler-reeks. Die SABS het SABS 197-1971 daargestel om die situasie in Suid-Afrika te standardiseer. Daar word egter steeds siwwe hier verkoop wat aan ander internasionale spesifikasies voldoen. Die siwwe wat in hierdie ondersoek gebruik is Kingtest-siwwe en hierdie siwwe voldoen aan die Britse ekwivalent van die Suid-Afrikaanse standaard, naamlik BS410-1986.

Om die resolusie van die sifanalise te verhoog word die verhouding van siwwe wat op mekaar volg deur verskeie spesifikasies daargestel. Die standaard is dat die verhouding van opeenvolgende siwwe so na as moontlik aan $\sqrt[4]{2}$ of 1,1892 is (AWWA,

1989). Hierdie spesifikasie is in hierdie ondersoek nagevolg en die maksimum aantal siwwe is in die analyses gebruik.

Die sifanalise is gedoen op 'n elektriese Endecott EFL1 MK II skudmasjien. AWWA (1989) vereis dat die sifaksie $10 \pm 0,5$ min volgehou word vir silikasand en $5 \pm 0,5$ min vir antrasiet terwyl SABS 828-1976 'n minimum van 10 min voorstel. In hierdie ondersoek is die monster vir 10 minute op die skudmasjien gelos.

Na afloop van die skudproses word die residu op elk van die siwwe bepaal tot die tweede desimaal van 'n gram. Hiervoor is 'n Mettler PJ3000 elektroniese skaal gebruik. Indien die som van die media op die siwwe met meer as 1% van die oorspronklike monster massa verskil, moet die toets herhaal word. Die persentasie media deur 'n sif gelaat word teenoor die maasgrootte van daardie sif geplot om sodoende die korrelgrootte verspreiding van die monster te gee. Die groottes van d_{10} en d_{60} word uit die grafieke bepaal en sodoende is die effektiewe grootte en die UC van die monster bepaal.

Die wye korrelgrootteverspreiding wat in sommige van die mediamonsters voorkom het daartoe gelei dat van die gepaste SABS-spesifikasie afgewyk is en daar tot 300 g media per sifanalise gebruik is.

Om herhaalbaarheid van die toets te verifieer is sommige van die media monsters twee keer getoets. Sifanalises wat verkry is van die verskaffers van die media is ook as verwysing gebruik. Die fraksies wat in die sifproses geskei is, is gehou sodat die aparte korrelgroottes in verdere analyses gebruik kon word.

3.3.3 Digtheid

Die literatuurstudie het getoon dat daar verskeie metodes bestaan om digtheid of die relatiewe skyndigtheid van die media te bepaal. Daar is drie metodes wat in hierdie verslag ondersoek is. Die eerste vraag wat beantwoord moet word is of die

digtheidsbotteltjie data noemenswaardig van dié van die vinniger metodes verskil en tweedens of die vakuummetode deur Degrémont voorgestel 'n beter metode is vir die bepaling van digtheid van plaaslike antrasiet.

Die bepaling van die digtheid van media word in SABS-standaardmetode 844 behandel en word hier gereproduseer. 'n Skoon droë piknometer bottel (met prop), met 'n volume met ten minste twee maal dié wat in beslag geneem gaan word deur die toets eksemplaar, word gebruik. Die massa van die bottel is m_a . Die mediamonster wat getoets word, moet vooraf gesif en gedroog word teen 110 °C. Al die water wat in hierdie toets gebruik word moet vooraf gekook en gedemineraliseer word en massabepalings moet tot 0,01% of beter noukeurig wees.

Plaas $\pm 300\text{g}$ voorbereide eksemplaar in die piknometer, maak die buitekant skoon en weeg die bottel en die monster saam (m_s). Gooi genoeg water in om die media te dek, verwyder die ingeslote lug met 'n lae vakuum en ligte stampe op 'n rubber oppervlakte. Maak die piknometer vol en sit die prop op. Meet die gewig (m_{sw}). Haal die onmiddellik die prop af en bepaal die temperatuur (T) in die bottel met 'n geskikte termometer. Verwyder die inhoud van die piknometer, was dit deeglik en vul dit heeltemal met water by temperatuur $T \pm 1^\circ\text{C}$. Sit die prop op, maak die buitekant van die fles skoon en droog en bepaal die massa (m_w). Die relatiewe digtheid van die media word dan bereken met vergelyking 3.1.

$$\text{Relatiewe digtheid} = \frac{d_w(m_s - m_a)}{(m_s - m_a) - (m_{sw} - m_w)} \dots \dots \dots (3.1)$$

In hierdie vergelyking is d_w die relatiewe digtheid van water by temperatuur T.

Die tweede metode van digtheidsbepaling word deur Degrémont (1979) beskryf. Volgens Degrémont word hierdie metode gebruik om die ware digtheid van nie-poreuse media te bepaal. Die metode behels die plaas van 50 g media in 'n 250 ml maatsilinder wat 100 ml water bevat. Die totale volume (V) van die media en die water word gemeet na die lug wat in die tussenruimtes van die mediamatriks vasgevang is, verwyder is.

In hierdie ondersoek is gevind dat minder lug aan die korrels vassit wanneer die media stadig deur 'n trechter in die water gegooi word. Die res van die lug is verwyder deur die maatsilinder liggies op 'n rubber oppervlak te stamp en die media af en toe te roer. Die digtheid van die media in g.ml^{-1} word dan bepaal met vergelyking 3.2.

$$\rho = \frac{50}{(V-100)} \dots \dots \dots (3.2)$$

Die digtheid van poreuse media word volgens Degrémont op 'n soortgelyke metode bepaal. Die verskil is dat die media en water in die maatsilinder onder 'n gedeeltelike vakuum van 800 mbar vir 15 minute geplaas word om die lug te verwyder voor die volume lesing gemaak word.

Vir die doeleindes van hierdie ondersoek is die gemiddeld van twee digtheidsbepalings geneem as die digtheid van elke media monster. Al die produkte van die verskaffers se digthede is bepaal om die mediadigtheid van 'n gegewe myn so akkuraat moontlik te bepaal. Die mediamonsters is nie gesif vir hierdie toets nie.

3.3.4 Ekwivalente diameter (d_{eq})

Die bepaling van die effektiewe diameter van media korrels word deur Cleasby en Fan (1981) beskryf. Dit word ook die gemiddelde ekwivalente sferiese diameter genoem en word bepaal deur die tel-en-weeg metode (count and weigh).

Nadat die digtheid van media bepaal is, word 'n verteenwoordigende monster van die media getrek met 'n gleufmonsterverdeler. Die media word gedroog en 100 korrels van die monster word afgetel en so akkuraat moontlik geweeg.

Met die massa (m) en die digtheid (ρ) van die korrels bekend kan die totale korrelvolume van die 100 korrels bepaal word. Indien die aanname gemaak word dat die korrels sferies is kan die ekwivalente diameter van die korrels bereken word. Die berekening word met vergelyking 3.3 gedoen.

$$d_{eq} = \sqrt[3]{\frac{3m}{50\pi\rho}} \dots\dots\dots (3.3)$$

In hierdie eksperiment is die massas van die media bepaal met een van twee skale. Vir die groter korrels is die Mettler PJ3000 elektroniese skaal en vir die kleiner korrels is 'n Mettler AJ100 met glasafskerming gebruik. Hierdie tweede skaal weeg tot die vierde desimaal van 'n gram.

Die monsters wat getoets word moet groot genoeg wees om betroubare data te lewer. 'n Aantal van 100 korrels soos voorgeskryf deur Cleasby en Fan (1981) is in hierdie ondersoek gebruik. Die toets is gedoen op al die 500-600 μ m, 1000-1180 μ m en 1400-1700 μ m fraksies wat met die sifanalises geskei is. Vir enkele monsters is die 2,00-2,36 mm fraksie ook getoets.

Indien 'n enkele myn meer as een produk het wat oor hierdie gegewe fraksies versprei lê, is die toets op al hierdie produkte gedoen om die steekproef te vergroot en ook om te sien of dit onderling verskil of nie.

3.3.5 Terminaalvalsnelheid (v_t)

Die terminaal valsnelheid word gebruik om die hidroulies ekwivalente diameter (d_h) van die mediakorrels en die hidroulies ekwivalente sferisiteit (ψ) van die media te bereken, en ook om 'n aanduiding van die stratifikasie gedrag van die media te gee.

Volgens Ives (1990) word die terminaalvalsnelheid van media oor 'n 1 m afstand bepaal in 'n 50 mm deursnit kolom. Hierdie kolom moet 1,5 m lank wees met twee merkies daarop gemaak wat 1 m uit mekaar is, met die eerste merk ten minste 200 mm onder die water oppervlak. Ives (1990) stel voor dat 20 korrels getoets word. Die media korrels moet deeglik benat word voor die toets en die korrels moet een vir een met behulp van 'n knyptangetjie in die kolom water geplaas word. Enige korrels wat naby aan die wand van die kolom val mag nie in berekening gebring word nie. Die

watertemperatuur in die kolom moet verkieslik gestandaardiseer wees op 20°C omdat terminaal valsnelhede 'n funksie is van temperatuur. Indien die temperatuur nie gestandaardiseer word nie moet aanpassings aan die data gemaak word voor vergelykings tussen verskillende toetse gemaak word. Dit geld veral wanneer die stratifikasiegedrag van die media ondersoek word en ook wanneer Re_t bereken word om Dharmarajah (1986) se beduitsettingsmodel te evalueer.

In hierdie ondersoek is gebruik gemaak van 'n 140 mm binnediameter perspex kolom. Die kolom was 2 m lank en die twee merke op die kolom waartussen die terminaalvalsnelheid van die korrels gemeet is, was onderskeidelik 0,5 m en 1,5 m onder die wateroppervlak. Daar is besluit om ten minste dertig korrels uit elke monster te toets omdat daar dan gebruik gemaak kan word van normaal verdeling statistiese metodes om die resultate te analiseer (Walpole en Myers, 1978).

Dieselfde groottefraksies as in die ekwivalente diameter analise is ook in hierdie ondersoek gebruik. Die hoofdoel van hierdie toets was om die hidrouliese sferisiteit van die korrels te bepaal. Die 1000-1180 μ m fraksies in al die beskikbare monsters is getoets sowel as ten minste twee monsters van elke myn uit die ander genoemde fraksies.

Die temperatuur van die water was nie beheer nie en om hierdie rede is die temperatuur van die water na elke dertig korrels gemeet. Die valsnelheid van die korrels is bepaal deur die tyd te meet wat die korrel neem om die 1 m tussen die twee merke op die kolom te beweeg. Na aanleiding van die literatuur oor die invloed van die kolomwand op die terminaal valsnelheid van partikels is aanvaar dat die kolom 'n weglaatbare invloed op hierdie toets gehad het (Fidleris en Whitmore, 1961). Die herhaalbaarheid van die eksperiment is ondersoek deur twee mediamonsters elk twee keer te toets, verder is elke grootte fraksie van elke myn wat ondersoek is ten minste twee keer getoets.

$$v_t^2 = k_s \cdot f(T)$$

$$k_s = \frac{4gd_h}{3} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$f(T) = \left(\frac{\rho_s}{C_D \rho} - \frac{1}{C_D} \right)$$

Alhoewel verskeie navorsers, onder andere Sholji (1987) noem dat hulle die terminaal valsnelhede van hul media aanpas vir temperatuur, word nêrens gesê hoe dit gedoen word nie. In hierdie ondersoek is gebruik gemaak van vergelykings 2.3, 2.4 en 2.5. Vergelyking 2.3 beskryf die terminaal valsnelheid van sferie en kan herrangskik word om soos vergelyking 3.4 te lyk. Indien al die gegewens, insluitend die hidrouliese ekwivalente diameter (d_h), vir 'n eerste temperatuur bekend is, kan v_t^2 en die temperatuur afhanklike funksie ($f(T)$) bereken word. Hierdie twee terme word dan gebruik om die konstante k_s te bereken. Alhoewel al die veranderlikes beskikbaar is om die konstante direk te bereken, word dit nie gedoen nie omdat hierdie term optree as 'n kalibrasiekonstante vir die data. Met die pas berekende konstante en die temperatuur afhanklike funksie (bereken vir die tweede temperatuur) kan die terminaal valsnelheid vir die tweede temperatuur bereken word deur weer eens gebruik te maak van vergelyking 3.4. Hierdie berekening is kompleks omdat die temperatuur afhanklike funksie 'n funksie is van die terminaalvalsnelheid van die korrels en dus moet iteratiewe metodes gebruik word. Hierdie aanpassingsvergelyking is getoets met data uit Sholji (1987) en toon goeie ooreenkomste.

3.3.6 Hidrouliese diameter

Die hidrouliese diameter (d_h) word gebruik vir die berekening van die hidrouliese sferisiteit asook in die modellering van die hidrouliese gedrag van die media in die bed. Hierdie eienskap van mediakorrels word numeries bepaal uit eksperimentele data en is reeds in paragraaf 2.2.1 bespreek. Soos met die aanpassing van die terminaal valsnelheid hier bo, word daar gebruik gemaak van vergelykings 2.3, 2.4 en 2.5.

Die terminaalvalsnelheid word bepaal soos in paragraaf 3.3.5 verduidelik. Alhoewel d_h onafhanklik is van temperatuur, is dit belangrik om temperatuur te meet omdat dit die viskositeit en digtheid van die water beïnvloed. Hierdie veranderlikes word in die berekening gebruik.

Dit is ook moontlik om van Allen se vergelyking vir die oorgangsvloei (vergelyking 2.6) gebruik te maak om d_h te bereken. Hier word ook van v_s gebruik gemaak in die berekening. In hierdie studie is die eersgenoemde berekeningsmetode verkies omdat dit gebruik word deur navorsers wat mediagedrag modelle ontwikkel.

Ives (1990) bereken 'n gemiddelde hidrouliese diameter uit die gemiddelde terminaalvalsnelheid van al die korrels wat uit een toetsmonster afkomstig is en doen dus die berekening een keer vir elke 20 korrels. Daar is besluit om in hierdie projek 'n hidrouliese diameter van elke korrel te bereken wat reeds getoets is vir terminaalvalsnelheid. Dit is gedoen met die oog op die sferisiteitsondersoek wat sou volg en hierin was dit nodig dat 'n behoorlike statistiese analise van die data gedoen word. Die hidrouliese ekwivalente diameter word gebruik om die hidrouliese sferisiteit te bereken.

3.3.7 Hidroulies ekwivalente sferisiteit (ψ_h)

Soos met die hidroulies ekwivalente diameter is die bepaling van die hidroulies ekwivalente sferisiteit 'n suiwer wiskundige oefening. Hier word gebruik gemaak van vergelyking 2.9. Die bespreking van die definisie word in paragraaf 2.2.2 gedoen.

Die sferisiteit word bereken deur gebruik te maak van die hidroulies ekwivalente diameter wat op sy beurt weer bereken word met die terminaalvalsnelheid van die korrels. Die akkuraatheid van die bepaling van hierdie eienskap is dus weer eens 'n funksie van voorafgaande toetse eerder as van die berekening self.

3.4 Kolomtoetse

Daar is twee groepe toetse wat van kolom opstellings gebruik maak. Die eerste is die ondersoek van die hidrouliese mediagedrag terwyl die tweede 'n ondersoek na die duursaamheid van die media is. Die duursaamheidstoets sal later in detail bespreek word.

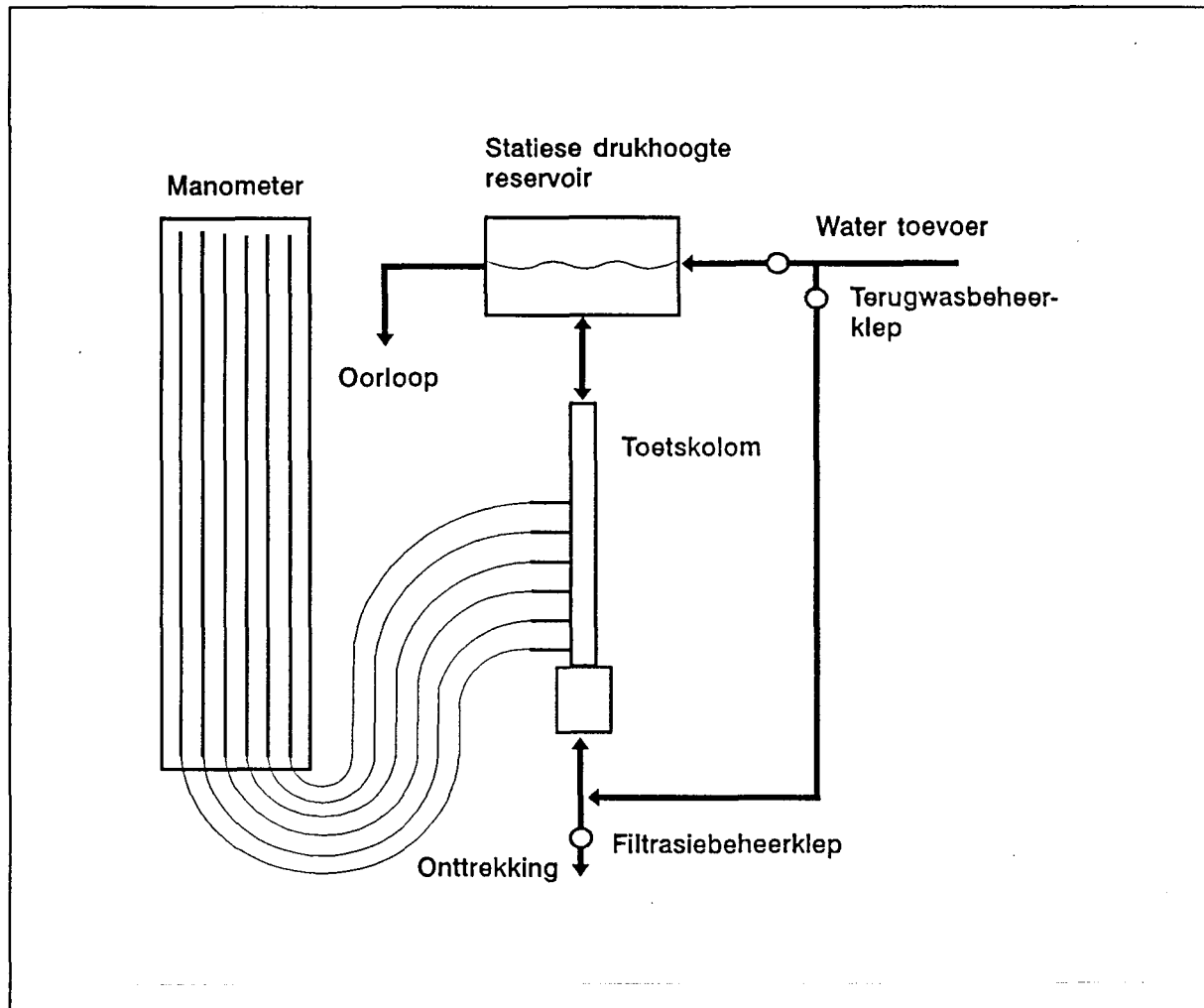
Die eerste groep toetse ondersoek die porositeit, oppervlakverhouding sferisiteit, minimum fluïdisasie en beduitsettingsgedrag van die media. Hierdie toetse kan opeenvolgend met dieselfde mediamonster gedoen sonder om die media uit die kolom te verwyder tussen toetse.

