



Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringssystemen

Deel 4: DWA-systemen



De Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringssystemen is de bijlage 1 bij het besluit van de Vlaamse minister van Leefmilieu, Natuur en Cultuur tot vaststelling van de code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringssystemen (20/08/2012).

Bij elk hoofdstuk van de code van goede praktijk hoort ook een technische toelichting:

- Deel 1: Juridisch kader
- Deel 2: Afwateringssysteem
- Deel 3: Bronmaatregelen
- **Deel 4: DWA-systemen**
- Deel 5: Ontwerpneerslag
- Deel 6: Dimensionering hemelwaterriolen en gemengde riolen
- Deel 7: Overstortemissies
- Deel 8: Zuiveringsinstallaties
- Deel 9: Onderhoud

Colofon

Werkgroep Waterzuivering van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid
p/a VMM - CIW-secretariaat
A. Van de Maelestraat 96
9320 Erembodegem
T 053 726 507
F 053 704 276
Secretariaat_CIW@vmm.be
www.integraalwaterbeleid.be

Foto voorblad: TMVW-archief

D/2012/6871/034

Inhoud

4	DWA-systemen	4
4.1	Systeemkeuze	4
4.1.1	Definities	4
4.2	Maatgevende parameters inzake droogweerafvoer	4
4.2.1	Variatie inzake afvoerdebieten	4
4.2.2	Bepaling ontwerpdebiet	6
4.3	Ontwerp van gravitaire DWA-riolen	10
4.3.1	Dimensionering	10
4.3.2	Minimale schuifspanning en helling	10
4.3.3	Invloed van pompen op de helling van gravitaire DWA-riolen	21
4.3.4	Nooduitlaten	22
4.3.5	Restverharding	22
4.3.6	Bijkomende vereisten	23
4.3.7	Aansluitingen	23
4.4	DWA-riolen met beperkte hemelwatertoevoer als spoeldebiet	27
4.5	Pompstations	28
4.5.1	Werking van een pompstation	28
4.5.2	Dimensionering van de pompput	28
4.5.3	Dimensionering van de persleiding	29
4.5.4	Randvoorwaarden	29
4.6	Drukriolering	32
4.6.1	Inleiding	32
4.6.2	Werking van een drukriolering	32
4.6.3	Dimensionering van de pompput	32
4.6.4	Dimensionering van de persleiding	33
4.6.5	Specifieke randvoorwaarden voor drukriolering	33

4 DWA-systemen

4.1 Systeemkeuze

Bij de afvoer van afvalwater door leidingen kan gekozen worden tussen twee grote groepen van systemen: gravitaire systemen en drukriolering. Daarnaast bestaan ook nog andere alternatieve systemen zoals het luchtpersrioolpompsysteem of het vacuümrioleringssysteem. Deze systemen worden momenteel in Vlaanderen weinig of niet toegepast en worden daarom ook niet beschreven.

Bij gravitaire systemen komt het afvalwater van de individuele woningen in een buis met kleine diameter terecht en wordt het louter onder invloed van de zwaartekracht naar een lager gelegen punt gebracht, waar een zuivering of een verdere doorvoer van het afvalwater mogelijk is.

Daarnaast is het ook mogelijk om te werken met drukriolen. Hierbij wordt ter hoogte van elke woning of cluster van woningen een kleine pompput voorzien, vanwaar het verzamelde afvalwater in een gezamenlijke transportleiding wordt gepompt. Dat systeem zal bij voorkeur worden gebruikt waar de afstand tussen de aan te sluiten woningen groot is, het reliëf een gravitaire afvoer niet toelaat of in functie van het noodzakelijke wegherstel.

Welk systeem het meest geschikt is, hangt vaak af van de lokale omstandigheden. Elk van deze types van DWA-systemen moet op maat worden gedimensioneerd. In bepaalde gevallen kan een combinatie van beide systemen de beste oplossing bieden.