Daar is in hierdie ondersoek gepoog om ten minste 3 korrelgrootte intervale van elke mediaverskaffer te ondersoek. Die intervale was gekies as 500 - 600 μ m, 1000 - 1180 μ m en 1400 - 1700 μ m vir die silika, 500 - 600 μ m en 850 - 1000 μ m vir die Filterite en 1000 - 1180 μ m, 1400 - 1700 μ m en 2000 - 2360 μ m vir die antrasiet. Hierdie intervale is gekies omdat dit ooreenstem met die intervale wat reeds vooraf ondersoek is. Hierdie data is nodig om die kolomtoetsdata te analiseer.

Die media benodig vir elke ondersoek word vooraf uitgesif. Die media word dan in 'n kolom teruggewas vir 5 minute teen benaderd 20% beduitsetting om enige stof of ander vreemde materiaal uit die media te verwyder. Daarna word die media gedroog teen 110°C vir 24 uur. Nadat die media afgekoel het is dit geweeg tot op die tweede desimaal van 'n gram en in die toetskolom geplaas. Die media diepte in die toetskolom was gewoonlik 250 mm maar nooit minder as 150 mm nie.

'n Tipiese kolomopstelling word in figuur 3.1 skematies voorgestel terwyl die kolom self in figuur 3.2 in meer detail beskryf word.

Vir hierdie ondersoek het die stelsel bestaan uit 'n 44 mm deursnit perspex kolom wat 600 mm lank was, 'n statiese drukhoogte tenk en 'n manometer bord. Die kolom was



Figuur 3.1 Die kolomopstelling wat gebruik is in die mediagedragondersoek word in hierdie figuur getoon.

gevoer deur die statiese drukhoogte tenk tydens die bepaling van die sferisiteit van die media omdat dit die neem van akkurate en bestendige manometerlesings vereis het. Die vloeitempo is beheer met 'n vlotterklep aan die onderkant van die kolom.

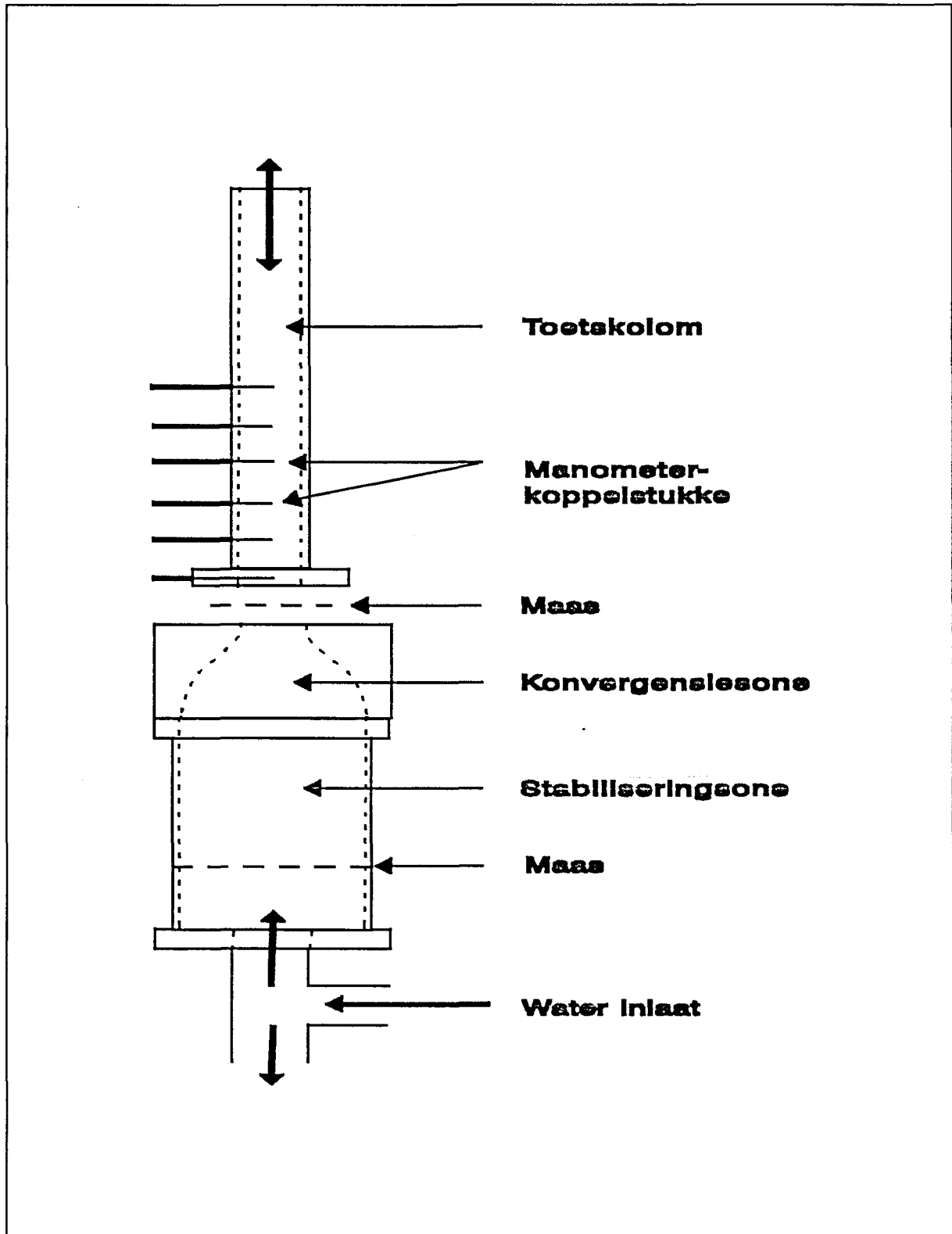
Tydens eksperimente waarin die bed teruggewas moes word, is die kolom van die munisipale netwerk gevoer. In hierdie geval het die afloopwater deur die statiese drukhoogte tenk uit die stelsel geloop en op hierdie manier is die druk konstant gehou. Die vloeitempo is met 'n sluisklep beheer. Hierdie is nie die beste stelsel nie maar die vloeitempo's verkry was konstant.

Die kolom kon maklik uit die stelsel verwyder word om media in of uit die kolom te kry. Die kolom het bestaan uit 'n vloeistabiliseringsone, 'n vloeikonvergensiesone, en die kolom self. Tydens terugwas is die water radiaal ten opsigte van die vloei rigting deur die media ingelaat om te voorkom dat spuitstrale die media uitermatig versteur. Hierdie inlaat 100 mm van die onderpunt van stabiliseringsone. Die water is met 'n 40 mm pyp na die stabiliseringsone gelei. Die stabiliseringsone was gemaak van perspex en het 'n diameter van 100 mm en 'n diepte van 180 mm gehad. 'n Maas met 2 mm openinge is 150 mm onder die bopunt van die sone geplaas om die watervloei verder te stabiliseer.

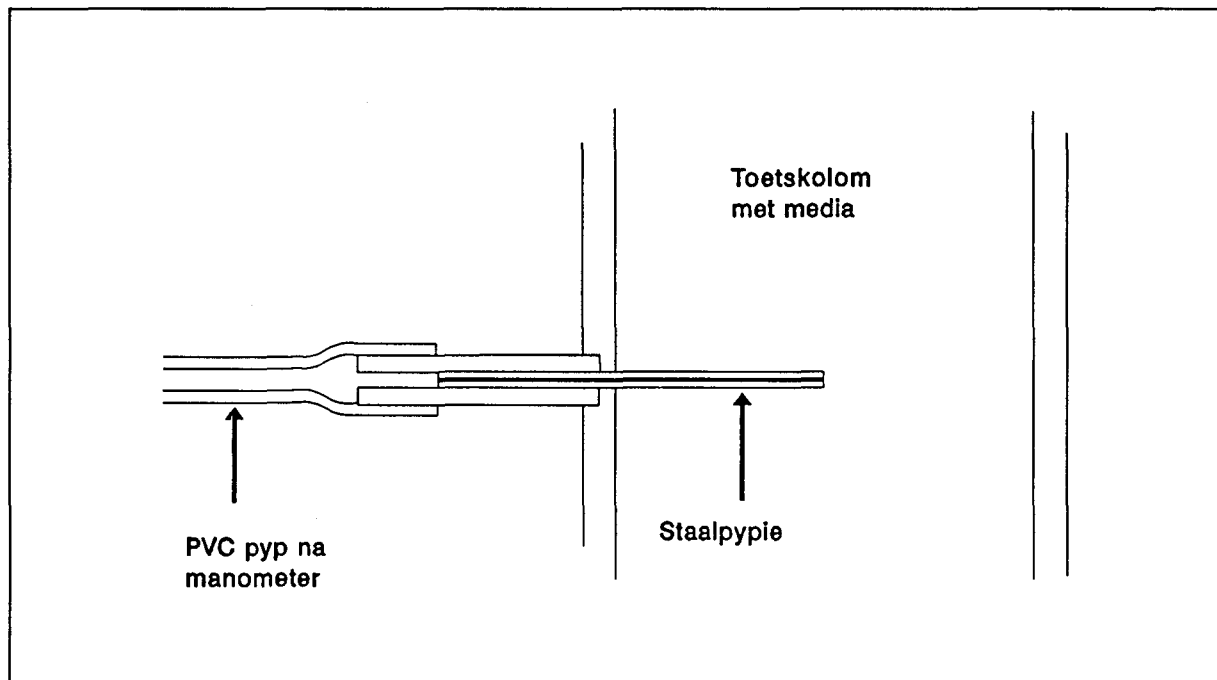
Die konvergensiesone is gedraai uit polivinielchloried plastiek en is so gevorm dat dit turbulensie minimiseer wanneer dit water lei van die stabiliseringsone na die kolom self. Die media is ondersteun op 'n 300 mm maas wat tussen die kolom en die konvergensiesone vasgeknyp is.

Die kolom is gemaak uit perspex en is van 6 manometerbuis koppelstukke voorsien. Die eerste koppelstuk was 4 mm bo die kolom maas geplaas en daarna is koppelstukke op 50 mm intervale van mekaar geplaas. Hierdie koppelstukke word in figuur 3.3 getoon. Die koppelstukke is so ontwerp dat die druk in die middel van die kolom gemeet word om die effek van die muur op die druk lesings te minimaliseer. Dit het bestaan uit 'n 4 mm binnediameter perspexbuis wat radiaal in die muur van die kolom gegom is. 'n Vlekvrye staal pypie met 'n binnediameter van 0,5 mm word in hierdie perspexpyp gegom en strek tot in die middel van die kolom. Die end van die pyp is afgerond.

Die manometer het bestaan uit 6 glasbuise met 6 mm binnediameter. Hierdie buise is langs die kolom opgestel en aan die kolom verbind met buigbare plastiek pype. Die hoogtes op die manometers is gelees deur die hoogte te vergelyk met maatbande wat aan beide kante van die manometers aan die manometerbord vasgesteek is.



Figuur 3.2 Die toetskolom



Figuur 3.3 Die manometerkoppelstuk.

3.4.1 Porositeit

Die porositeit van die mediamatriks het 'n groot invloed op die energieverlies deur die bed. Verder beïnvloed dit ook die resultate van die sferisiteitsbepaling. Die porositeit word egter maklik verander wanneer aan die toetskolom gestamp word en om hierdie rede is dit moeilik om 'n sekere porositeit te reproduseer. Die standaard is om die porositeit by minimum fluïdisasie (ϵ_{mf}) te gebruik tydens kolomtoetse en wiskundige modellerings. Hierdie porositeit word verkry wanneer die bed uitgeset word en dan toegelaat word om baie stadig te sedimenteer.

Die metode waarop porositeit in die kolom gemeet is, is soortgelyk aan die metode wat in paragraaf 2.2.5 bespreek is. Die media is in die kolom tot 150% uitgesit waarna dit toegelaat is om baie stadig te sedimenteer. Die diepte van die media word hierna gemeet. Die deursnit van die kolom is bekend en hiermee kan die totale volume (V_t) van die bed bereken word. Die digtheid (ρ_s) en die massa (m) van die media is reeds vooraf bereken en die porositeit kan bereken word met vergelyking 2.21.

Om akkuraatheid in hierdie ondersoek te verseker is hierdie prosedure 6 keer herhaal. Die ϵ_{mf} is geneem as die gemiddeld van hierdie 6 waardes.

3.4.2 Sferisiteit

Die oppervlakverhouding sferisiteit (ψ) kan bereken word met behulp van die Ergun-vergelyking (vergelyking 2.12). Die metode gebruik word beskryf deur Cleasby en Fan (1981) en word in paragraaf 2.2.4 bespreek.

In hierdie ondersoek is die eksperiment herhaal teen tussen drie en vyf verskillende filtrasie snelhede. Daar is begin met die hoogste filtrasie tempo omdat daar gevind is dat die bed effens konsolideer tydens filtrasie. Die porositeit vir hierdie eksperiment is bereken nadat die bed hierdie konsolidasie ondergaan het. Op die wyse is 'n konstante porositeit dwarsdeur die eksperiment verseker omdat die deurgaans laer vloeitempo's nie die bed porositeit verder verander het nie. Na elke verandering in vloeitempo is die opstelling 5 minute gegun om te stabiliseer.

Die vloeitempo van die water is bereken deur die tyd te meet wat nodig is om 'n 1 l maatsilinder te vul. Die gemiddeld van drie sulke metings is geneem as die vloeitempo. Die temperatuur van die water is etlike kere met verloop van die eksperiment genoteer. 'n Gemiddeld van hierdie temperature is gebruik tydens die analise van die data.

Die berekening van die sferisiteit is gedoen tussen elke twee manometerkoppelstukke. Dit beteken dat die eksperiment effektief 9 keer herhaal is vir 'n sandkolom 150 mm diep met 3 verskillende vloeitempo's tot 25 keer vir 'n bed 300 mm diep met 5 verskillende vloeitempo's. Die finale sferisiteit is geneem as die gemiddeld van al die eksperimente vir 'n gegewe monster.

3.4.3 Minimum fluïdisasie en beduitsetting

Die punt of snelheid van minimum fluïdisasie (v_{mf}) en beduitsetting word saam behandel omdat dit in een eksperiment ondersoek is. Die doel van hierdie toetse was bloot om data te genereer waarmee bestaande modelle getoets kan word en daarom is daar nie soseer gekonsentreer op herhaalbaarheid nie. Die groot hoeveelheid toetse wat gedoen is voorsien egter 'n mate van versekering.

Die mediamonster was eers teruggewas en toegelaat om te sedimenteer om ϵ_{mf} te verkry. Hierna is die diepte van die bed gemeet en die porositeit bereken. Die terugwasklep was hierna stadig oopgedraai. Die stelsel is ± 1 minuut gegun om te stabiliseer waarna die beddiepte, terugwas tempo en temperatuur gemeet is. Daar is drie metings van die vloeitempo gemaak waarvan die gemiddeld gebruik is analise van die data. Die terugwastempo is stadig verhoog en dieselfde prosedure as voorheen is gevolg. Hierdie proses is ten minste 5 keer vir elke mediatoets herhaal.

Die porositeite van die uitgesette bed is bereken en geplot. Uit die literatuur het dit geblyk dat Wen en Yu (1966) se model vir minimum fluïdisasie en Dharmarajah (1986) vir beduitsetting die mees gepaste modelle was. Hierdie modelle is bereken soos beskryf in 2.4.2 en 2.4.3 en is met die gemete data vergelyk.

3.4.4 Duursaamheid

Die terugwastoets beskryf deur Ives (1990) word beskou as die mees realistiese toets om 'n aanduiding te kry van die gedrag van filtermedia in 'n filterbed. Om hierdie rede is hierdie metode gebruik om die duursaamheid van die media te ondersoek.

'n Geweegde hoeveelheid media word in 'n kolom geplaas en teruggewas teen 'n tempo wat die media net fluïdiseer. Die korrels is in noue kontak wat veroorsaak dat die korrels teen mekaar skuur. Dit is belangrik dat die media nie oor-fluïdiseer word nie. Die water wat die terugwaskolom verlaat vloei deur 'n klein houer (1,5 ℓ) sodat

enige korrels wat uitwas deurdag dit byvoorbeeld aan lugborrels heg, gevang kan word. Die eksperiment word vir 100 uur volgehoud. Na hierdie periode word die media uit die kolom verwyder, gedroog en geweeg. Hierna word die verlies in die media bereken. Indien die verlies in die media meer as 3% is dit raadsaam om die inhoud van die klein houder te ondersoek omdat dit korrels mag bevat wat uitgespoel is met lugborrels. Die verlies van hierdie korrels word nie beskou as verlies as gevolg van attrisie nie. Dit is veral die geval met antrasiet, plastiek of ander materiaal met 'n lae digtheid, poreuse of hidrofobiese media.

'n Sifanalise van hierdie media na die toets word nie deur Ives (1990) voorgestaan nie omdat hierdie sifaksie die korrels verder kan lei tot die attrisie van media korrels en dus die resultate beïnvloed.

In hierdie ondersoek is een mediamonster met 'n grootte fraksie van 850 - 1000 μm van elke media bron vooraf uitgesif en in die kolom terug gewas teen v_{mf} vir vyf minute. Die media is gedroog tot konstante gewig voor dit vir die eerste keer geweeg is. Hierdie was noodsaaklik omdat die media van sommige bronne redelik baie stof bevat en indien die toets op die media in hierdie toestand gedoen sou word, dit die stof inhoud eerder as die attrisie verlies sal bepaal.

Omrede die terugwaskolom in hierdie toets gevoer is vanaf die munisipale netwerk, was dit deurentyd nodig om die terugwastempo dop te hou en te verstel. Die perspex kolom in hierdie ondersoek het 'n binnediameter van 34 mm gehad en was tot ongeveer 200 mm gevul met media vir elke toets.

3.5 Chemiese eienskappe van media

3.5.1 Suuroplosbaarheid

Die suuroplosbaarheidstoets word redelik algemeen gespesifiseer en die toetsprosedure is ook redelik standaard. Die verskille kom egter in by die suursterte

en die duurte van die toets. Die toets in hierdie ondersoek gebruik is die mees algemene toets en dit maak gebruik van 20% (per volume) HCl-oplossing vir 24 uur. Die prosedure word deur AWWA (1989) beskryf.

Na die mediamonster met gedistilleerde water gewas is, word dit in 'n oond teen $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ tot 'n konstante massa gedroog. Daar is gevind dat die media in hierdie ondersoek gewoonlik na 8 ure tot op konstante massa gedroog is maar daar word gewoonlik vereis dat die media vir 24 uur in die oond bly. Na die media in 'n desikkator afgekoel het, word dit tot die naaste 0,1% van die gewig van die monster geweeg. Vir die korrel groottes gebruik in hierdie ondersoek vereis AWWA (1989) 'n minimum monstergrootte van 100 g. Na die meting word die monster in 'n beker geplaas met genoeg HCl-oplossing om die media te onderdompel maar nooit minder as 320 ml nie. Die media word dan in die suur vir die vereiste tydperk gelos. Sommige spesifikasies vereis dat die temperatuur van die oplossing gekontroleer word op 20°C . Na die vereiste tydperk verstryk het word die suur versigtig afgegooi en word die media verskeie kere sorgvuldig met gedistilleerde water afgewas. Die monster word dan weer soos die vorige keer gedroog, afgekoel en geweeg. Die verlies in media word gerapporteer as persentasie suur oplosbare materiaal en die verlies word bereken met vergelyking 3.5.

$$\text{suuroplosbaarheid}(\%) = \frac{\text{gewigsverlies}}{\text{oorspronklike gewig}} * 100. \dots \dots \dots (3.5)$$

Die aanname is gemaak dat die chemiese samestelling van verskillende produkhope uit dieselfde myn benaderd onveranderd sou wees en dus dieselfde suuroplosbaarheid sal hê. Om hierdie rede is slegs een monster van elke myn getoets. Die grootte fraksie wat getoets is, was fraksies tussen die 850 μm en 1000 μm siwwe.