4.1.1 Definities

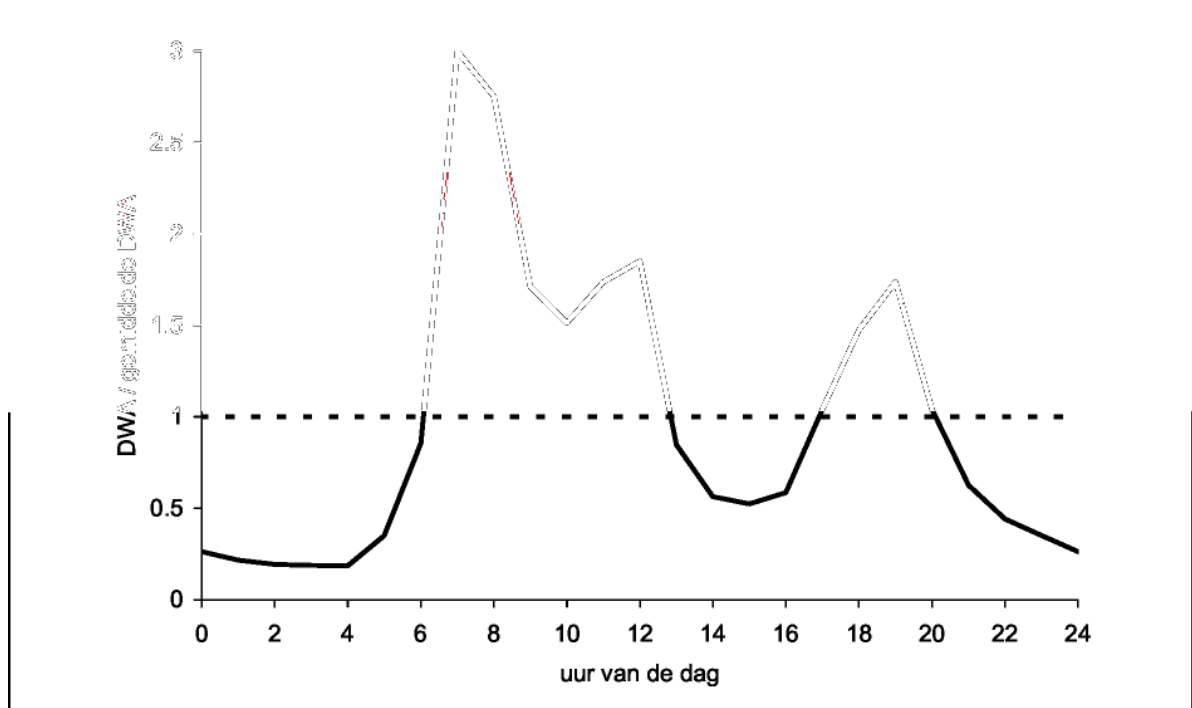
- Overstort= externe overloop die in werking treedt omwille van beperkte afvoercapaciteit van de riolering.
- Nooduitlaat= externe uitlaat, om in geval van calamiteiten, bijvoorbeeld pomputval, het afvalwater te evacueren en zo wateroverlast te voorkomen. Een nooduitlaat wordt dus niet beschouwd als een overstort.
- Interne noodoverloop= overloop van een DWA (droogweerafvoer) naar een (afwaartse) DWA-riool, het is dus een interne bypass in het DWA stelsel om in geval van pomputval de doorvoer van het water via de hogergelegen overloop toch nog te garanderen. Deze mogelijkheid zal vooral voorkomen bij opvoergemalen van een cascade-riolering. De overloop maakt een interventie bij pomputval minder dringend.
- Toezichtput= niet mantoegankelijke put. Deze put is enkel geschikt voor visuele bovengrondse controle en het inbrengen van een camera of reinigingstoestel.
- Inspectieput= mantoegankelijke put