Om herhaalbaarheid te verseker is die toets in hierdie ondersoek drie keer op elke media monster gedoen en die resultate is statisties ondersoek met die Q-toets (Fritz en Schenk, 1979). Uitskieters is verwerp en die gemiddeld van die oorblywende toetse is geneem as die suur oplosbaarheid van die monster.

3.5.2 Basisoplosbaarheid

Die basis oplosbaarheid is gedoen en is onderwerp aan dieselfde statistiese analise as die suuroplosbaarheidstoets. Die verskil synde die gebruik van 'n 2% (per massa) oplossing NaOH in plaas van HCl.

3.5.3 Chemiese samestelling van silikasand

Die silika inhoud van filtersand word redelik algemeen in spesifikasies gestel. Die metode waarop hierdie toets in die laboratorium gedoen kan word is reeds in paragraaf 2.3.1 bespreek. In hierdie projek is besluit om eerder gebruik te maak van die dienste van 'n kommersiële laboratorium.

Een monster van elke silika myn is getrek voor die media deur die gleufmonsterverdeler gestuur is om moontlike kontaminasie van die media deur ystervylsels en verf te voorkom. Daar moet egter in gedagte gehou word dat die media reeds deeglike verwerking op die myne self ondergaan het wat die moontlikheid van kontaminasie van die rou mediamateriaal dus nie uitsluit nie. Die media monsters is na die laboratorium gestuur waar dit deur middel van X-straalfluoresensie ondersoek is. 'n Volledige chemiese analise van die media is terug ontvang en die resultate is vergelyk met dié wat van die myne self verkry is.

HOOFSTUK 4 - RESULTATE EN BESPREKING

Om te bepaal watter van die verskillende media toetse en spesifikasies op Suid-Afrikaanse filtermedia toegepas kan word, is hierdie toetse in detail ondersoek. Die oefening het ook die geleentheid gebied om tipiese resultate vir Suid-Afrikaanse media te genereer. Verder is verskeie wiskundige modelle ondersoek. Hierdie hoofstuk behandel die resultate wat uit die verskillende ondersoeke verkry is. Waar moontlik word gevolgtrekkings saam met die bespreking van die data gemaak. Die hoofstuk sluit af met 'n paar opsommende gedagtes.

4.1 Besoeke aan plaaslike mediaprodusente

Silikasand is die mees algemene mediatipe wat in Suid-Afrika gebruik word en verder word silikasand in heelwat ander industriële prosesse gebruik. Om die rede is daar heelwat meer myne wat silika verskaf as alternatiewe mediatipes. Ses silikamyne is ondersoek terwyl daar slegs twee ander bronne van alternatiewe plaaslike media opgespoor kon word, naamlik een vir antrasiet en een vir Filterite.

Die silika bronne wat ondersoek is, verteenwoordig die drie hoof silika produserende streke in die land. Vir die doel van hierdie verslag sal na die myne verwys word as Myne A tot F. Myne A en C is in die Delmas omgewing, Myne B, D en F is in die Brits omgewing terwyl Myn E in die Kaapse Vlakte geleë is. Besoeke is gebring aan Myne A, B, C, D en F.

Myn A ontgin 'n silika neerslag wat oor die algemeen redelik goed verweer is. Die silika moederrots uit hierdie myn is in meeste gevalle bros, maar word minder bros algaande dieper gemyn word. Die moederrots bestaan uit goed gedefinieerde enkelkorrels. Die nadeel van hierdie effens verweerde moederrots is dat daar heelwat kleierige materiaal tussen die korrels voorkom maar dit kan maklik uitgewas word. Die sand uit hierdie myn word hoofsaaklik verkies deur ontwerpers wat die gebruik van effens ronder korrels voorstaan. Na die moederrots ontgin word, word dit vergruis

met meulens ("*jawcrushers*") en ook gewas. Die media word gedroog en gesif tot op die vereiste graderings.

Myn B gebruik 'n ou rivierloop as silikabron. Die sand wat in hierdie rivierloop voorkom blyk verweerde materiaal uit die Magaliesberge te wees. Rou materiaal word uit die rivierloop geskep en bruikbare sand word dan "nat" uitgesif. Dit is te verwagte dat hierdie myn redelik baie fynstof saam met die media kry en dit maak die media redelik vuil. Net soos met Myn A, is hierdie media redelik ronde enkel korrels.

As gevolg van die hoë suiwerheidsgraad van hul silika, voorsien Myn C hoofsaaklik hulle media aan die glasbedryf. Die moederrots in hierdie myn is glad nie verweer nie en in sommige klippe is dit onmoontlik om tussen individuele silika korrels te onderskei. Dit is wel onderskeibaar in die boonste lae van die myn. Om silika korrels te produseer moet die moederrots verskeie keer vergruis word. Die resultaat hiervan is meer skerfagtige korrels as wat in die vorige twee myne opgelewer is. Die media is besonder skoon. By hierdie myn word die media nie vir filtrasie doeleindes verwerk nie. Filtermedia kan egter verkry word deur van die siwwe op die aanleg te vervang. Myn D moet, net soos Myn C, hul moederrots vergruis om media van bruikbare grootte te verkry en soos met die vorige myn is die media skoon omdat dit nie baie verweer is nie, en skerfagtig omdat die moederrots nie uit enkelkorrels bestaan nie. Die aanleg maak van hidrouliese metodes gebruik om die eerste korrelgrootteverdeling te doen terwyl die media finaal gesif word nadat dit gedroog is. Die gebruik van hidrouliese skeiding verseker dat die myn se media redelik stofvry is.

Myn E is die myn wat by ver die mees geronde korrels lewer. Hierdie silika is 'n eoliese neersetting van verweerde Tafelberg sandsteen. Die sand word met baggermeulens van onder 'n lae watertafel gemyn en word ook op die oppervlak met grondwerktuie geskep. Die verwerking van hierdie media is verder soortgelyk aan die van Myn D. Hierdie media is besonder skoon.

Die laaste myn, Myn F, ontgin sy media uit beide verweerde en minder verweerde moederrots. Die silika neerslag is erg geplooi en die rots in die plooi self het herkristaliseer. Hier is enkel silika korrels sigbaar terwyl dit nie sigbaar is tussen plooië nie. Die media word vergruis, gewas en dan droog gesif voor dit verpak word. Die oppervlak van hierdie korrels bestaan meestal uit skerfvlakke en die media self is redelik skoon.

Die antrasiet en Filterite myne is nie besoek nie. Mediamonsters van hierdie myne is egter wel ontvang en is saam met die silika ondersoek.

Verteenwoordigende mediamonsters is verkry van al die bogenoemde silika myne. Daar is gepoog om by elke myn al die graderings te toets wat vir filtermedia aangewend kan word. Die media wat getoets is word in tabel 4.1 gelys met die myn waar dit vanaf kom, die benaderde kleiner as 5% en groter as 95% korreldiametergrense, en die verwysingsnommer waarmee dit geïdentifiseer sal word in hierdie verslag.

'n Bekende ingevoerde antrasiet is tydens hierdie projek evalueer. Die doel hiermee was om dit moontlik te maak om die plaaslike antrasiet te kan vergelyk met media wat wyd gebruik word.

Onderhoude met die verskaffers het aan die lig gebring dat media tans in die meerderheid van gevalle slegs aan die hand van 'n grootte spesifikasie en uniformiteitskoëffisiënt gespesifiseer word wanneer bestellings geplaas word. In uitsonderlike gevalle het die ontwerpers korrelvorm voorkeure. Hierdie eienskap word egter nie kwantitatief gespesifiseer nie. Om hierdie rede onderwerp die verskaffers hulle media hoofsaaklik net aan deurlopende partikel grootte analyses. Die silika inhoud van die sand word ook ondersoek. Oor die algemeen word nie vereis dat media aan een of ander algemeen aanvaarde spesifikasie moet voldoen nie.

Tabel 4.1
Mediamonsters geëvalueer in hierdie ondersoek.

Myn	$d_s - d_{95}$	Verwysing
Myn A	0,40-1,00	A1
	0,50-1,10	A2
	0,60-1,35	A3
	0,70-1,40	A4
	0,80-1,40	A5
	0,85-1,95	A6
	1,20-±2,50	A7
Myn B	0,25-1,20	B1
	0,70-2,00	B2
Myn C	0,25-1,40	C1
	0,25-2,40	C2
	0,00-0,60	C3
	0,00-0,40	C4
Myn D	0,35-0,80	D1
	0,50-1,10	D2
	0,55-1,10	D3
	0,45-1,50	D4
	0,90-1,60	D5
	1,50-2,50	D6
Myn E	0,45-1,20	E1
	0,50-1,40	E2
Myn F	0,60-1,20	F1
	0,80-1-80	F2
Plaaslike Antrasiet	0,71-1,60	Tipe 1
	0,80-2,30	Tipe 2
	2,00-4,75	Tipe 3
Ingevoerde Antrasiet	0,85-1,40	HA
Filterite	0,50-0,90	Filterite

Uit gesprekke met ontwerpers het dit ook duidelik geword dat hulle in meeste gevalle hul bestellings by verskaffers plaas as gevolg van aanvaarbare diens wat in die verlede aan hulle gelewer is, eerder as die eienskappe van die media self.

Die media wat deur die myne geskenk is, is na die laboratorium geneem waar dit in detail ondersoek is.

4.2 Visuele inspeksie

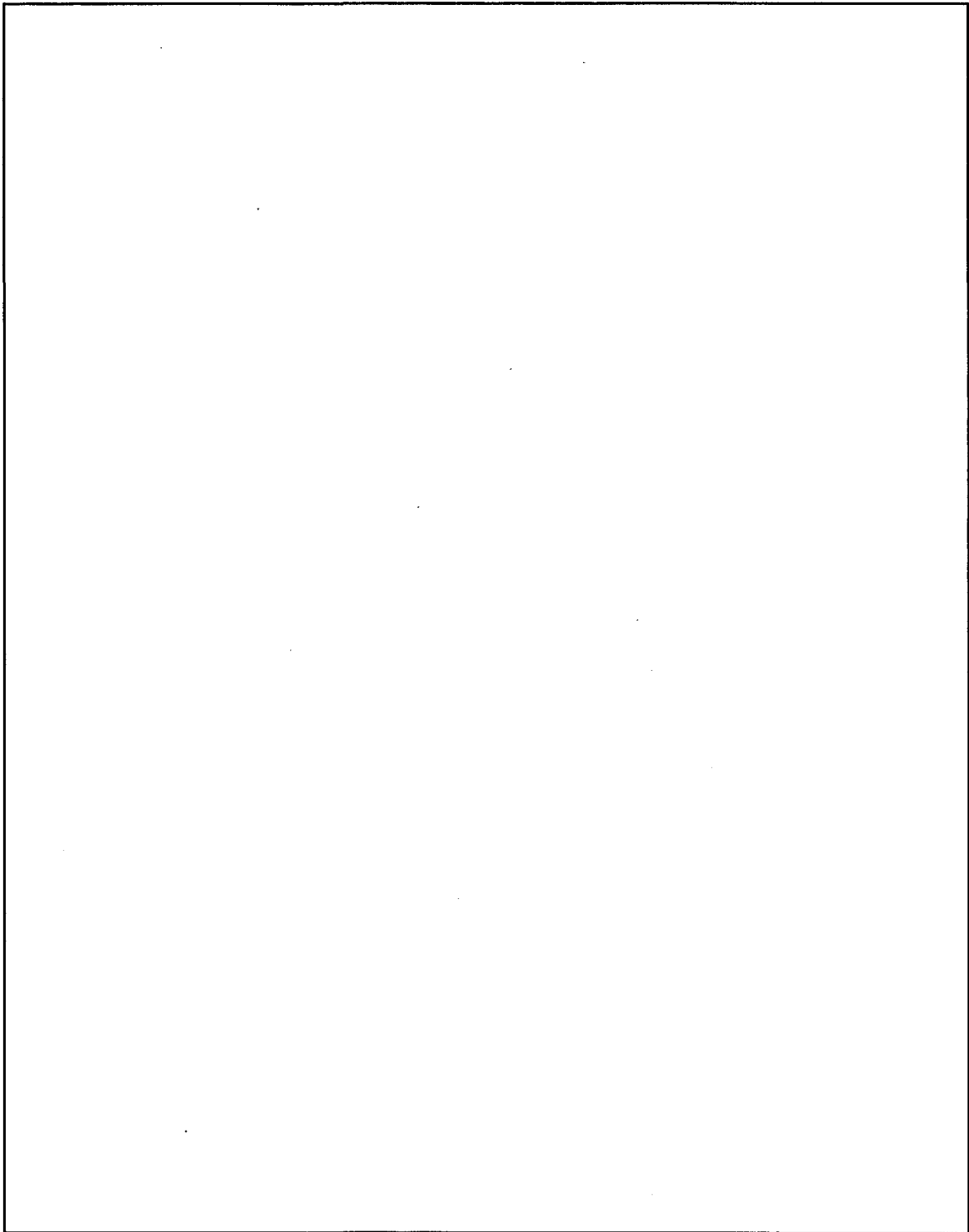
Die eerste ondersoek waaraan die media onderwerp is, was 'n visuele inspeksie. Elkeen van die monsters wat van die myne verkry is, is ondersoek en tipiese resultate sal kommentaar oor die volgende eienskappe insluit:

- die mediatipe en kleur,
- die skoonheidsgraad van die media,
- die uniformiteit van die korrels in die monsters,
- die oppervlak van die korrels, en
- die korrelvorm (visuele sferisiteit) volgens Fair, Geyer en Okun (1968).

In hierdie ondersoek is foto's van die media deur 'n stereomikroskoop geneem. Figuur 4.1 toon van twee van hierdie foto's. Wat opvallend is, is die geweldige verskil wat tussen monsters kan voorkom. Beide monsters hier getoon is van die grootte fraksie 0,50 mm - 0,60 mm.

Die visuele inspeksie van media is noodwendig subjektief. Daar is egter wel 'n paar algemene stellings wat van plaaslike media na afloop van hierdie ondersoek gemaak kan word.

Die media, veral die monsters wat in 'n redelik verweerde vorm gemyn word, neig om stowwerig te wees. Die stof kan toegeskryf word aan die feit dat die media nie genoeg gewas word tydens verwerking nie, sowel as attrisie tydens vervoer. Alhoewel stowwerigheid sekerlik nie 'n kritiese probleem is nie (die stof kan maklik in 'n filterbed uitgewas word), lê verbruikers se voorkeur natuurlik by skoner media en sommige spesifikasies, bv. KIWA, vereis dat die media stofvry is wanneer dit versend word. Die terugwastoets sal uitwys of die stowwerigheid toegeskryf kan word aan attrisie of nie.



Figuur 4.1: Tipiese silika filtermedia soos gesien deur 'n stereomikroskoop. Die ronder media se oppervlaksferisiteit is 0,80 terwyl die ander 0,65 is.

Die korrels het met een uitsondering, almal óf redelik growwe óf skerf oppervlakke, en soos verwag kan word hou die oppervlaktekstuur van die korrels verband met die vlak van verwering en die verwerking van die media. Oor die algemeen het die minder verweerde materiaal meer vergruising nodig en is hulle vlakke meer skerfagtig as die meer verweerde materiaal.

Gekoppel aan die vlak van verwering en gepaardgaande verwerking van die media, is die korrelvorm. Dit kom voor asof die meer verweerde materiaal 'n hoër sferisiteit as die minder verweerde media het. Dit is egter moeilik om op hierdie stadium definitiewe gevolgtrekkings te maak omdat die visuele sferisiteitsbepaling besonder subjektief is en meer inligting uit die meer analitiese sferisiteit toetse verkry sal word. Die inspeksie toon dat die sferisiteite merkbaar van korrel tot korrel binne die monster verskil.

Dit is belangrik om dus te besef dat analyses wat meer as een korrel gelyktydig gebruik om korrelvorm te bepaal dus gemiddelde eerder as presiese waardes van sferisiteite vir 'n monster sal gee. Dit kom voor of die media oor die algemeen meer skerfagtig as rond is. Die gebruik van hierdie sferisiteit toetsmetode op plaaslike media kan bevraagteken word omdat dit blyk asof die meerderheid van die korrels effens skilferagtig is.

Die kleur van silika strek van deursigtig tot ondeursigtig wit. Daar was donker vlekke wat op meeste van die silika monsters opgemerk, op sommige monsters meer as ander. Hierdie vlekke mag Fe_2O_3 wees. Dit lyk egter nie of dit ernstig is nie en die chemiese analise van die silika sal die ystervlakke in die media aantoon. Die kleur van die plaaslike antrasiet is effens dowwer as die van ingevoerde antrasiet. Verder bevat die ingevoerde antrasiet heelwat minder stof as wat plaaslik die geval is.

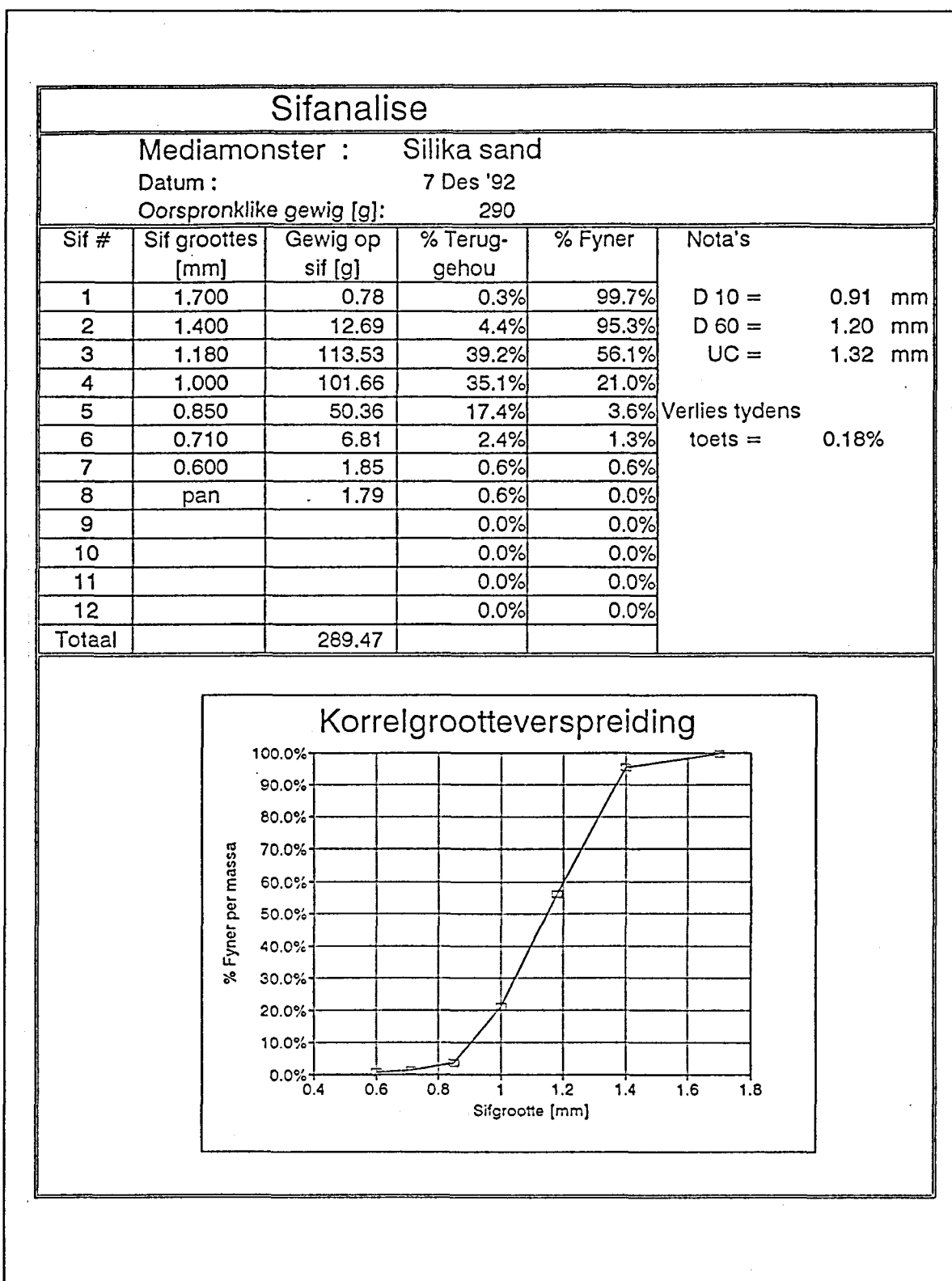
Die visuele inspeksie van media is waardevol omdat dit 'n aanduiding gee van wat verder in die ondersoek verwag kan word.