4.2 Maatgevende parameters inzake droogweerafvoer

4.2.1 Variatie inzake afvoerdebieten

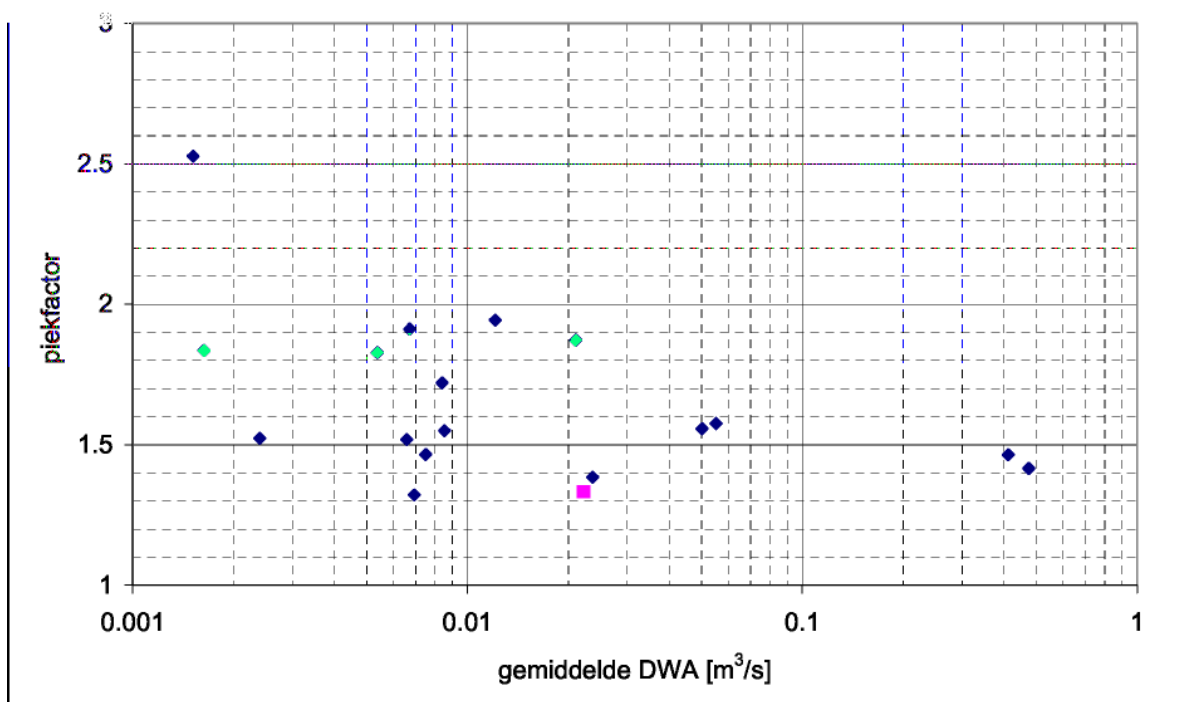
De afvoerdebieten tijdens droog weer variëren sterk met het uur van de dag. Een voorbeeld van een DWA-profiel is weergegeven in figuur 4.1.

Afhankelijk van de locatie werd een verschillende piekfactor gevonden, welke de dag-nacht variatie uit figuur 4.1. versterkt of dempt. In opwaartse delen van een rioolnetwerk zal de DWAcyclus minder uitgevlakt zijn dan in afwaartse delen, omdat niet iedereen tegelijk loost en omdat opwaartse lozingen tijdens de stromingstijd doorheen het riool worden uitgevlakt. Ook de gebruiksfunctie speelt hierbij een rol: in deelgebieden met enkel woningen zal de dag-nacht cyclus minder uitgevlakt worden dan in deelgebieden met ook kantoren, industrie en dergelijke.



Figuur 4.1: Voorbeeld van een dag-nacht variatie van de droogweer afvoer (piekfactor=3)

In figuur 4.2. wordt voor de verschillende DWA-cycli de piekfactor p weergegeven in functie van het gemiddelde DWA-debiet. De piekfactor is hierbij gedefinieerd als het maximale uurgemiddelde debiet gedeeld door het daggemiddeld debiet. Hierbij werd een variatie tussen 1,3 en 3 vastgesteld op basis van een gemiddeld lozingsdebiet van 150 l/inwoner/dag. De hogere piekfactoren worden bij zeer lage debieten gevonden en bevatten dus een grotere onzekerheid. De vermelde piekfactoren zijn gebaseerd op uurgemiddelden. Ogenblikkelijk kunnen zich nog kortstondige hogere piekfactoren voordoen. Uit figuur 4.2. blijkt dat de normale variatie aan uurlijkse piekfactoren gelegen is tussen 1,3 en 2,0. Figuur 4.2. toont ook een lichte correlatie tussen de piekfactor en de gemiddelde DWA (of het aantal InwonerEquivalenten (IE)), maar de spreiding is te groot om dit als een eenduidige relatie te kunnen hanteren. Om deze DWAmetingen via een hydrodynamisch model te kunnen reproduceren, werd een gelijkaardige dag-nacht variatie gebruikt met een uurlijkse piekfactor gelijk aan 3,2 (d.i. voor een individuele lozing) [Bouteligier et al., 2001]. In principe is er ook nog een verschil in profiel tussen weekdays en weekenddagen en in functie van het seizoen, maar deze variatie is een grootte-orde kleiner dan de dag-nacht variatie, behalve bij industriegebieden, vakantieoord en dergelijke.