4.3 Sifanalises

Die visuele inspeksie van media is opgevolg met 'n sifanalise van al die media wat van die myne ontvang is. Tipiese resultate word in figuur 4.2 gerapporteer. Die databladsy is saamgestel in die formaat van 'n standaard korrelgrootte verspreiding verslag en vervat die volgende inligting:

- die mediamonsternaam,
- die gewig van die media voor die analise,
- die sifgroottes wat gebruik is in die analise,
- die gewig van die media, asook die persentasie van die totale monster per massa, wat op elk van die siwwe teruggehou is na afloop van die toets,
- die massa persentasie media deur elke sif gelaat,
- d_{10} , d_{60} en UC vir die analise,
- die media verliese wat bereken is deur die oorspronklike media gewig te vergelyk met die som van die media gewigte teruggehou op die siwwe, en dan laastens
- 'n grafiese voorstelling van die korrelgrootte verspreiding soos dit in die analise gemeet is.

Die belangrikste resultate uit hierdie ondersoek word in tabel 4.2 opgesom. Die resultate is vergelyk met die data wat deur die verskaffers vir dieselfde mediamonsters gegee is. Alhoewel daar in die algemeen redelike ooreenstemming was tussen die twee datastelle, is daar wel afwykings gevind. Hierdie afwykings kan aan hoofsaaklik twee redes toegeskryf word. Die eerste is die verskil aan toetsapparaat en toetsprosedures. Hierdie is belangrike aspekte en is reeds in die literatuurstudie bespreek. Die tweede rede is die inherente afwykings wat voorkom tussen enige twee mediamonsters uit dieselfde groef. Dit is hoogs onwaarskynlik dat twee opeenvolgende monsters presies dieselfde resultate sal lewer in opeenvolgende analyses. Dit is onbekend wat 'n tipiese variasie sal wees en dit is ook nie hier ondersoek nie.



Figuur 4.2: Tipiese sifanalise data.

Daar is egter gevind dat sommige van die waardes wat produsente rapporteer vir d_{10} en UC en die korrelgrootte graderingskrommes wat op dieselfde verslag voorkom, nie ooreenstem nie. Tabel 4.3 toon drie sulke voorbeelde.

Soos met enige ander eksperiment kan daar met die meet en rapportering van sifanalise data ook foute insluip. Om hierdie rede is dit raadsaam om die waardes van d_{10} en UC vlugtig na te gaan wanneer data van 'n sifanalise bestudeer word.

Omrede die keuse van d_{10} deur byna al die spesifikasies aan die ontwerper oorgelaat word, word net die UC van nader beskou. Die volgende stellings kan gemaak word. Die eerste hiervan is dat die gemete UC is oor algemeen redelik hoog is. Daar kan wel gesê word dat sommige spesifikasies UC so hoog as 1,8 toelaat, maar dit is duidelik dat die gemiddelde vereiste veel laer lê. 'n Waarde van 1,3 tot 1,4 behoort maklik haalbaar te wees vir verskaffers en sal meeste ontwerpers tevrede te stel. 'n Aantal van die monsters bestudeer in hierdie ondersoek voldoen reeds aan hierdie vereiste.

Verder is dit dan ook so dat alhoewel sommige monsters redelik stowwerig was, dit nie lyk asof hierdie stowwerigheid die sifanalise noemenswaardig beïnvloed het nie. Myne A en B sowel as die antrasiet was oor die algemeen die 'vuilste'. Die verwagting sou dus wees dat die mediamonsters vanuit hierdie myne buitengewoon groot persentasies materiaal in die pan sou hê wat dan laer d_{10} en hoër UC-waardes sou beteken.

Dit blyk egter nie so te wees nie en die rede hiervoor is dat die stof wat aan die korrels vas is voor die sifanalise nie deur die sifaksie van die korrels afkom nie. Hierdie stof word egter wel verwyder wanneer die media in 'n filterbed geplaas word en teruggewas word.

Tabel 4.2
Opsommende data vir sifanalises.

Mediamonster	Eksperimentele data uit hierdie ondersoek		Data voorsien deur verskaffers	
	d_{10}	UC	d_{10}	UC
A1	0,51	1,53	0,50	$\pm 1,30$
A2	0,56	1,52	0,60	$\pm 1,30$
A3	0,75	1,60	0,70	$\pm 1,30$
A4	0,79	1,34	0,80	$\pm 1,30$
A5	0,91	1,32	0,95	$\pm 1,30$
A6	1,08	1,32	-	-
A7	1,55	1,42	-	-
B1	0,97	1,46	-	-
B2	0,28	2,36	-	-
C1	0,37	1,37	0,25	1,48
C2	0,30	3,50	-	-
C3	-	-	0,12	2,50
C4	-	-	0,09	1,88
D1	0,43	1,33	0,43	1,40
D2	0,64	1,38	0,58	1,22
D3	0,73	1,30	0,74	1,24
D4	0,63	1,62	0,63	1,50
D5	1,00	1,28	0,95	1,30
D6	1,50	1,29	-	-
E1	0,58	1,55	0,55	1,53
E2	0,55	1,58	-	-
F1	0,68	1,35	0,70	$< 1,50$
F2	1,10	1,24	1,00	$< 1,50$
Tipe 1	0,80	1,51	-	-
Tipe 2	1,03	1,62	-	-
Tipe 3	2,35	1,60	-	-
HA	0,88	1,34		
Filterite	0,52	1,38	-	-

Tabel 4.3
Afwykinge in data ontvang van verskaffers.

Mediamonster	Data ontvang van verskaffers.		Waardes herbereken uit dieselfde analyses ontvang van die verskaffers.	
	d_{10}	UC	d_{10}	UC
1	0,78	1,40	0,63	1,50
2	0,9 - 1,0	< 1,40	0,76	1,30
3	0,42	1,50	0,35	1,31

Die d_{10} en UC-waardes vir die ingevoerde antrasiet is onderskeidelik 0,88 en 1,34. Die UC is aansienlik beter as verkry in plaaslike antrasiet. Van hier af aan sal slegs Tipe 2 plaaslike antrasiet ondersoek word.

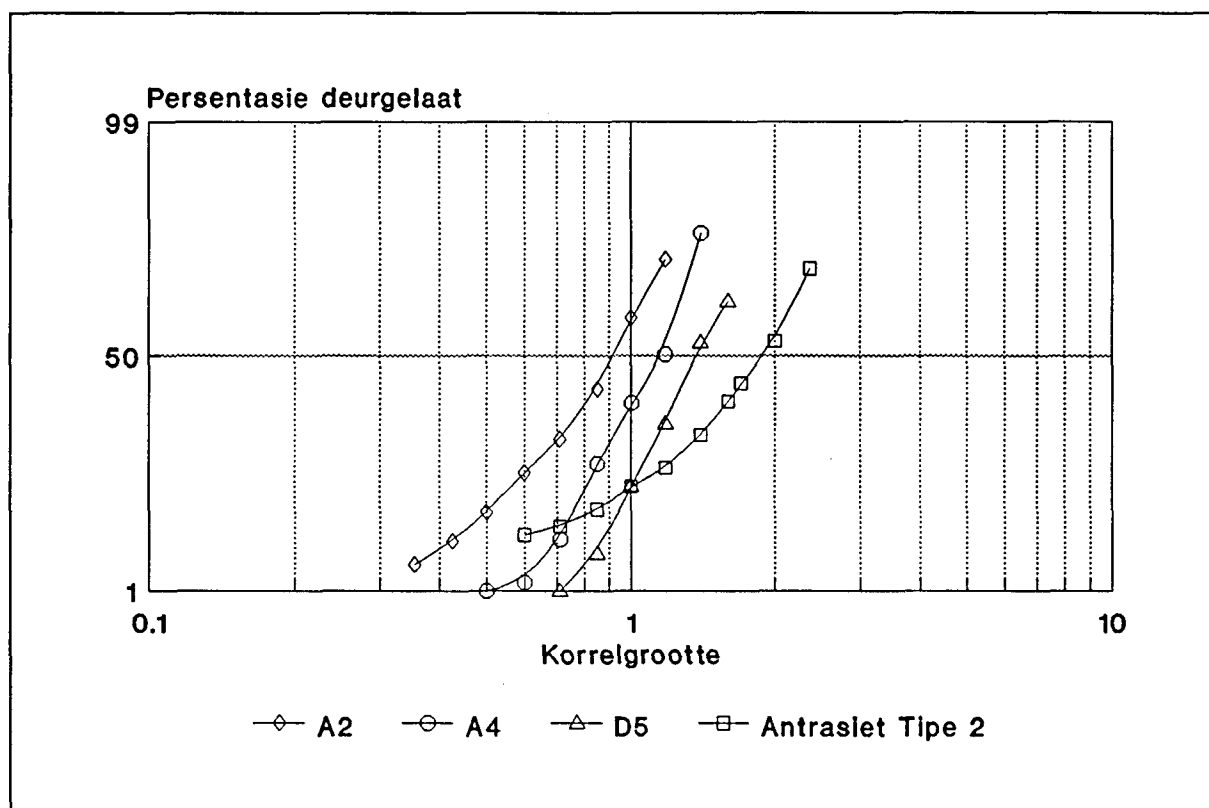
AWWA (1990) se stelling dat sifanalises reglynig plot op log-waarskynlikheidsassestelsels is ondersoek vir plaaslike media. Vier mediamonsters se sifanalises is hiervoor gebruik. Hulle is:

- silikasand A2 (UC = 1,52),
- silikasand A4 (UC = 1,34),
- silikasand D5 (UC = 1,28), en
- plaaslike antrasiet tipe 2 (UC = 1,62).

Die data uit die sifanalises is geneem en op 'n log-waarskynlikheidsassestelsel geplot. Die resultate word in figuur 4.3 getoon.

Die figuur toon dat die twee mediamonsters met laer uniformiteitskoëffisiënte meer reglynig plot as die ander twee monsters. Die twee lae UC-waarde monsters se plot vergelyk goed met soortgelyke figure deur AWWA (1990) gepubliseer.

Kortliks wil dus voorkom of AWWA (1990) se vergelyking (vergelyking 2.8) vir d_{90} met vrymoedigheid gebruik kan word gegee dat die UC-waardes van die media kleiner as 1,4 is. Dit bly egter raadsaam om eerder sifanalisedata te gebruik as om metodes soos hierdie te gebruik om te ekstrapoleer na ander korrelgroottes.



Figuur 4.3: Sifanalise data geplot op 'n log-waarskynlikheid assestelsel

Die sifanalise is met reg die belangrikste toets waaraan media onderwerp moet word. Die mediabedryf is bewus hiervan en sifanalises word op 'n gereelde grondslag deur verskaffers en ontwerpers gedoen. Daar bly egter in die verwerkingsprosedures van sommige myne ruimte vir verbetering om korrelgrootte verspreidings binne aanvaarbare perke te bring.

4.4 Digtheid

Soos reeds voorheen bespreek is daar verskeie metodes om die digtheid van media te bepaal. Die digtheidsbotteltjie is die mees akkurate metode, maar dit kan tydsaam wees om hierdie toets te doen, veral indien 'n aantal van hierdie toetse gedoen word. Hierdie metode is met die DIN-metode vergelyk omdat hierdie metode vinniger en makliker is. 'n Mediamonster is willekeurig gekies en vier keer met elk van die metodes getoets. Die resultate word in tabel 4.4 weergegee.

Uit hierdie vergelyking is dit duidelik dat daar nie 'n noemenswaardige verskil in resultate is nie. Die persentasie verskil tussen die twee gemiddelde is 0,8%. Gegrond op die bevinding dat die resultate nie noemenswaardig verskil nie, en dat die DIN-metode aansienlik makliker en vinniger is om toe te pas, is besluit om hierdie metode verder in die ondersoek te gebruik.

Tabel 4.4
Vergelykende digtheidsresultate

Toets	Digtheidsbotteltjie	DIN-metode
1	2626 kg.m ⁻³	2654 kg.m ⁻³
2	2615 kg.m ⁻³	2664 kg.m ⁻³
3	2634 kg.m ⁻³	2636 kg.m ⁻³
4	2639 kg.m ⁻³	2646 kg.m ⁻³
Gemiddeld	2629 kg.m ⁻³	2650 kg.m ⁻³

Die tweede vraag wat beantwoord moet word, is of dit noodsaaklik is om die plaaslike antrasiet te onderwerp aan 'n vakuum soos deur sekere spesifikasies vereis word. Die drie antrasietprodukte wat van plaaslike verskaffers verkry is, is op beide die DIN- en vakuummodes getoets en die vergelykende data word in tabel 4.5 gerapporteer.

Tabel 4.5
Vergelyking van digtheidstoetse vir poreuse media

Toets	Vakuum-metode	DIN-Metode
1	1429 kg.m ⁻³	1449 kg.m ⁻³
2	1429 kg.m ⁻³	1410 kg.m ⁻³
3	1471 kg.m ⁻³	1417 kg.m ⁻³
Gemiddeld	1443 kg.m ⁻³	1425 kg.m ⁻³

In hierdie ondersoek is die verskil in gemiddeldes 1,3%. Hierdie verskil behoort nie 'n beduidende verskil te weeg te bring wanneer hierdie data in wiskundige analyses gebruik word nie. Die verskillende toetse wys dus ook in hierdie ondersoek nie noemenswaardige verskille nie.

Die digthede van elk van die mediamonsters wat van die verskillende verskaffers verkry is, is bepaal deur die gemiddeld van twee toetse te neem. Die gemiddelde mediadigtheid van 'n gegewe myn is dan bepaal deur die gemiddeld van al die monsters van daardie myn te neem. Tabel 4.6 toon die finale gemiddelde media digthede van elk van die media bronne wat ondersoek is.

Tabel 4.6
Gemiddelde digthede vir plaaslike media

Mediamonster	Gemiddelde Digtheid
Myn A	2631 kg.m ⁻³
Myn B	2627 kg.m ⁻³
Myn C	2641 kg.m ⁻³
Myn D	2629 kg.m ⁻³
Myn E	2625 kg.m ⁻³
Myn F	2623 kg.m ⁻³
Plaaslike Antrasiet	1443 kg.m ⁻³
Ingevoerde Antrasiet	1400 kg.m ⁻³
Filterite	3175 kg.m ⁻³

In die ondersoek is gevind dat opeenvolgende toetse gedoen op dieselfde mediamonster verskille van tot 2,5% in digtheid toon. Dit kom voor asof die verskil tussen die resultate van die verskillende toetsmetodes binne hierdie grense van herhaalbaarheid val. Dit wil sê dat vir die verskillende toetsmetodes ondersoek, die een metode nie noodwendig meer akkuraat as die ander is nie.

Daar is ook verskille in die digthede van die silikamonsters van verskillende myne opgemerk. Hierdie verskille blyk nie statisties beduidend te wees nie omdat die verskil tussen die gemiddelde digthede van die verskillende myne selfs minder is as die 2,5% wat opgemerk is in opeenvolgende toetse op dieselfde monsters, met ander woorde, vir die resultate uit hierdie ondersoek is die verskille tussen monsters kleiner as die resolusie van die toetsmetode. Die grootste verskil is 'n verskil van 0,7% tussen Myn C en Myn F.

Die gemiddelde digthede vir al die silikamyne is 2632 kg.m^{-3} , die antrasiet is 1443 kg.m^{-3} en vir die Filterite is dit 3175 kg.m^{-3} . Hierdie waardes vergelyk goed met ander gepubliseerde waardes. Die digtheid van plaaslike antrasiet is soortgelyk aan die afkomstig uit Wallis (1400 kg.m^{-3}), Pearson (1991) rapporteer 'n SG van 3,23 ($\pm 3230 \text{ kg.m}^{-3}$) vir Filterite en die digtheid van silikasand word algemeen aanvaar as 2650 kg.m^{-3} .

Al drie die gemiddelde waardes bepaal in hierdie ondersoek verskil weer eens met minder as 2% van die reeds gepubliseerde data van ander navorsers. Verder voldoen al die silika monsters wat getoets is aan al die digtheidsvereistes wat deur internasionale spesifikasies gestel word. Die Amerikaanse standaard is al spesifikasie wat 'n vereiste aan antrasiet digtheid stel en die plaaslike media voldoen hieraan. Die plaaslike antrasiet digtheid stem ook baie goed ooreen met die digtheid van die ingevoerde media waarvan die digtheid in hierdie ondersoek as 1400 kg.m^{-3} bepaal is. Daar bestaan geen vereiste vir digthede vir ander mediatipes nie.

Dit is duidelik dat die toets vir mediadigtheid 'n goed gevestigde toets is met duidelike herhaalbaarheid. Die vraag ontstaan egter hoekom dit dan noodsaaklik sal wees om hierdie toets te doen as dit dan wil voorkom of die data nie beduidend verskillend is van reeds gepubliseerde resultate nie. Die rede hiervoor is dat dit digtheidstoets die teenwoordigheid van granulêre onsuiverhede met ander digthede maklik sal uitwys.

4.5 Ekwivalente diameter

Soos reeds genoem word die ekwivalente diameter (d_{eq}) van mediakorrels benodig vir wiskundige modelle van mediagedrag. Daar bestaan geen vereiste waaraan hierdie media eienskap moet voldoen nie maar dit is van kardinale belang om dit te bepaal.

Alhoewel d_{eq} vir al die verskillende mediamonsters getoets is, was dit nie moontlik om hierdie toets te herhaal vir alle grootte fraksies van hierdie monsters nie. Daar is besluit om slegs sekere fraksies te toets wat die hele spektrum van korrelgroottes sou

verteenwoordig. Die groottefraksies wat getoets is word in paragraaf 3.3.4 genoem en die resultate word tabel 4.7 gerapporteer.

Die tabelle toon die bepaling van die ekwivalente diameters soos dit vir elk van die mediamonsters op verskeie korrelgrootte intervale gedoen is. Die ekwivalente diameter (d_{eq}) van media korrels kan bereken word met behulp van vergelyking 3.3. 'n Berekeningsvoorbeeld word hier getoon.

Hierdie voorbeeld gebruik die data wat gegenereer is vir monster A1 (500-600 μm). 'n Honderd korrels is afgetel en die massa daarvan is gemeet as 0,029 g. Die media digtheid is vooraf bepaal as 2635,2 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Hierdie waardes word nou in vergelyking 3.3 vervang.

$$d_{eq} = \sqrt[3]{\frac{3.0,029E-3}{50 \cdot \pi \cdot 2635,2}} = 0,00059 \text{ m}$$
$$d_{eq} = 0,59 \text{ mm}$$

Die ekwivalente diameter vir A1 is dus 0,59 mm.

Die tabelle toon die volgende vir elk van die toetse wat gedoen is:

- die korrelgrootte interval wat ondersoek is,
- die monsternaam,
- die gewig van 100 korrels,
- die digtheid van die media monster en dan
- die ekwivalente diameter of MESD (mean equivalent spherical diameter) vir daardie monster soos bepaal in hierdie toets.

Tabel 4.7
Tipiese resultate vir ekwivalente diameter.

0,5 - 0,6 mm		1,0 - 1,18 mm	
Monster	d_{eq} [mm]	Monster	d_{eq} [mm]
A1	0,59	A1	1,08
A2	0,59	A2	1,12
A3	0,62	A3	1,11
A4	0,64	A4	1,12
A5	-	A5	1,15
A6	-	A6	1,15
A7	-	A7	1,15
B1	0,57	B1	1,07
B2	-	B2	1,15
C1	0,56	C1	1,13
C2	0,58	C2	1,13
C3	0,57	C3	1,15
C4	0,55	C4	-
D1	0,56	D1	-
D2	0,62	D2	1,09
D3	0,61	D3	1,10
D4	0,61	D4	1,13
D5	-	D5	1,19
D6	-	D6	1,17
E1	0,62	E1	1,18
E2	0,61	E2	1,15
F1	0,62	F1	1,10
F2	-	F2	1,19
Antrasiet	-	Antrasiet	1,19
Ingevoerde antrasiet	0,35	Ingevoerde antrasiet	1,06
Filterite	0,59	Filterite	1,10

1,4 - 1,7 mm		2,0 - 2,36 mm	
Monster	d_{eq} [mm]	Monster	d_{eq} [mm]
A1	1,47	A1	-
A2	1,36	A2	-
A3	1,44	A3	-
A4	1,50	A4	-
A5	1,60	A5	2,21
A6	1,64	A6	2,21
A7	1,60	A7	-
B1	1,61	B1	-
B2	1,57	B2	2,23
C1	1,57	C1	2,24
C2	-	C2	-
C3	-	C3	-
C4	-	C4	-
D1	-	D1	-
D2	1,57	D2	-
D3	1,51	D3	-
D4	1,51	D4	-
D5	1,70	D5	2,23
D6	-	D6	-
E1	1,62	E1	2,37
E2	1,60	E2	2,46
F1	-	F1	-
F2	1,56	F2	2,07
Plaaslike Antrasiet	1,58	Plaaslike Antrasiet	2,19
Ingevoerde antrasiet	1,43	Ingevoerde antrasiet	-

Van meet af aan is dit duidelik dat daar verskille bestaan tussen die mediamonsters van dieselfde myne en ook tussen myne onderling. Die verskil in d_{eq} tussen mediakorrels met gelyke geometriese diameters (d_g) is as gevolg van die verskil in korrelvorme. Hierdie verskil word later in baie meer detail ondersoek.

4.6 Terminaalvalsnelheid

Die terminaal valsnelheid van die media is bepaal op dieselfde korrelgroottefraksies as wat gebruik is in die d_{eq} -analises. Dit was nodig om verdere beperkings te plaas op watter monsters ondersoek sou word. Die keuse van toetsmonsters is grootliks beïnvloed deur resultate wat nodig was vir ander analises in hierdie ondersoek. Daar is probeer om sover moontlik ten minste twee mediamonsters uit elke groottefraksie van elke mediaverskaffer te toets. Verder was al die beskikbare 1000 - 1180 μm monsters ondersoek. In elke ondersoek is 30 mediakorrels bestudeer.

Hierdie media eienskap is weer eens slegs van belang vir die wiskundige modellering van mediagedrag en daar word dus geen spesifikasies aan hierdie eienskap geheg nie. Soos met die d_{eq} is dit dus ook nodig om hierdie eienskap van die media vas te pen tydens die ontwerp van filters, veral waar van multi-mediabeddens gebruik gemaak word.

In hierdie ondersoek is die gemiddelde terminaalvalsnelheid van verskeie media monsters gemeet en soos verwag wissel die resultate na gelang van die grootte, digtheid en vorm van die media korrels.

Twee belangrike veranderlikes wat in gedagte gehou moet word wanneer hierdie toets gedoen word, is die verhouding van korrel tot wand diameter en die temperatuur van die water, indien nodig, moet gepaste aanpassings in die resultate gemaak word.

4.7 Hidrouliese diameter

Die hidrouliese diameter (d_h) van 'n korrel word bereken uit die terminaal valsnelheid van daardie korrel. Hierdie oefening word hoofsaaklik gedoen om die hidrouliese sferisiteit (ψ_h) te bereken. Alhoewel Ives (1990) d_h bereken uit die gemiddeld van die terminaalvalsnelhede, is besluit om in hierdie ondersoek die d_h vir elke korrel te

bereken waarvoor die terminaalvalsnelheid beskikbaar was. Dit sou later 'n deeglike statistiese ondersoek van ψ_h moontlik maak.

Die berekeningsmetode vir d_h word in vervolgens met 'n voorbeeld geïllustreer. Willekeurige data word in hierdie voorbeeld gebruik. Die volgende korreleenskappe word benodig:

Korrelgrootte	=	Tussen 500 μm en 600 μm
Geometriese diameter (d_g)	=	0,548 mm
Media digtheid (ρ_s)	=	2650 kg.m^{-3}
Terminaal valsnelheid (v_s)	=	100 mm.s^{-1}
Waterdigtheid (ρ)	=	998 kg.m^{-3} teen 20 °C
Viskositeit (μ)	=	0,0010 $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ teen 20 °C

Die sleur tot Reynolds verhouding word eerste bereken. Hiervoor word vergelyking 2.18 gebruik.

$$\frac{C_D}{Re_s} = \frac{4 * 9,81 (2650 - 998) * 1,01 * 10^{-3}}{3 * 998^2 * 0,1^3} = 2,19 * 10^{-2}$$

'n Waarde vir Reynolds (Re_s) word nou vanaf die Camp-krommes (figuur 2.5) afgelees. In hierdie geval is dit 55. Deur nou gebruik te maak van die Reynolds-vergelyking (vergelyking 2.19) kan die hidroulies ekwivalente diameter bereken word.

$$d_h = \frac{1,01 * 10^{-3} * 55}{998 * 0,1} = 0,557 \text{ mm}$$

Hierdie berekening is herhaal vir al die korrels waarvoor terminaal valsnelhede beskikbaar was en tipiese opsommende data vir Suid-Afrikaanse media word in tabel 4.8 gerapporteer.

Tabel 4.8
Gemiddelde hidrouliese diameters (d_h)

Korrelgrootte	0,50 - 0,60 mm	1,00 - 1,18 mm	1,40 - 1,70 mm	2,00 - 2,36 mm
Myn A	0,383	0,728	0,926	-
Myn B	0,378	0,728	1,003	-
Myn C	0,361	0,663	0,879	-
Myn D	0,345	0,652	0,864	-
Myn E	0,416	0,858	1,064	-
Myn F	0,367	0,717	0,926	-
Antrasiet	-	0,684	0,941	1,195
Ingevoerde antrasiet	0,351	0,587	0,833	-
Filterite	0,329	0,652	-	-

Soos ook hier gesien kan word verskil die data van myn na myn. Hierdie verskil kan weer eens toegeskryf word aan die verskil aan korrelvorm en sal in die volgende afdeling in meer detail ondersoek word.

4.8 Sferisiteit

Die literatuurstudie het aan die lig gebring dat die sferisiteit van mediakorrels, en hoofsaaklik die bepaling daarvan, waarskynlik die moeilikste aspek van media-evaluasie is. Behalwe vir die verskeidenheid teenstrydige definisies wat daarvoor bestaan, is dit een van die moeilikste media eienskappe om korrek te meet. In hierdie ondersoek is daar hoofsaaklik gekonsentreer op drie verskillende metodes vir sferisiteitsbepaling. Dit is:

- die visuele sferisiteit,
- die hidrouliese sferisiteit uit terminaalvalsnelheid en,
- die oppervlakverhouding sferisiteit.

Hierdie drie sferisiteite word in hierdie afdeling bespreek en die data uit die ondersoeke word hier met mekaar vergelyk.

4.8.1 Visuele sferisiteit

Die visuele sferisiteit van die media is reeds tydens die visuele inspeksie van die mediamonsters bepaal. Dit word egter in tabel 4.9 opgesom om vergelyking met ander toetsmetodes te vergemaklik. 'n Voorlopige bespreking van die data is reeds in paragraaf 4.2 gedoen.

Tabel 4.9
Opsommende data vir visuele sferisiteite

Mediamonster	Visuele Sferisiteit	Mediamonster	Visuele Sferisiteit
A1	0,81	D3	0,78
A2	0,78	D4	0,78
A3	0,81	D5	0,78
A4	0,81	D6	0,78
A5	0,81		
A6	0,81	E1	0,94
A7	0,78	E2	0,98
B1	0,87	F1	0,70
B2	0,78	F2	0,78
			0
C1	0,81	Antrasiet Tipe 1	0,78
C2	0,70	Antwsiet Tipe 2	0,81
C3	0,81	Antrasiet Tipe 3	0,81
C4	0,81		
		Ingevoerde Antrasiet	0,81
D1	0,78		
D2	0,81	Filterite	0,70

Uit die opsommende resultate blyk die waardes vir sferisiteit redelik hoog te wees. Die resultate is redelik homogeen en daar is nie 'n merkbare verskil tussen die produkte uit die verskillende myne nie. Een uitsondering hierop is die media van Myn E waar die sferisiteit hoër is as by die ander myne.

Dit is moeilik om in hierdie toets die regte sferisiteite aan mediakorrels toe te ken. Die omtrekke van die standaard korrelvorms gegee in figuur 2.3 is heelwat meer gekartel as wat met die mediakorrels opgemerk is. Die omtrekke van die korrels wat ondersoek is, neig om meer skerfvlakke te toon.

Die waarde van hierdie toetsmetode sal eers bepaal kan word nadat dit met die data van ander sferisiteitstoetse vergelyk word.

4.8.2 Hidroulies ekwivalente sferisiteit

Hierdie data waarde vir elke korrelvorm word bereken as die kwosiënt van die hidrouliese diameter (d_h) en geometriese diameter (d_g) van elke mediakorrel. 'n Opsomming van die resultate wat verkry is, word in tabel 4.10 gerapporteer.

Soos verwag kan word het die silika korrels wat vergruis word, die laagste hidrouliese sferisiteite van die silikamonsters terwyl die sferisiteit toeneem namate die verwerking van die mediakorrels toeneem. Die media uit Myn E is die verste verweer en dit het ook die hoogste hidrouliese sferisiteit. Die media uit die rivierloop, Myn B, het op sy beurt weer 'n hoër sferisiteit as die media wat in situ verwerking ondergaan het. Daar blyk dus 'n direkte korrelasie te wees tussen die hidrouliese sferisiteit en verwerking van media. Die plaaslike antrasiet toon effens ronder korrels as die ingevoerde antrasiet.

'n Deeglike statistiese analise is op die data gedoen. Daar is drie vrae wat hier ondersoek is. Dit is:

- Is die hidroulies ekwivalente sferisiteit tussen ooreenstemmende grootte fraksies uit verskillende produkhope van dieselfde myn statisties beduidend verskillend van mekaar,
- is die sferisiteit tussen verskillende korrelgrootte intervale uit dieselfde myn statisties beduidend verskillend, en
- is die hidrouliese sferisiteit tussen myne vir dieselfde korrelgrootte fraksie verskillend?

Tabel 4.10
Opsommende data vir hidroulies ekwivalente sferisiteite

Myn	500-600 μm	1000-1180 μm	1400-1700 μm
Myn A Gemiddeld Standaard afwyking	0,70 0,078	0,67 0,082	0,60 0,078
Myn B Gemiddeld Standaard afwyking	0,69 0,079	0,67 0,064	0,65 0,085
Myn C Gemiddeld Standaard afwyking	0,66 0,074	0,61 0,087	0,57 0,092
Myn D Gemiddeld Standaard afwyking	0,63 0,075	0,60 0,087	0,56 0,081
Myn E Gemiddeld Standaard afwyking	0,76 0,071	0,79 0,064	0,69 0,088
Myn F Gemiddeld Standaard afwyking	0,67 0,065	0,66 0,078	0,60 0,072
Antrasiet Gemiddeld Standaard afwyking	-	0,61 0,112	0,61 0,124
Ingevoerde antrasiet Gemiddeld Standaard afwyking	0,64 0,123	0,54 0,103	0,54 0,065
Filterite Gemiddeld Standaard afwyking	0,61 0,085	0,60 0,076	-

Hierdie vroe is ondersoek met behulp van Anova en Tukey statistiese metodes (Box *et al.*, 1978). Alhoewel die twee metodes oorwegend dieselfde toepassing het, lê die verskil daarin dat die Anova ("analysis of variance") rapporteer óf daar 'n verkil in die data is terwyl die Tukey-analise ook aandui wáár hierdie verskil lê. Net die silika monsters is hier ondersoek. Opsommende resultate word hier getoon en bespreek.

Tabel 4.11 toon die resultate wat verkry is na die nulhipotese (H_0) gestel is dat die ooreenstemmende korrelgrootte fraksies, uit verskillende produkhope van dieselfde myn, dieselfde hidrouliese sferisiteite het. Hierdie nulhipotese sou word verwerp word

indien daar met ten minste 95% sekerheid (d.w.s met by $\alpha \leq 0,05$) gesê kan word dat dit nie so is nie.

'n Tipiese interpretasie uit hierdie tabel lui soos volg. Na al die sferisiteite vir Myn A se mediakorrels van grootte 500-600 μm , ondersoek is, is daar gevind dat hierdie korrels se hidrouliese sferisiteit $\alpha \geq 0,25$ statisties betekenisvol van mekaar verskil. Om hierdie rede word die nulhipotese aanvaar en word gesê dat die sferisiteite nie beduidend in hierdie geval verskil nie. Wanneer die ander resultate ook so ondersoek word, word dit duidelik dat die nulhipotese geld vir tien uit die twaalf gevalle wat hier ondersoek is. Die ander twee gevalle verwerp die nulhipotese by $0,05 \geq \alpha \geq 0,01$ en $\alpha \leq 0,01$ onderskeidelik.

Tabel 4.11

Hidroulies ekwivalente sferisiteit ondersoek tussen ooreenstemmende korrelgrootte intervale uit dieselfde myn

Myn	500-600 μm	1000-1180 μm	1400-1700 μm
A	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend	$0,25 \geq \alpha \geq 0,10$ Nie beduidend
B	-	$0,25 \geq \alpha \geq 0,10$ Nie beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend
C	$\alpha \leq 0,01$ Beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend
D	$0,25 \geq \alpha \geq 0,10$ Nie beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend	$0,25 \geq \alpha \geq 0,10$ Nie beduidend
E	$0,10 \geq \alpha \geq 0,05$ Nie beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend	$\alpha \geq 0,25$ Nie beduidend
F	-	$0,05 \geq \alpha \geq 0,01$ Beduidend	-

Die volgende gevolgtrekking kan uit hierdie resultate gemaak word. Die sferisiteite van mediaprodukte van dieselfde korrelgrootte uit 'n myn is oorwegend dieselfde. Dit kan egter van besending tot besending beduidend verskil. Om hierdie rede is dit raadsaam om 'n deeglike en deurlopende analise van hidrouliese sferisiteit te maak om hierdie verskille op te tel.

Omrede die sferisiteit grootliks ooreenstem, is besluit om die data vir ooreenstemmende korrelgroottes uit elke myn saam te poel om verdere analises moontlik te maak. Waar daar werklik verskille was, word met 'n gemiddelde gewerk.

Die tweede nulhipotese wat gestel is, is dat die hidrouliese sferisiteit vir mediakorrels van verskillende korrelgroottes uit dieselfde myn, nie beduidend verskil nie. 'n Analise soortgelyk aan die wat in die vorige geval gedoen is, is hier ook gedoen en die resultate word in tabel 4.12 opgesom.

Tabel 4.12
Hidroulies ekwivalente sferisiteit ondersoek tussen verskillende
korrelgrootte intervale uit dieselfde myn

Myn	Anova resultate	Tukey resultate
A	$\alpha = 0,001$ - Beduidend	500-600 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ 1000-1180 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$
B	$\alpha \geq 0,25$ - Nie beduidend	-
C	$\alpha = 0,001$ - Beduidend	500-600 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ 1000-1180 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,05$
D	$\alpha = 0,001$ - Beduidend	500-600 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ 1000-1180 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,05$
E	$\alpha = 0,001$ - Beduidend	500-600 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ 1000-1180 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$
F	$\alpha = 0,001$ - Beduidend	500-600 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ 1000-1180 μm en 1400-1700 μm verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$

Hier is dit duidelik dat die hidrouliese sferisiteit oor die algemeen binne 'n myn tussen korrelgroottes verskil. Dit is as gevolg van die invloed van die korrelgrootte op die hidrouliese sferisiteit. Hierdie verskynsel is reeds in paragraaf 2.2.3 bespreek. Geen

vaste verband om te voorspel met watter verhouding die korrelgrootte die hidrouliese sferisiteit beïnvloed, kon gevind word nie.

Dit is dus raadsaam om die hidrouliese sferisiteit vir elk van die korrelgrootte intervale te bereken wanneer die mediabed in lae opgedeel word om wiskundige berekeninge van die mediabed te doen.

Die verwagting is dat hidrouliese sferisiteite tussen myne vir dieselfde korrelgrootte intervale verskillend sal wees. Hierdie aspek is ook ondersoek en die nulhipotese dat die korrels dieselfde is, is daar gestel. Weer eens word hierdie hipotese net verwerp indien daar 'n 95% sekerheid is dat dit nie die geval is nie. Tabel 4.13 toon die resultate van hierdie ondersoek.

Tabel 4.13
Hidroulies ekwivalente sferisiteit ondersoek tussen dieselfde
korrelgroottes uit verskillende myne

Korrelgrootte interval	Tukey resultate
500-600 μm	Verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ wanneer Myn E met Myne C en D vergelyk word. Verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,05$ wanneer Myn E met Myn F vergelyk word.
1000-1180 μm	Verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ wanneer Myn E met al die ander myne vergelyk word. Verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,05$ wanneer Myn D met Myn A en B vergelyk word.
1400-1700 μm	Verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,01$ wanneer Myn E met Myne C, D en F vergelyk word. Verwerp H_0 by $\alpha \leq 0,05$ wanneer Myn E met Myn A vergelyk word.

As gevolg van die verwering wat die media van myn E ondergaan het, het dit 'n hoë hidrouliese sferisiteit relatief tot die ander mediabronne. Dit blyk ook dat die 1000-1180 μm fraksie van Myn D laag is in vergelyking met ander bronne. Hierdie myn se media word vergruis. Die media van die ander myne verskil nie statisties betekenisvol van mekaar in terme van hidrouliese sferisiteit nie. Hierdie is teen die oorspronklike verwagting in. Dit kom egter steeds voor asof die hidrouliese sferisiteit van media toeneem namate dit meer aan natuurlike verwering blootgestel word.

Die hidrouliese sferisiteitsanalise lewer resultate wat merkbaar laer is as dié uit die visuele inspeksie. Daar moet egter in gedagte gehou word dat die definisie van sferisiteit vir die twee gevalle verskil en daarom kan daar nie direk 'n vergelyking tussen die twee data stelle getrek word nie.

Ives (1990) vereis dat die hidroulies ekwivalente sferisiteit van media so laag as moontlik moet wees maar verkieslik nie laer as 0,60 nie. Die hidrouliese sferisiteite wat in hierdie ondersoek bepaal is voldoen oor die algemeen aan hierdie vereiste. Die sferisiteit van veral die plaaslike antrasiet, neig egter om laer te wees.