Figuur 4.2: Variatie van piekfactoren (verhouding maximaal uurdebiet t.o.v. gemiddeld dagelijks gebied) voor verschillende meetlocaties op basis van een lozingsdebiet van 150 l/inwoner/dag.

4.2.2 Bepaling ontwerpdebiet

4.2.2.1 Huishoudelijke activiteiten

Traditioneel wordt een DWA-riool ontworpen voor een piek-DWA en voor een halfvolle leiding. Dit ontwerpdebiet wordt berekend als:

$$DWA_{\text{ontwerp}} = p \cdot q \cdot N \text{ [l/dag]}$$

Met:

p = ontwerppiekfactor [-]

q = verbruik per inwoner per dag = 150 l per dag per inwoner

N = aantal inwonerequivalenten = aantal huidige en toekomstige inwonerequivalenten

Het aantal toekomstige inwonerequivalenten wordt, tenzij andere gegevens beschikbaar zijn, ingeschat op basis van het aantal lege kavels à rato van 2,4 IE/kavel.

Omdat een DWA-leiding niet mag worden gedimensioneerd voor stroming onder druk, dient de dimensionering bij een vollopende leiding voor het werkelijke piekdebiet te worden bekeken. Dan is men er tenminste zeker van dat de capaciteit van de leiding overeenstemt met het piekdebiet. Indien men wil dimensioneren voor een halfvolle leiding moet men een piekfactor nemen die gelijk is aan de helft van de maximale piekfactor, omdat het debiet bij een vollopende leiding het dubbel is van het debiet bij een halfvolle leiding. In principe kan men voor geen enkel rioleringsnetwerk uitsluiten dat het onder druk komt omwille van kortstondige debieten die groter zijn dan het ontwerpdebiet. De keuze van de piekfactor is dan ook geen exacte wetenschap, maar een risico-evaluatie.

De keuze van de piekfactor bij vollopende leidingen lijkt dus van cruciaal belang. Toch mag de ontwerppiekfactor niet te groot worden gekozen om zo de kans van het onder druk komen sterk te beperken. Men kan beter nagaan of het systeem, ten gevolge van randvoorwaarden of een hogere belasting, onder druk komt en waar dit zich voordoet en hoe groot het probleem is en of het systeem dit aankan. Immers bij een te hoge keuze van de ontwerppiekfactor zal men dimensioneren op zeer zeldzame piekdebieten en zal men veel vaker te lage afvoersnelheden bekomen, waardoor er meer sedimentatie kan optreden (zie paragraaf 4.2.4). De DWA-leidingen en verbindingen moeten in elk geval waterdicht zijn, zodat noch infiltratie noch exfiltratie mogelijk zijn. Dit betekent dat de leiding een zekere in- en uitwendige druk moet kunnen weerstaan. De verliezen bij luchtdichtheid of waterdichtheidsproeven moeten worden beperkt conform het standaardbestek 250. Er mogen in geen geval overstorten worden gebouwd op DWA-riolen om capaciteitsproblemen (met stroming onder druk tot gevolg) op te lossen.

Als ontwerppiekfactor wordt traditioneel 1,7 genomen bij een halfvolle leiding [VMM, 1996a]. Dit is niet dezelfde piekfactor als gebruikt in paragraaf 4.2.1. De ontwerp-DWA bij een piekfactor van 1,7 wordt traditioneel DWA14 (ook wel Q14 genoemd) omdat dit overeenkomt met het DWAdagvolume gespreid over 14 uren: $p = 24/14 = 1,7$. In de dimensionering van het DWA-riool zal echter ook rekening gehouden worden met een reserve, omdat er tijdens de dag pieken kunnen voorkomen die hoger zijn dan $1Q_{14}$. In afwachting van verder onderzoek wordt momenteel uitgegaan van piekdebieten tot 2 maal de piekfactor 1,7. Dit is ook de reden waarom gesproken wordt van “ $2Q_{14}$ ” of “2 DWA” riolerings.

De keuze van een piekfactor 1,7 bij halfvolle leiding (komt overeen met een piekfactor 3,4 bij vollopende leiding) lijkt een aanvaardbare keuze. Dit komt bij een dagverbruik van 150 l/inwoner/dag overeen met een piek-DWA-debiet van 5,9 l/s per 1000 inwoners. Piek-DWAdebieten die groter zijn dan 3,4 keer de gemiddelde DWA komen uiterst zelden voor. De meetresultaten in paragraaf 4.2.1 tonen lagere piekwaarden, maar dit zijn uurgemiddelde en geen ogenblikkelijke waarden. Bij opwaartse leidingen met een grotere piekfactor zal men toch een grotere capaciteit van de leiding bekomen dan het ontwerpdebiet, omdat men met een minimale diameter moet rekenen.

Een minimale diameter van een DWA-leiding van 150 mm en een helling van 5,4 ‰ levert een capaciteit op van 11,1 l/s. Bij een piekfactor van 3,4 en een specifiek lozingsdebiet van 150 l/inwoner/dag komt dit overeen met een maximale capaciteit van 1890 lE. De kans dat de piekfactor bij een dergelijk grote bevolkingsgroep groter is dan 3,4 is zeer klein. Bovendien zal tengevolge van de stimulering van waterbesparing het gemiddelde lozingsdebiet in de toekomst waarschijnlijk niet toenemen.

Om de maximale capaciteit na te gaan, kijkt men dus best naar het piekdebiet bij een vollopende leiding, maar op die manier bekomt men een bovengrens voor de piekfactor. De meer courante piekfactoren zullen veel kleiner zijn. Uit figuur 4.2. blijkt dat de piekfactor zelfs tot 1,3 kan dalen.

De keuze van deze min of meer beperkte piekfactoren leidt tot een beperkte reserve m.b.t. parasitair water. Hierdoor is het absoluut vereist om DWA-riolen waterdicht aan te leggen.

Voor grote gebouwen moet de maximale DWA expliciet berekend worden. Dat kan gebeuren met een statistische methode of met een empirische methode om het gemiddelde afvalwaterdebiet en de bijbehorende piekfactor te bepalen.

Indien niet-huishoudelijke activiteiten worden aangesloten op een drukrioleringsstelsel moet de haalbaarheid worden onderzocht in functie van frequentie, duur en debiet van de afvalwaterstroom.

4.2.2.2 Niet-huishoudelijke activiteiten

Indien er ook niet-huishoudelijk afvalwater in de DWA-riolen terecht komt, kan dit worden ingerekend in de dimensionering door de overeenkomstige piekdebieten op te tellen bij de

huishoudelijke DWA-piekdebieten (bij piekfactor 3,4 of 2 DWA14) en te dimensioneren voor een vollopende leiding. Er moet in eerste instantie worden nagegaan of deze activiteiten bijdragen tot een significante stijging van de debieten in het afvoergebied. Bijvoorbeeld bij aanwezigheid van kantoorgebouwen is na te gaan of te verwachten is dat de woon-werk verplaatsingen in evenwicht zijn. Zo niet, dient een extra debiet te worden ingerekend voor de kantoorplaatsen. Hetzelfde geldt voor o.a. restaurants, hotels, ziekenhuizen, scholen, recreatie-terreinen, campings, ...

4.2.2.2.1 Richtcijfers voor industriële belasting

In het geval dat bedrijfsafvalwater afgevoerd wordt naar het rioleringsstelsel, moeten ook deze maximale debieten afzonderlijk bepaald worden.