4.8.3 Oppervlakverhouding sferisiteit

Die derde sferisiteitsondersoek wat op die media gedoen is, was die bepaling van die oppervlakverhouding sferisiteit deur middel van die Ergun-vergelyking. Die berekeningsmetode word in paragraaf 2.2.3 beskryf. Die ondersoek na die oppervlakverhouding sferisiteit is gedoen saam met die ander kolomtoetse wat eers later in die verslag bespreek sal word.

Gebaseer op die bevindinge van die vorige ondersoek, is aanvaar dat die oppervlakverhouding sferisiteit konstant is binne elke korrelgrootte verspreiding uit elke myn. Om die rede is dan ook besluit om slegs een monster te ondersoek uit elk van die korrelgrootte verspreidings wat reeds voorheen ondersoek is vir elke myn.

'n Opsomming van die data wat verkry is word hier in tabel 4.14 weergegee. Wat hier veral opvallend is, is die lae standaard afwyking wat in hierdie toets verkry is. Hierdie toets is van baie lae tot baie hoë vloeitempo's vir elke mediamonster herhaal en die resultate het oor die algemeen baie konstant gebly. Dit toon die konsekwentheid waarmee hierdie toetsmetode toegepas kan word.

Die beperkte hoeveelheid datapunte leen hom nie tot dieselfde intensiewe statistiese analise as die hidrouliese sferisiteit nie. Uitskieters kan wel identifiseer word met

behulp van die Q-toets (Walpole en Myers, 1978). Die volgende vrae is ten opsigte van die oppervlakverhouding sferisiteit gevra:

- Verskil die sferisiteit van opeenvolgende korrelgroottes uit dieselfde mediamonster soos met die hidroulies ekwivalente diameter,
- Verskil hierdie sferisiteit van monster tot monster vir ooreenstemmende korrelgrootte intervale?

Tabel 4.11
Die oppervlakverhouding sferisiteit van plaaslike media

Myn	500-600 μm	1000-1180 μm	1400-1700 μm	Ander
Myn A Gemiddeld Standaard afwyking	0,67 0,036	0,62 0,024	0,68 0,028	-
Myn B Gemiddeld Standaard afwyking	0,69 0,048	0,48 0,024	0,58 0,027	-
Myn C Gemiddeld Standaard afwyking	0,70 0,027	0,58 0,007	0,58 0,013	-
Myn D Gemiddeld Standaard afwyking	0,52 0,016	0,55 0,020	0,55 0,013	-
Myn E Gemiddeld Standaard afwyking	-	0,77 0,073	0,86 0,014	-
Myn F Gemiddeld Standaard afwyking	-	0,66 0,025	0,42 0,020	-
Antrasiet Gemiddeld Standaard afwyking	-	0,66 0,025	0,68 0,026	2000-2600 μm 0,67 0,026
Ingevoerde media Gemiddeld Standaard afwyking	-	0,53 0,021	0,55 0,017	-
Filterite Gemiddeld Standaard afwyking	0,62 0,006	-	-	850-1000 μm 0,54 0,012

Die oppervlakverhouding behoort nie beïnvloed te word deur die grootte van die mediakorrel nie. Om hierdie rede word verwag dat die Q-toets geen mediamonsters sal aantoon wat betekenisvol van die ander grootte verspreidings van dieselfde myn sal verskil nie. Dit is egter nie die geval nie. Vir beide myne C en D word sulke

verskilte aangetoon. Vir Myn D is dit nie so belangrik nie omdat hierdie verskil slegs 0,03 is (0,52 vs 0,55 vs 0,55). Daar word aanvaar dat hierdie verskil binne die eksperimentele fout van die eksperiment lê en daarom word nie verder aandag hieraan geskenk nie.

Die verskil tussen opeenvolgende sferisiteitsbepalings vir myn C is aansienlik groter en is 0,12 (0,70 vs 0,58 vs 0,58). Die visuele inspeksies van media van hierdie myn, veral C1, het getoon hoe die kleiner korrels duidelik rond is as die ander. Dit is ook duidelik dat die groter korrels in hierdie geval nie enkelkorrels is nie maar eerder agglomerate van kleiner korrels. Die resultaat is dus te wagte. Die verskil in sferisiteit kan dus hieraan toegeskryf word.

Dit blyk dus dat die oppervlak verhouding sferisiteit slegs in uitsonderlike gevalle verskil tussen verskillende korrelgrootte intervale vir dieselfde mediamonster. Indien dit wel gebeur sal 'n deeglike visuele inspeksie dit vroegtydig uitwys.

Die tweede statistiese analise het sentreer om die vraag of media se oppervlakverhouding sferisiteit tussen myne beduidend verskil. Volgens die analise is daar nie sferisiteit wat in so 'n mate van die ander verskil, dat dit as 'n uitskieter beskou kan word nie. Hierdie resultaat beteken egter nie dat die korrels almal soortgelyk is nie. 'n Meer korrekte interpretasie hiervoor is dat die plaaslike myne produkte verskaf wat 'n wye spektrum van sferisiteit dek. Dit is as gevolg van hierdie verspreiding dat daar nie uitskieters uitgewys kan word nie.

In hierdie ondersoek is gevind dat die plaaslike antrasiet 'n merkbaar hoër sferisiteit as die ingevoerde antrasiet het.

Die oppervlakverhouding sferisiteit het dieselfde definisie vir sferisiteit as in die visuele inspeksie. Dit is egter opvallend hoe die data vir die ooreenstemmende mediamonsters verskil wanneer die twee stelle data vergelyk word. Die visuele inspeksie lewer aansienlik hoër waardes vir sferisiteit. Die rede hiervoor is dat die

visuele metode aanvaar dat met ronde korrels gewerk word. Daar is egter in hierdie ondersoek gevind dat die derde hoof-as van die korrels aansienlik kleiner is as die eerste twee hoofasse. Dit wil sê dat die mediakorrels oor die algemeen redelik afgeplat is. Die visuele metode, soos voorgestel deur Fair, Geyer en Okun (1968) lewer waardes wat te hoog is vir plaaslike media.

Van die sferisiteitsondersoeke wat gedoen is, is die oppervlakverhouding sferisiteit fundamenteel die mees korrekte maatstaf van korrelvorm om te gebruik en om die rede moet hierdie metode verkieslik gebruik word.

Die oppervlakverhouding sferisiteit word nie in spesifikasies vasgepen nie. Verder verkies verskillende ontwerpers verskillende korrelvorms. Alhoewel plaaslike media oor die algemeen lae waardes het, is ronde korrels ook beskikbaar. Plaaslike media behoort dus die meeste ontwerpers met spesifieke korrelvorm vereistes tevrede stel.

4.9 Duursaamheid

Media moet voldoen aan spesifikasies wat standaard vir duursaamheid daarstel. Die toetsprosedure wat die mees realistiese resultate gee is die verlengde terugwastoets wat deur Ives (1990) voorgestel is. Hierdie toets is op een mediamonster van elk van die mediabronne toegepas. Die resultate word in die onderstaande tabel 4.15 weer-gegee.

Vir hierdie eksperiment is die 850-1000 μm groottefraksie van elke monster gebruik wat ondersoek is. Dit het verseker dat die oppervlak tot volume verhouding van al die korrels so ver moontlik gelyk sou wees. Sferisiteit, wat ook 'n invloed het op die korreloppervlak wat beskikbaar is vir verwerking, kon uiteraard nie in hierdie ondersoek beheer word nie. Die resultate van die verskillende toetse kan egter steeds mekaar vergelyk word.

Tabel 4.15
Duursaamheid van plaaslike media

Mediamonster	Verlies tydens terugwas
Myn A	0,247 %
Myn B	0,374 %
Myn C	0,148 %
Myn D	0,149 %
Myn E	0,022 %
Myn F	0,064 %
Antrasiet	0,357 %
Ingevoerde Antrasiet	0,160 %
Filterite	0,064 %

Die "vuiler" en meer verweerde mediamonsters het in die algemeen 'n hoër verlies as die ander media in hierdie toets getoon. Dit kan om enige of 'n kombinasie van twee redes wees. Alhoewel al die mediamonsters deeglik gewas is voor die terugwastoets begin het, kan dit moontlik wees dat die "vuiler" monsters meer stof teruggehou het as die ander monsters en dat hierdie monsters tydens die 100 uur terugwas dus meer stof afgegee het. Die tweede rede is dat die meer verweerde materiaal 'n brosser oppervlak as die ander media het, en dat hierdie media dan makliker vergruis onder die ligte inpak waaraan hierdie media onderwerp word in die bed. Hoe dit ook al sy, dit is redelik om te aanvaar dat dieselfde in 'n gewone mediabed sal gebeur en hierdie data is dus aanvaarbaar.

Die verliese vergelyk goed met data wat Ives (1990) gepubliseer het, naamlik waardes van 0,13% en 0,17%. Ives (1990) stel dat media met verliese van meer as 1% 'n onseker toepassing het terwyl die media ongewens is indien die verliese hoër as 3%

is. Dit wil dus sê dat al die plaaslike media wat hier ondersoek is aan hierdie vereistes voldoen.

As gevolg van die hoër stof inhoud van die plaaslike antrasiet, is die verliese wat hier ervaar is heelwat hoër as die skoner ingevoerde antrasiet. Dit is egter nie rede tot

kommer nie omrede die plaaslike media in hierdie toets aan dieselfde streng vereistes as die internasionale media voldoen.

4.10 Suuroplosbaarheid en basisoplosbaarheid

Weer eens is een korrelgrootte fraksie, uit area tot volume oorwegings, vir hierdie ondersoek gebruik. Die suuroplosbaarheidsondersoek is gedoen soos beskryf in paragraaf 3.5.1. Die resultate word in tabel 4.16 weergegee.

Die data is statisties analiseer met die Q-toets en die analise het getoon dat daar verskeie datapunte verwerp kan word. Vir die meeste hiervan lê die verskille binne 'n aanvaarbare foutgrens vir hierdie toets en word hulle dus nie verwerp nie.

Die Filterite het nie die toets geslaag nie. Daar is gevind dat die Filterite na die vereiste 24 uur gesementeer het. Hierdie resultate stem ooreen met 'n verslag gepubliseer deur die WNNR (Pearson, 1991). In hierdie verslag word gemeld dat die eienskappe van Filterite noemenswaardig verander word in lae pH toestande ($\text{pH} < 0,5$). By pH-waardes van hoër as 0,5 is die effek op die Filterite aansienlik minder.

Die gemiddelde standaard vir suuroplosbaarheid is 'n verlies van minder as 2% na 24 uur. Die plaaslike media wat hier ondersoek is, voldoen aan hierdie vereistes. Die plaaslike antrasiet toon 'n persentasie suur oplosbare materiaal van 1,7%. Nadat die antrasiet finaal gedroog is, is daar 'n klein hoeveelheid kristalle op die media gevind. Hierdie kristalle kom moontlik van die suur wat nie deeglik uitgewas kon word nie. Daar is gevind dat minder kristalle vorm indien die media met kookwater gewas word. Wat die massa bydrae van die oorblywende kristalle tot die media was, is onbekend. Dit word egter betwyfel of die verlies as meer as 2% bereken sou word indien hierdie kristalle heeltemal van die antrasiet verwyder sou kon word.

Tabel 4.16
Persentasie suuroplosbare materiaal

Monster	Aanvanklike media gewig [g]	Verlies [g]	Verlies [%]
Myn A	100,35	0,15	0,15%
	97,14	0,17	0,18%
	102,10	0,21	0,21%
Myn B	98,93	0,24	0,24%
	89,62	0,22	0,25%
	106,99	0,28	0,26%
Myn C	103,11	0,10	0,10%
	105,97	0,11	0,10%
	99,89	0,13	0,13%
Myn D	97,57	0,10	0,10%
	104,28	0,11	0,11%
	101,47	0,11	0,11%
Myn E	130,18	0,06	0,05%
	124,79	0,06	0,05%
	134,70	0,07	0,05%
Myn F	104,27	0,06	0,06%
	102,60	0,07	0,07%
	106,05	0,12	0,11%
Plaaslike antrasiet	77,69	1,25	1,60%
	91,05	1,60	1,80%
	86,15	1,56	1,80%

Daar is opgemerk dat die suur na geel verkleur met die silikatoets. Die van meer verweerde mediamonsters se suur het meer verkleur as die minder verweerde media. Ives (1990) rapporteer ook dat suur geel verkleur en skryf hierdie toe aan die moontlike teenwoordigheid van yster. Hierdie sluit aan by die vlekke wat in die visuele inspeksie op die silika korrels waargeneem is. Die verkleuring kan moontlik ook toegeskryf word aan die teenwoordigheid van ander stowwe op die korrels, bv. klei.

Die basisoplosbaarheidstoets het nie werklik noemenswaardige resultate gelever nie. Die silika toon verliese van 0,10% en minder terwyl die plaaslike antrasiet verliese van gemiddeld 1,0% toon. Hierdie verliese word as aanvaarbaar geag. Daar bestaan nie

spesifikasies om hierdie toets teen te evalueer nie. Die resultate vir die basisoplosbaarheidsondersoek word in tabel 4.17 gerapporteer.

Tabel 4.17
Persentasie basisoplosbare materiaal

Monster	Aanvanklike media gewig [g]	Verlies [g]	Verlies [%]
Myn A	100,02	0,06	0,06%
	105,96	0,11	0,10%
	110,93	0,16	0,14%
Myn B	112,31	0,10	0,09%
	95,01	0,10	0,11%
	99,05	0,12	0,12%
Myn C	98,86	0,03	0,03%
	93,30	0,03	0,03%
	93,42	0,05	0,05%
Myn D	109,50	0,01	0,01%
	102,38	0,01	0,01%
	101,15	0,88	0,87%
Myn E	140,27	0,03	0,02%
	129,94	0,03	0,02%
	135,69	0,04	0,03%
Myn F	124,71	0,02	0,02%
	113,58	0,02	0,02%
	112,55	0,02	0,02%
Plaaslike antrasiet	83,87	0,89	1,10%
	87,90	0,84	1,00%
	87,05	0,75	0,90%
Filterite	84,70	0,01	0,01%
	78,65	0,01	0,01%
	81,95	0,02	0,02%

In hierdie ondersoek is een van die datapunte is verwerp. Dit was die basisoplosbaarheidsondersoek op myn D. Hierdie eksperiment se verlies was besonder hoog omrede mediakorrels verloor is nadat die fles, waarin die media was, gestamp is net voor die finale massa bepaling. Die toets is nie herhaal nie omdat dit

hoogs onwaarskynlik is dat hierdie uitstaande datapunt die algemene beeld van die media, in die ondersoek, sou beïnvloed.

Hierdie eksperimente toon dat die bepaling van die persentasie suur en basis oplosbare stowwe in filtermedia veral belangrik vir alternatiewe mediatipes. Die silika wat in hierdie ondersoek getoets is, blyk stabiel te wees onder hoë en lae pH-toestande. Dit behoort ook nie 'n probleem te wees indien die silika inhoud van die media aan die nodige vereistes voldoen nie.

4.11 Chemiese samestelling van die silikasand

Die silika inhoud van een silika monster uit elk van die myne is deur 'n eksterne laboratorium bepaal. Die resultate word in tabelle 4.18 en 4.19 met mekaar vergelyk.

Dit interessant om te let dat die persentasie silika inhoud van die media afneem namate die verwering van die media toeneem. Die uitsondering is egter Myn F. Hierdie monster is moontlik meer verweer as enige van die ander mediamonsters maar as gevolg van die unieke toestande waaronder die media gemyn word, is hierdie media buitengewoon skoon. Volgens hierdie resultate is die ander noemenswaardige stowwe in die media Al_2SO_3 en Fe_2O_3 . Dit is egter breukdele van die silika inhoud. Die silika inhoud van die media is tussen 98,43% en 99,96%

Wanneer die data uit hierdie analise egter met die van verskaffers vergelyk word, is die resultate van die toets gedoen vir hierdie ondersoek aansienlik hoër. Daar kan verskeie redes wees hiervoor. Dit is redelik om te aanvaar dat die silika inhoud van media wat uit een myn sal verskil na gelang van die some en sones van natuurlike verwering wat van plek tot plek voorkom. Verder kan verwag word dat verskillende toetsprosedures verskillende resultate sal lewer. Dit is onbekend watter toetsmetodes gebruik word deur die verskaffers. Die eksterne laboratorium het gebruik gemaak van X-straalfluoresensie vir hierdie ondersoek.

Beide die stelle was die silika inhoud groter as 98%. Dit is voldoende om aan die strengste internasionale mediaspesifikasies te voldoen.

Tabel 4.18
Chemiese samestelling van silika sand
(Data verskaf deur myne)

--	Myn A	Myn B	Myn C	Myn D	Myn F	Myn E
SiO ₂	> 98,0%	-	99,51%	98,35%	98,5%	99,76%
TiO ₂	< 0,1%	-	0,024%	0,028%	-	0,014%
Al ₂ O ₃	0,5%	-	0,26%	0,27%	0,5%	0,06%
Fe ₂ O ₃	0,24%	-	0,028%	0,065%	0,05%	0,024%
MnO	< 0,01%	-	-	-	-	-
MgO	0,039%	-	0,004%	0,015%	-	0,001%
CaO	0,12%	-	0,007%	0,03%	0,02%	0,02%
Na ₂ O	< 0,1%	-	-	-	-	-
K ₂ O	< 0,1%	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	0,001%	-
Cr ₂ O ₃	< 0,01%	-	< 0,000%	-	0,001%	-
NiO	-	-	-	-	-	-
H ₂ O-	-	-	-	-	-	-
LOI	0,24%	-	0,17%	0,23%	0,2%	0,12%
Zr dpm	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂	-	-	-	0,002%	-	0,002%

Tabel 4.19
Chemiese samestelling van silika sand
(Data verskaf deur 'n onafhanklike laboratorium)

-	Myn A	Myn B	Myn C	Myn D	Myn E	Myn F
SiO ₂	99,15%	98,43%	99,90%	99,55%	99,39%	99,96%
TiO ₂	0,05%	0,08%	0,03%	0,04%	0,03%	0,02%
Al ₂ O ₃	0,23%	0,29%	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%
Fe ₂ O ₃	0,08%	0,25%	0,00%	0,06%	0,02%	0,00%
MnO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
MgO	0,07%	0,08%	0,00%	0,07%	0,06%	0,09%
CaO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Na ₂ O	0,01%	0,02%	0,01%	0,03%	0,00%	0,00%
K ₂ O	0,08%	0,02%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%
F ₂ O ₅	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%
Cr ₂ O ₃	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
NiO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
H ₂ O-	0,05%	0,08%	0,03%	0,04%	0,02%	0,02%
LOI	0,25%	0,22%	0,11%	0,22%	0,19%	0,12%
Zr dpm	72	44	20	50	55	26
ZrO ₂						

4.12 Porositeit

Porositeit se invloed op bed eienskappe soos energie verlies is selfs groter as die invloed van sferisiteit. Om hierdie rede is dit belangrik dat die porositeit van beddens bekend is wanneer wiskundige analyses van beddens gedoen word.

Die porositeit van die plaaslike media is gemeet omdat dit eerstens nodig was vir die ander analyses in hierdie ondersoek en omdat dit tweedens nuttig sou wees om tipiese Suid-Afrikaanse data te hê.

Die porositeit is bepaal in 'n kolomtoets soos beskryf in 3.4.1. Ses bepalinge van die porositeit is op elke mediamonster gedoen en 'n gemiddelde waarde is bepaal.