Voor toekomstige industriegebieden of uitbreidingen van industriegebieden waarvoor concrete plannen van realisatie binnen de 5 jaar bestaan, wordt rekening gehouden met een debiet van 0,5 l/s.ha, wat overeenkomt met een debiet van 2Q14 van 85 IE per hectare. Deze waarde is dus richtinggevend en moet worden afgetoetst in functie van de te verwachten industrie.

Voor wat de hydraulische berekening betreft, dient rekening te worden gehouden met de vergunde debieten:

- Indien continue debietsgegevens of uurdebieten ter beschikking zijn, wordt het maximaal debiet nagegaan en gebruikt voor het hydraulisch ontwerp;
- Indien enkel jaardebieten voorhanden zijn kan een terugrekening gebeuren naar dagdebieten: bijvoorbeeld voor kantoren op basis van werkdagen of voor campings op basis van toeristische seizoenen;
- Indien dagdebieten voorhanden zijn, wordt het maximum genomen en wordt een piekfactor toegepast, eventueel kan éénzelfde piekfactor verondersteld worden als voor huishoudelijk afvalwater. $\text{Ontwerpsdebiet} = 2Q_{14}$, $\text{debiet} = \text{max. dagdebiet} \times 1,7 \times 2$;
- Indien geen debietsgegevens voorhanden zijn, dan kan gebruik gemaakt worden van algemene richtcijfers.

Voor wat de berekening betreft, dient rekening te worden gehouden met (in volgorde van voorkeur en in functie van de beschikbaarheid) meetgegevens, heffingsgegevens of andere.

4.2.2.2.2 Richtcijfers voor agrarische belasting

Hoewel de omvang van de lozingen van de agrarische bedrijven sterk kan variëren wordt in de praktijk voor dit bedrijfsafvalwater uitgegaan van de volgende gemiddelde waarden inzake debiet. Daarnaast kan er ook een grote variatie zijn inzake de samenstelling van het afvalwater.

Melk(rund)veehouderij.

Hierbij kan per bedrijf een verbruik van 500 l en een maximale afvoer van 72 à 100 l/h worden ingerekend.

Hierbij is uitgegaan van:

- spoelwater melkleidingen: 200 l/reiniging, totaal 400 l/dag
- spoelwater melktank: 120 l/reiniging (1 keer per 2-3 dagen)

De gierkelder mag niet worden aangesloten op de riolering.

Landbouwoonbedrijven

Voor landbouwbedrijven moet men rekening houden met sanitair- en reinigingswater, al dan niet vermengd met hemelwater, van wasplaatsen voor machines en werktuigen en van verontreinigd hemelwater van tankplaatsen en verhard bedrijfsterrein. De afvoer via aanwezige benzine-olieafscheiders en borstelwasmachines kan aanleiding geven tot een bijkomend debiet. Dit debiet zal in functie van het specifieke bedrijf moeten worden bepaald.

In geval van drukriolering is het niet aan te bevelen te dimensioneren op het totaal van de maximale capaciteit van de geïnstalleerde apparatuur en de eventuele afvoer van verontreinigd hemelwater. Voorgesteld wordt de lozer een afvoer op de drukriolering toe te staan die is afgestemd op de verwerkingscapaciteit van de pompput van 3 à 5 m³/h. Door deze limiet te stellen wordt de problematiek van de grotere hoeveelheid geproduceerd afvalwater neergelegd bij de lozer.

4.2.2.2.3 Speciale gebouwen

Voor grote of speciale gebouwen (scholen, ziekenhuizen, hotels, sportcomplexen, kantoren, enz...) dient een detailberekening te gebeuren met een statistische berekeningsmethode om het gemiddelde afvalwaterdebiet en de piekfactor te bepalen.

Indien geen detailberekening of specifieke gegevens ter beschikking zijn kan men gebruik maken van de cijfers uit het "Besluit van de Waalse Regering dd. 6 november 2008 tot bepaling van de sectorale voorwaarden voor de individuele zuiveringsstations en –systemen geïnstalleerd in afwijking van de verplichting tot aansluiting op riolering" worden toegepast (tabel 4.1) [BS, 9 december 2008].