Opsommende resultate word in tabel 4.20 weergegee. Hierdie porositeit is gemeet by minimum fluïdisasie.

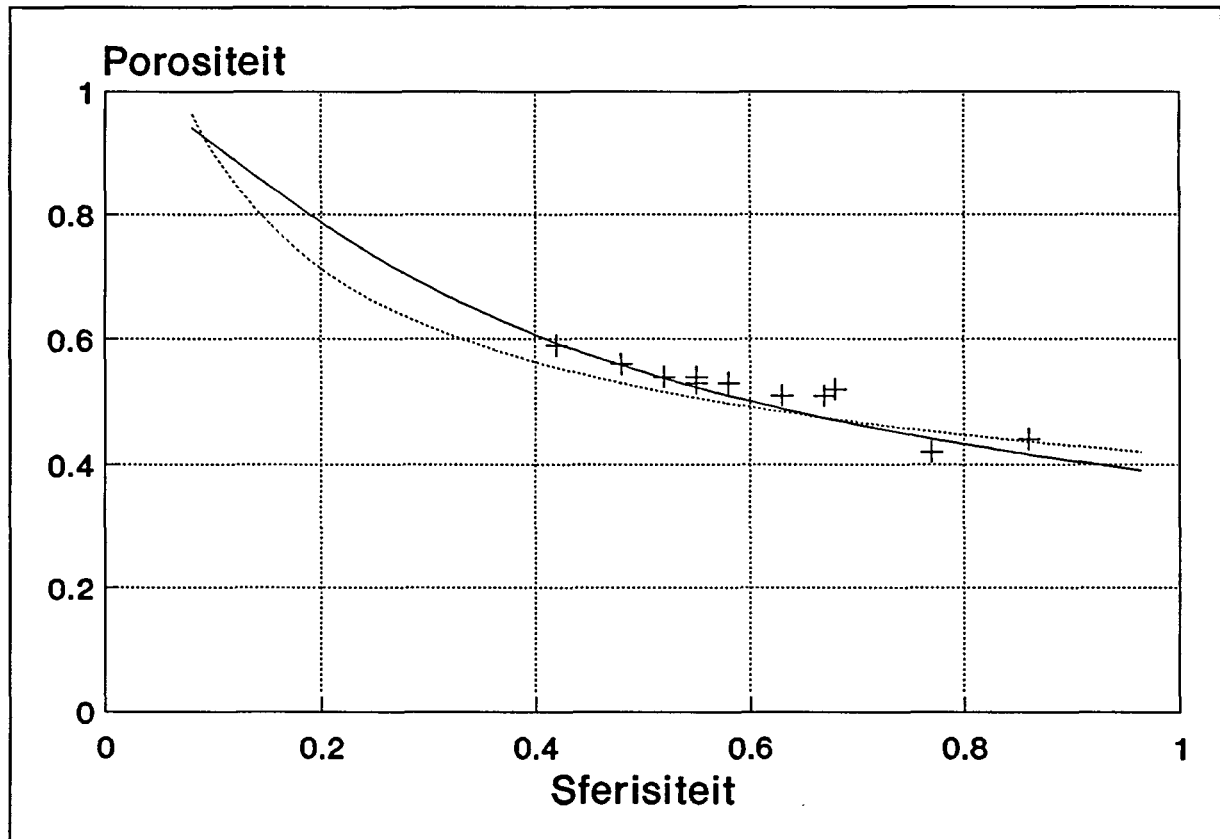
Die resultate wat uit hierdie toets verkry is vir elke mediamonster, is oor die algemeen homogeen. Dit verskil egter redelik tussen verskillende korrelgroottes en tussen myne. Om hierdie data te evalueer moet dit in konteks met die oppervlakverhouding sferisiteit ondersoek word.

Tabel 4.20
Porositeite van plaaslike media

Myn en korrelgrootte	Porositeit (ϵ_{mf})	Myn en korrelgrootte	Porositeit (ϵ_{mf})
Myn A 500-600 μm 1000-1180 μm 1400-1700 μm	0,51 0,51 0,52	Myn E 500-600 μm 1000-1180 μm 1400-1700 μm	0,44 0,42 -
Myn B 500-600 μm 1000-1180 μm 1400-1700 μm	0,49 0,56 0,56	Myn F 500-600 μm 1000-1180 μm 1400-1700 μm	- 0,53 0,59
Myn C 500-600 μm 1000-1180 μm 1400-1700 μm	0,51 0,55 0,57	Antrasiet 1000-1180 μm 1400-1700 μm 2000-2360 μm	0,53 0,51 0,51
Myn D 500-600 μm 1000-1180 μm 1400-1700 μm	0,54 0,53 0,54	Filterite 500-600 μm 850-1000 μm	0,54 0,53

Wen en Yu (1966) se verband tussen oppervlakverhouding sferisiteit en porositeit is reeds in detail bespreek en die verbande is reeds in vergelykings 2.21 en 2.22 gereproduseer. Figuur 2.6 toon hierdie verbande grafies en vergelyk dan verskeie

outeurs se data daarmee. Figuur 4.4 toon 'n soortgelyke verband met hierdie ondersoek se data daaroor geplot.



Figuur 4.4: Hierdie figuur toon Wen en Yu (1966) se verbande en data gegenereer in hierdie ondersoek.

Wanneer plaaslike media se eienskappe vergelyk word met data wat deur ander outeurs geproduseer is, kan gesien word dat die plaaslike media nader aan hierdie verbande lê as meeste van die ander outeurs. Uit die goeie ooreenstemming met hierdie verband kan die stelling gemaak word dat beide die meting van die oppervlakverhouding sferisiteit en die porositeit op hul eie baie goed vergelyk met ander gepubliseerde data.

As gevolg van die goeie passing van die gemete data op Wen en Yu (1966) se korrelasie kan hierdie korrelasie moontlik gebruik word vir vinnige berekeninge van sferisiteite aangesien porositeit aansienlik makliker as sferisiteit bepaal kan word.

4.13 Minimum fluïdisasie en beduitsetting

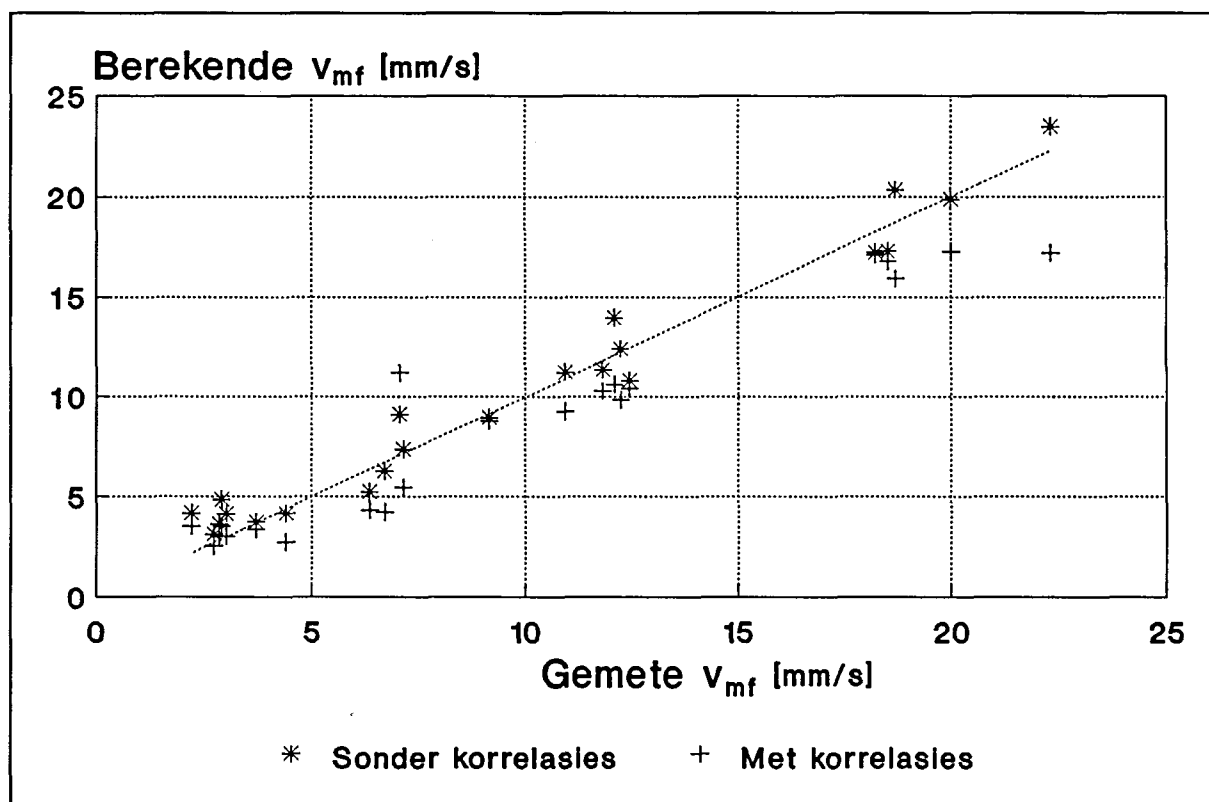
Daar is reeds verskeie modelle gepubliseer om die minimum fluïdisasie (v_{mf}) en beduitsettings van mediabeddens te voorspel. Wen en Yu (1966) blyk die beste model te hê vir v_{mf} terwyl Dharmarajah (1986) se model tans beduitsettingsgedrag, op 'n suiwer teoretiese basis, die beste voorspel.

In hierdie ondersoek is gekyk na watter tipe akkuraatheid met hierdie modelle verwag kan word wanneer dit op plaaslike media toegepas word. Daar is gepoog om fluïdisasie en beduitsettings ondersoek op ten minste drie grootte fraksies van elke mediaverskaffer te doen. Opsommende fluïdisasie resultate word in tabel 4.21 weergegee.

Tabel 4.21
Opsommende data vir fluïdisasie ondersoek

Media monsters	Temperatuur [°C]	Gemete v_{mf} [mm.s ⁻¹]	v_{mf} bereken met Wen en Yu- korrelasies [mm.s ⁻¹]	v_{mf} bereken sonder Wen en Yu- korrelasies [mm.s ⁻¹]
Myn A 0,5mm 1,0mm 1,4mm	19,5 19,8 19,5	2,90 11,82 18,70	3,55 10,30 15,91	5 11,37 20,34
Myn B 0,5mm 1,0mm 1,4mm	19,7 19,1 19,1	2,85 - 20,00	3,03 10,60 17,25	3,64 10,92 19,87
Myn C 0,5mm 1,0mm 1,4mm	19,3 19,6 20,2	3,00 12,10 22,30	3,03 10,62 17,19	4,16 13,96 23,49
Myn D 0,5mm 1,0mm 1,4mm	18,8 19,5 19,3	3,70 12,45 18,21	3,40 10,43 17,08	3,75 10,83 17,19
Myn E 0,5mm 1,0mm 1,4mm	19,5 20,1 20,0	2,20 7,0 -	3,54 11,23 -	4,18 9,12 -
Myn F 0,5mm 1,0mm 1,4mm	20,0 19,2 19,6	- 12,25 18,51	- 9,87 16,77	- 12,42 17,25
Antrasiet 1,0mm 1,4mm 2,0mm	19,3 19,5 20,4	4,40 7,15 10,93	2,74 5,46 9,27	4,18 7,37 11,25
Ingevoerde media 1,0mm 1,4mm	19,5 19,0	2,72 6,36	2,54 4,35	3,13 5,25
Filterite 0,5mm 0,85mm	19,3 19,3	6,71 9,15	4,25 8,81	6,27 8,97

In hulle model vir minimum fluïdisasie maak Wen en Yu (1966) gebruik van vergelykings 2.21 en 2.22. Hierdie korrelasies maak dit moontlik om die minimum fluïdisasie van media te bepaal sonder om eers die sferisiteit en porositeit van die mediabed te bepaal. In hierdie ondersoek is gekyk na eerstens die akkuraatheid van hierdie model met hierdie korrelasies en tweedens na die model sonder die korrelasies. Die resultate van hierdie deel van die ondersoek kan makliker beskryf word met figuur 4.5.



Figuur 4.5: Vergelyking van Wen en Yu (1966) se model vir v_{mf} met data gemeet vir plaaslike media.

Hierdie figuur toon die gemete waardes vir v_{mf} teen twee ander waardes. Eerstens die berekende v_{mf} sonder die korrelasies en tweedens v_{mf} met Wen en Yu (1966) se korrelasies. Die stippellyn toon die ideaal waar gemete waardes gelyk is aan voorspelde data. Uit hierdie figuur is dit duidelik dat die voorspellings heelwat meer akkuraat is indien nie van die korrelasies gebruik gemaak word nie. In hierdie geval is die gemiddelde fout op die voorspelling $0,92 \text{ mm.s}^{-1}$.

Wanneer wel van die korrelasies gebruik gemaak word is die voorspelde data gemiddeld $1,71 \text{ mm.s}^{-1}$ groter as die gemete data. Dit wil voorkom of die media met laer v_{mf} meer akkuraat voorspel kan word met die gebruik van hierdie korrelasies terwyl die ander mediamonsters benaderd konstant van die korrekte waarde afwyk.

Die verskille wat nog voorkom wanneer die model sonder Wen en Yu se benadering met die lyn op figuur 4.5 vergelyk word is die gevolg van eksperimentele fout en is ook as gevolg van verdere klein onakkuraathede in die model.

Uit hierdie ondersoek is dit duidelik dat die minimum fluïdisasie model deur Wen en Yu (1966) voorgestel reeds redelik is maar dat beter resultate verkry kan word indien die waardes vir porositeit en sferisiteit vooraf vir die media bepaal word en dan in hierdie model gebruik word.

Die uitsetting wat die bed ondergaan indien die terugwas snelheid groter as v_{mf} is, is ook ondersoek. Die data wat tydens die beduitsettingstoets gegenereer is, is met Dharmarajah (1986) se model vergelyk. Tipiese resultate word in hoofstuk 5 weergegee.

Dharmarajah (1986) dui die akkuraatheid van sy model nie eenduidig statisties aan nie. Om hierdie rede is dit moeilik om die data uit hierdie ondersoek met sy eie data te vergelyk. Dharmarajah toon egter enkele grafieke waar die gemete en berekende uitsettingsporositeite met mekaar vergelyk word. Hieruit wil dit voorkom of beide studies soortgelyke resultate lewer.

Die model voorspel die uitsettingsporositeite van die silikasand akkuraat. Die gemiddelde verskil tussen waargenome en berekende waardes is gewoonlik onder 2%. In uitsonderlike gevalle is dit 3% en een geval toon 'n verskil van 4%. Die voorspelde data is aanvanklik laer en dan later hoër as die waargenome punte namate die beduitsetting toeneem. Hierdie kan moontlik aan eksperimentele fout toegeskryf word. Die gedrag van beide die plaaslike en ingevoerde antrasiet word swakker deur Dhar-

marajah (1986) se model voorspel. Die voorspelde data was gemiddeld 4% groter as die waargenome data. Die grootste verskil was benaderd 5,5%. Die Filterite toon waargenome waardes gemiddeld 3% kleiner as die voorspelde data.

Daar is gevind dat die gemete en berekende porositeit en veral beddieptes in meeste gevalle aansienlik van mekaar begin verskil sodra die bedporositeit bo 0,75 is. Dit beteken 'n beduitsetting van ongeveer 180-200%. Hierdie is egter ver bo die normale uitsetting wat verwag kan word tydens terugwas.

4.14 Slot

In hierdie hoofstuk is verskeie media eienskappe aan die hand van plaaslike en internasionale spesifikasies ondersoek. Verder is die fluïdisasie en beduitsettingsgedrag van die media ondersoek. Die energieverlies van vloeiende water in die media is indirek ook ondersoek.

Gevolgtrekkings is saam met die bespreking van resultate onder die gepaste opskrifte geplaas, opsommenderwys kan die volgende stellings egter nog oor die plaaslike media, media in die algemeen en die spesifikasie van media gemaak word:

- Suid-Afrika beskik oor 'n goed gevestigde mediabedryf.
- Plaaslike mediamyne verskaf produkte wat in meeste behoeftes en spesifikasies voldoen.
- Die plaaslike media het goeie fisiese eienskappe. Hierdie eienskappe sluit die volgende in: lae oplosbaarheid in hoë en lae pH-toestande, lae verlies tydens terugwastoetse; silika met besonder hoë SiO_2 inhoude, ens. Die verwerking daarvan is egter soms onvoldoende. Tipiese voorbeelde is media wat baie stof bevat en ook media waarvan die korrelgrootte verspreiding nie ooreenstem met die geadverteerde spesifikasies nie.

- Media word op 'n verskeidenheid van maniere gekarakteriseer. Sommige van hierdie maniere blyk oorbodig te wees. 'n Tipiese voorbeeld is die karakterisering van korrelgrootte. Hier word gebruik gemaak van geometriese diameters (d_g), hidrouliese diameters (d_h), ekwivalente diameters (d_{eq}), effektiewe diameter (d_{10}) ens. Hierdie maatstawwe is egter almal uniek en dien 'n spesifieke doel. Sorg moet dus gedra word dat elke toepassing van die regte media eienskap gebruik maak.
- Die gebruik van die oppervlak verhouding sferisiteit is fundamenteel die mees korrekte manier om korrelvorm te spesifiseer. Dit word voorgestel dat hierdie maatstaf in spesifikasie as eerste keuse gebruik word. Indien ander metodes gebruik word moet dit met sorg gedoen word met in ag name van hulle tekortkominge.
- Die evaluasie van media moet deurlopend gedoen word omrede die eienskappe van media beduidend van besending tot besending kan verander.
- Die modelle wat gebruik word om die media gedrag te voorspel, is redelik akkuraat. Hierdie modelle kan dus met vrug gebruik kan word in 'n lesenaarstudie en ontwerp-berekeninge.

Soos reeds genoem voldoen meeste eienskappe met gemak aan plaaslike en internasionale vereistes. Die eienskappe wat egter deurgaans evalueer moet word is die korrelgrootte verspreiding (d_{10} en UC) en die korrelvorm. Die ander eienskappe soos mediadigtheid, silika inhoud in sand, suur en basis oplosbaarheid en duursaamheid blyk deurgans binne vereiste spesifikasie te wees.

HOOFSTUK 5 - TENTATIEWE VOORSTELLE VIR MEDIASPEKIFIKASIE EN EVALUASIE

Die ondersoek wat in hierdie projek geloods is, lei daartoe dat 'n tentatiewe spesifikasie vir van Suid-Afrikaanse filtermedia voorgestel kan word. In hierdie ondersoek is 'n deeglike kennis van bestaande plaaslike en internasionale spesifikasies opgedoen, is verskeie toetsprosedures ondersoek en is 'n duidelike beeld gevorm van die standaard en potensiaal van plaaslike media.

Hierdie hoofstuk is opsommend van die werk wat in hierdie ondersoek gedoen is en dit toon die volgende:

- watter media eienskappe getoets moet word en hoekom,
- watter toetsprosedures gevolg moet word en watter media eienskappe daaruit bepaal kan word,
- watter spesifieke toetsmetodes gebruik moet word en dan laastens
- watter vereistes aan media gestel moet word.

Hierdie hoofstuk word verder aan die hand van tabelle aangebied.

Tabel 5.1 toon eienskappe wat ondersoek behoort te word en som ook die eienskap se invloed op die mediabed op.

Tabel 5.2 toon die verskillende toetse wat op media gedoen kan word en watter media eienskappe daaruit bepaal kan word. In hierdie tabel word verwysings na die teks van hierdie verslag gegee.

Tabel 5.3 toon die spesifieke toetsmetodes wat voorgestaan word. Waar die metode se beskrywing te omvangryk is, word 'n verwysing gegee waar dit in die teks gevind kan word.

Tabel 5.4 toon die vereistes wat aan media gestel moet word, opsommende waardes gemeet vir plaaslike media en internasionale spesifikasies.

Tabel 5.1
Belangrike media eienskappe en hul rol in 'n filterbed

Media eienskap	Invloed op die filter bed
Stofinhoud	- Veroorsaak bedverstoping a.g.v die vorming van 'n oppervlakte laag. - Gee aanleiding tot die vorming van modderballe in die bed.
Korrelgrootte	- Beïnvloed energieverlies in die bed, filtraat kwaliteit, bedryfsprosedures (bv. terugwastempo ens.), lengte van filterlopies en die diepte waartoe swewende soliedes die mediabed binnedring. - Speel ook 'n belangrike rol in multi-media filterbeddens.
Korrelgrootte verspreiding	- Veroorsaak stratifikasie van media binne die bed.
Korrelvorm	- Beïnvloed die terugwas vereistes van 'n mediabed, die bedporositeit, die energieverlies, die filtrasie effektiwiteit en die sifanalise resultate
Porositeit	- Is 'n funksie van korrelvorm en beïnvloed hoofsaaklik energieverlies binne die bed. - Dit word benodig om die gedrag van die media in die filterbed te voorspel.
Digtheid	- Beïnvloed hoofsaaklik die terugwasvereistes van 'n filter maar speel ook 'n belangrike rol in multi-media filters.
Duursaamheid	- Bepaal die langtermyn integriteit van die mediakorrels.
Silika inhoud van sand	- Gee 'n aanduiding van die media duursaamheid, suuroplosbaarheid, basisoplosbaarheid en skoonheidsgraad van die media.
Suuroplosbaarheid	- Bepaal mediagedrag onder lae pH-toepassings.
Basisoplosbaarheid	- Bepaal mediagedrag onder hoë pH-toepassings.

Tabel 5.2
Mediatoetse

Media toets	Media eienskappe wat uit toets bepaal kan word	Verwysing
Sifanalise	- Korrelgroottes, effektiewe diameter (d_{10}), korrelgrootte verspreiding (UC)	Paragraaf 3.3.2
Digtheidstoets	- Die digtheid en stortdigtheid van die media	Paragraaf 3.3.3
Tel en Weeg-toets	- Die ekwivalente diameter (d_{eq}) van die media	Paragraaf 3.3.4
Terminaal valsnelheid	- Die terminaal valsnelheid, die hidrouliese diameter, die hidrouliese ekwivalente sferisiteit en die vermengingsgedrag van media in multi-media filters	Paragraaf 3.3.5
Porositeitstoets	- Porositeit en porositeit by minimum fluïdisasie	Paragraaf 3.4.1
Energieverliestoets	- Die hidrouliese gradiënt van die media en die oppervlakverhouding sferisiteit	Paragraaf 3.4.2
Beduitsettings-eksperiment	- Die minimum fluïdisasie snelheid en beduitsettingsgedrag van media	Paragraaf 3.4.3
Terugwas eksperiment	- Duursaamheid van media	Paragraaf 3.4.4
Suuroplosbaarheid	- Suur oplosbaarheid	Paragraaf 3.5.1
Basis oplosbaarheid	- Basis oplosbaarheid	Paragraaf 3.5.2
Chemiese analise van silikasand	- Chemiese samestelling van silika sand - Suiwerheid van die silika - Graad van kontaminasie deur nie-silika materiaal	Paragraaf 3.5.3

Tabel 5.3
Keuse van spesifieke toetsmetodes

Prosedure	Metode (verwysing)
Monsterneming	Volgens ANSI/AWWA B100-89 of SABS Standaard metode 827-1976 (Paragraaf 3.2 van hierdie verslag)
Korrelgrootteverspreiding	'n Sifanalise moet gebruik word. Die metode word beskryf in SABS Standaard metode 829-1976. Die toetssiwwe moet voldoen aan SABS 197-1971. (Paragraaf 3.3.2 van hierdie verslag)
Digtheid	Die digtheid van nie-poreuse media word bepaal met SABS-standaardmetode 844-1976 of alternatiewelik die volume verplasingsmetode soos beskryf in paragraaf 3.3.3. Vir poreuse materiaal soos antrasiet word die metode beskryf deur Degre-mont verkies. Hierdie metode word ook in paragraaf 3.3.3 bespreek.
Sferisiteit	Korrelvorm moet verkieslik gespesifiseer word aan die hand van die oppervlakverhouding sferisiteit. Die sferisiteit word bepaal deur vir ψ uit die Ergun vergelyking (vergelyking 2.30) op te los, gegee dat die ander veranderlikes bekend is. Die metode word in paragraaf 2.2.4 bespreek.
Duursaamheid	Die duursaamheid van media moet in 'n terugwaskolom getoets word soos voorgestel deur Ives (1990), d.w.s terugwas in 'n kolom vir 100 uur teen minimum fluïdisasie. Hierdie eksperiment word volledig beskryf in paragraaf 2.2.6.
Silika inhoud van silika sand	X-straal fluoressensie gedoen deur 'n kommersiële laboratorium word as standaard prosedure voorgestel.
Suuroplosbaarheid	Onderdompeling van media onder genoeg 20% per volume HCl-oplossing vir 24 uur teen kamer temperatuur waarna die media deeglik met warm gedistilleerde water afgespoel word.
Basisoplosbaarheid	Onderdompeling van media onder genoeg 2% per massa NaOH-oplossing vir 24 uur teen kamertemperatuur waarna die media deeglik met warm gedistilleerde water afgespoel word.

Tabel 5.4
Mediaspesifikasies

Media eienskap	Tentatiewe spesifikasie vir Suid-Afrika	Gemeet vir Suid-Afrikaanse media in hierdie ondersoek	Bestaande spesifikasies
Korrelgrootte en korrelgrootte verspreiding	d_{10} - geen spesifikasie $UC \leq 1,40$ Maak gebruik van begrensingskrommes	$0,28 \leq d_{10} \leq 2,35$ $1,28 \leq UC \leq 2,36$	d_{10} - geen spesifikasie $1,25 \leq UC \leq 1,80$ Verwys Tabel 2.1
Media digtheid	Geen spesifikasie	Silika $\approx 2630 \text{ kg.m}^{-3}$ Antrasiet $\approx 1400 \text{ kg.m}^{-3}$ Filterite $\approx 3200 \text{ kg.m}^{-3}$	Vergelyk Tabel 2.5
Oppervlakverhouding Sferisiteit	Geen spesifikasie. Die gebruik van skerfagtige korrels word aanbeveel.	$0,42 \leq \psi \leq 0,86$	Vergelyk Tabel 2.4
Duursaamheid	Verliese $\leq 1\%$ is aanvaarbaar Verliese tussen 1% en 3% moet bevraagteken word	Verliese tussen $0,02\%$ en $0,37\%$	Vergelyk Tabel 2.7
Silika inhoud van silika sand	SiO_2 -inhoud $\geq 98\%$	Tussen $98,4\%$ en $99,9\%$	Vergelyk Tabel 2.9
Suuroplosbaarheid	Suuroplosbare materiaal $\leq 2\%$	Tussen $0,11\%$ en $1,73\%$	Suuroplosbare materiaal ≤ 2 tot 5%
Basisoplosbaarheid	Basisoplosbare materiaal $\leq 2\%$	Tussen $0,02\%$ tot $1,00\%$	Geen spesifikasie

Alhoewel daar nie vereistes op sommige van die media eienskappe (bv. porositeit, sferisiteit, digtheid, ens.) geplaas word nie, is dit steeds noodsaaklik dat ontwerpers hierdie eienskappe meet omrede dit nodig sal wees om die mediagedrag in die filterbed te voorspel.

HOOFSTUK 6 - SLOT EN VERDERE WERK

Die titel van hierdie ondersoek is die evaluasie van Suid-Afrikaanse filtermedia. Omdat moontlik te maak moes die projek noodwendig in verskeie kleiner dele opgebreek word. Nadat 'n deeglike literatuurstudie gedoen is, verskeie toetsmetodes ondersoek is, produsente geïdentifiseer is en hul media getoets is en verskeie wiskundige modelle ondersoek is, is die volgende in hierdie ondersoek vermag:

- 'n Duidelike beeld is verkry van watter media eienskappe plaaslik en internasionaal as belangrik geag word en ook watter vereistes daaraan gestel word,
- verskeie toetsmetodes vir media is ondersoek en die mees akkurate en praktiese metodes is identifiseer,
- die plaaslike media is aan die hand van hierdie toetsmetodes ondersoek en 'n goeie aanvoeling is vir die kwaliteit en eienskappe van plaaslike media ontwikkel,
- 'n tentatiewe spesifikasie vir media in diepbedfiltrasie is vir Suid-Afrika voorgestel, en
- verskeie gedragvoorspellingsmodelle vir media is ondersoek waaruit die bestes gekies is as aanbeveling vir gebruik in Suid-Afrika.

Die ondersoek wat hier geloods is behoort die plaaslike filtermedia bedryf in die toekoms goed te staan te kom omdat die probleme wat hulle vooraf geïdentifiseer het, grootliks in hierdie studie aangespreek is. Daar is egter nog verdere werk wat in die karakterisering en evaluering gedoen kan word om probleme verder aan te spreek en toetsprosedures te vergemaklik. Hierdie is:

- Die spesifikasie van UC is grotendeels proefondervindelik vasgestel. 'n Studie kan geloods word om die mees ekonomiese spesifikasie vas te stel gebaseer op produksiekoste en filterbedryf ekonomie.
- Die ontwikkeling van direkte meetmetodes vir die oppervlakverhouding sferisiteit

van media korrels.

- 'n Onderzoek na die gebruik van terminaal valsnelheid om die oppervlakverhouding sferisiteit van media korrels te bepaal. Die gebruik van Pettyjohn en Christiansen (1948) se vergelykings, in besonder vergelyking 2.16, kan as beginpunt oorweeg word.
- 'n Onderzoek na die kwantifisering van media vermenging. Huidige teoretiese modelle toon aan wanneer vermenging van media sal plaasvind maar nie tot watter mate nie. Dit sal 'n studie na optimale mediavermenging in multimedia filters vergemaklik.
- Die daarstel van 'n toetsmetode wat die punt van minimum fluïdisasie meer akkuraat vaspen as die interpolasie metode gebruik in hierdie ondersoek.
- Die silika inhoud van sand word geredelik gemeet en gespesifiseer. Die verband, indien enige, tussen hierdie waarde en media eienskappe soos suuroplosbaarheid, basisoplosbaarheid, weerstand teen afslyting, ens. is onbekend. Hierdie aspek kan verder ondersoek word.

BIBLIOGRAFIE

Amirtharajah A, Cleasby JL (1972) Predicting Expansion of Filters During Backwash. *Journal AWWA* Januarie 1972 p.52-59.

Amirtharajah A, McNelly N, Page G, McLeod J (1991) *Optimum Backwash of Dual Media Filters and GAC Filter-Adsorbers with Air Scour*. American Water Works Association, Denver. 17.

Anon. (1936) Filter Sand for Water Purification Plants. *Proceedings ASCE* Desember 1936 p.1543-1580.

Armstrong JW (1931) Filter Sand. *Journal AWWA* 23(9) 1292-1310.

AWWA (1949) Tentative Standard Specifications for Filtering Material. *Journal AWWA* Maart 1949 p.289-304.

AWWA (1989) *AWWA Standard for Filtering Material ANSI/AWWA B100-89*. American Water Works Association, Denver.

AWWA (1990) *Water Quality and Treatment. Chapter 8, Filtration by JL Cleasby*. American Water Works Association, New York.

Baylis JR (1935) A Study of Filtering Materials for Rapid Sand Filters. *Water Works and Sewerage* Maart 1935 p. 89-93.

Baylis JR (1937) Experiences in Filtration. *Journal AWWA* 29(7) 1010-1048.

Baylis JR (1959) Nature and Effects of Backwashing. *Journal AWWA* Januarie 1959 p.126-156.

Blake FC (1922) The Resistance of Packing to Fluid Flow. *Transactions of the American Institute of Chemical Engineering* **14** p.415-421.

Box GEP, Hunter WG, Hunter JS (1978) *Statistics for Experimenters*. John Wiley & Sons, New York.

Burke SP, Plummer WB (1928) Gas Flow through Packed Columns. *Industrial and Engineering Chemistry* **20**(11) 1196-1200.

Camp TR (1961) Bespreking van "Experience With Anthracite-Sand Filters". *Journal AWWA* Desember 1961 p.1478-1483.

Camp TR (1964) Theory of Water Filtration. *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings ASCE* **90**(SA4) 1-30.

Camp TR, Graber SD, Conklin GF (1971) Backwashing of Granular Water Filters. *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings ASCE*, **21**(SA6) 903-926.

Cleasby JL, Arboleda J, Burns DE, Prendiville PW, Savage ES (1977) Backwashing of Granular Filters. *Journal AWWA* February 1977 p.115-126.

Cleasby JL, Fan K (1981) Predicting the Fluidization and Expansion of Filter Media. *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings ASCE* **107**(EE3) 455-471.

Cleasby JL, Sejkora AM (1975) Effect of Media Intermixing on Dual Media Filtration. *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings ASCE* **101**(EE4) 503-516.

Cleasby JL, Woods CF (1975) Intermixing of Dual Media and Multimedia Granular Filters. *Journal AWWA* April 1975 p.197-203.

Coetzee CB (1976) *Delfstowwe van die Republiek van Suid-Afrika*. Departement Mynwese, Die Staatsdrukker, Pretoria p.419-422.

Conley WR (1961) Experience with Anthracite-Sand Filters. *Journal AWWA* Desember 1961 p.1473-1483.

Conley WR, Pitman RW (1960) Test Program for Filter Evaluation at Hanford. *Journal AWWA* Februarie 1960 p.205-214.

De Boor E (Julie 1992) Persoonlike kommunikasie. Martin Robson (Pty) Ltd Industrial Base Minerals, Johannesburg.

De Lathouder A (1973) *Eigenschappen en Karakterisering van Filtermateriaal*. Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen KIWA N.V., Rijswijk.

Degrémont (1979) *Water Treatment Handbook - Fifth Edition*. Halsted Press, John Wiley and Sons, New York. p.186-196, 378-383.

Dharmarajah AH, Cleasby JL (1986) Predicting the Expansion of Filter Media. *Journal AWWA* Desember 1986 p.66-76.

Dharmarajah AH, Cleasby JL (1989) Discussion on Expansion of Granular Filters during Backwashing. *Journal of Environmental Engineering* April 1989 p.469-471.

DIN (1978) *Filter Sands and Filter Gravels or Water Purification Filters - Technical Conditions for Delivery*, **DIN 19623**. Deutsche Institut für Normung, Berlyn.

Ergun S (1952) Fluid Flow through Packed Columns. *Chemical Engineering Progress* **48**(2) 89-94.

Fair GM, Geyer JC, Okun DA (1968) *Water and Wastewater Engineering (Vol 2) Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Fair GM, Hatch LP (1933) Fundamental Factors Governing the Streamline Flow of Water through Sand. *Journal AWWA* **25**(11) 1551-1565.

Fidleris V, Whitmore RL (1961) Experimental Determination of the Wall Effect for Spheres falling Axially in Cylindrical Vessels. *British Journal of Applied Physics* **12** 490-494.

Fritz JS, Schenk GH (1979) *Quantitative Analytical Chemistry, Fourth Edition*. Allyn and Bacon, Inc., Boston.

Galvin RM (1992) Ripening of Silica Sand Used for Filtration. *Wat. Res.* **26**(5) 683-688.

Ghosh G (1958) Media Characteristics in Water Filtration. *Journal of the Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE*. **84**(SA 1) 1533-1.

Gunisingham K, Lekkas TD, Fox GTJ, Graham NJD (1979) Predicting the Expansion of Granular Filter Beds. *Filtration & Separation* November/Desember 1979 p.619-623.

Haarhoff J, Schoeller D (1985) Dokumentasie vir "Airstrip" - 'n Rekenaarprogram ontwikkel vir die ontwerp van gepakte belugtingstorings.

Heywood H (1947) The Scope of Particle Size Analysis and Standardization. *J. Imp. College Chem. Eng. Soc.* **4** 17.

ISI (1977) *Indian Standard. Requirements for Filtration Equipment IS:8419 (Part 1) 1977*. Indian Standards Institution, New Delhi.

Ives KJ (1975) Specifications for Granular Filter Media. *Effluent and Water Treatment Journal* Junie 1975 p.296-305.

Ives KJ (1990) Testing of Filter Media. *J Water SRT-Aqua* **39**(3) 144-151.

Morrison IR (April 1993) Persoonlike kommunikasie. Kaapstad Stadsingenieurs Departement, Wetenskaplike Dienste Tak.

Pearson IA (1991) *An Evaluation of Filterite Filter Medium for Use in Water Filtration*. CSIR-Division of Water Technology, Pretoria.

Pettyjohn ES, Christiansen EB (1948) Effect of Particle Shape on Free Settling Rates of Isometric Particles. *Chemical Engineering Progress* **44**(2) 157-172.

Randwaterraad (1993) *Tender Document for Contract 1790: Additional Water Supply (1992) Scheme*. Randwaterraad, Johannesburg.

Richardson JF, Zaki WN (1954) Sedimentation and Fluidization: Part 1. *Trans. Instn Chem. Engrs* **32** 35-53.

SABS (1971) *Spesifikasie vir Gietsand* **CKS 305-1971**. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde, Pretoria.

SABS (1971) *Standaardspesifikasie vir Toetssiwwe* **SABS 197-1971**. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde, Pretoria.

SABS (1972) *Spesifikasie vir Aggregaat vir Snelvalfilters* **CKS 85-1972**. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde, Pretoria.

SABS (1976) *SM 827-Monsterneming van Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaarde, Pretoria.

SABS (1976) *SM 828-Voorbereiding van Toetmonsters van Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *SM 829-Fyngruisgehalte, Stofgehalte en Sifontleding van Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *SM 832-Organiese Onsuierhede in Fyn Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *SM 834-Oplosbare Skadelike Onsuierhede in Fyn Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *SM 844-Relatiewe Digtheid van Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *SM 647-Skilferingsindeks van Growwe Aggregate*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *Standaardspesifikasie Aggregate uit Natuurlike Bronne SABS 1083-1976*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

SABS (1976) *Standaardspesifikasie vir Sand vir Pleister en Dagha SABS 1090-1976*. Suid-Afrikaanse Buro vir Standaard, Pretoria.

Sakthivadivel R, Thanikachalam V, Seetharaman S (1972) Headloss Theories in Filtration. *Journal AWWA* April 1972 p.233-238.

Sholji I (1987) Expansion of Granular Filters during Backwashing. *Journal of Environmental Engineering* **113**(3) 516-531.

Sholji I, Johnson FA (1987) Comparison of Backwash Models for Granular Media. *Journal of Environmental Engineering* **113**(3) 532-549.

Walpole RE, Meyers RH (1978) *Probability and Statistics for Engineers and Scientists* 2Ed. MacMillan Publishing Co., Inc., New York.

Wen CY, Yu YH (1966) Mechanics of Fluidization. *Chemical Engineering Progress Symposium Series* **62**(62) 100-111.

Wilhelm RH, Kwauk M (1948) Fluidization of Solid Particles. *Chemical Engineering Progress* **44**(3) 210-218.

Zenz FA, Othmer DF (1960) *Fluidization and Fluid-Particle Systems*. Reinhold Publishing Corporation, New York.