Tabel 4.1: Inwonerequivalenten van speciale gebouwen

Gebouw of complex	Aantal inwoner-equivalent (IE)
Fabriek, werkplaats	1 werkmans= 0,5 IE
Kantoor	1 bediende= 1/3 IE
School zonder baden, stortbaden of keukens (externaat) *	1 leerling= 1/10 IE
School met baden en zonder keukens (externaat) *	1 leerling= 1/5 IE
School met baden en keukens (externaat) *	1 leerling= 1/3 IE
School met baden en keukens (internaat)	1 leerling= 1 IE
Hotel, pension *	1 bed= 1 IE
Camping – doorreisplaats	1 plaats= 1,5 IE
Camping – verblijfplaats	1 verblijfplaats= 2 IE
Kazerne	1 persoon (voorzien)= 1 IE
Restaurant*	1 opgediende maaltijd= 0,25 IE Aantal IE= 0,25 IE x gemiddeld aantal maaltijden opgediend per dag
Theater, bioscoop, feestzaal, slijterijen van dranken	1 plaats= 1/30 IE
Sportpark	1 plaats= 1/20 IE
Home, centrum voor specifieke verzorging, gevangenis	1 bed= 1,5 IE

Voor de met * aangeduide gebouwen of complexen wordt het op de grond van de tabel berekend aantal IE verhoogd met 0,5 IE per personeelslid dat in de instelling tewerkgesteld is. Voor de bepaling van de vereiste nuttige capaciteit wordt rekening gehouden met een eventuele vermeerdering van het aantal gebruikers van het aangesloten gebouw of complex

4.2.2.3 Opwaartse afvalwaterstromen

Opwaartse pompdebieten worden volledig meegerekend in het ontwerpdebiet van een gravitaire leiding.

Het pompdebiet zelf mag maximaal een halve buisvulling geven. Op die manier worden huisaansluitingen op de gravitaire streng afwaarts persleidingen wel toegestaan in 2DWAstelsels.

In een drukriolering is het in te rekenen pompdebiet meestal kleiner dan de som van alle individuele debieten. Er kan nl. van uitgegaan worden dat niet alle units tegelijk werken. Bovendien wordt bij

samenwerking het debiet sterk afgevlakt door de dynamische verliezen, maar ook doordat niet alle pompunits debiet leveren. Hiervoor worden gevals specifieke rekennota's uitgewerkt.

4.2.2.4 Parasitaire debieten

Parasitaire debieten (permanente drainage, infiltratie van grondwater, opgevangen bronnen, afgeleid oppervlaktewater, ...) moeten opgespoord en afgekoppeld worden via de aanleg van een gescheiden stelsel.

Infiltratie van grondwater in rioolbuizen in waterzieke gebieden dient in de eerste plaats te worden vermeden.

Drainagewater dient te worden afgevoerd via een aparte leiding, indien er geen grachtenstelsel aanwezig is. De afkoppeling van parasitaire debieten kan eveneens gebeuren door infiltratie.

Tijdelijke parasitaire debieten ten gevolge van werkzaamheden, zoals bronbemaling, moeten, indien technisch mogelijk, uit het rioolstelsel worden gehouden.

4.3 Ontwerp van gravitaire DWA-riolen

4.3.1 Dimensionering

Bij DWA-riolen kan een kleinere diameter worden gebruikt dan voor gemengde riolen. De leiding wordt gedimensioneerd met een piekfactor 3,4 (of 1,7) voor een volle (of halfvolle)leiding. Als dimensionering rondt men naar boven af tot een commercieel beschikbare maat.

De detailuitvoering van de huisaansluitingen van het DWA-systeem is zeer belangrijk. De minimale diameter zou dus functie kunnen gemaakt worden van de eisen die aan de huisaansluitingen van het DWA-systeem worden opgelegd. Bovendien moet men de mogelijkheid voorzien om een DWA-systeem te kunnen reinigen en inspecteren. Hiervoor hoeft het DWA-systeem niet toegankelijk te zijn voor personen, maar volstaan toezichtsputjes die voldoende groot zijn om het inbrengen van een hogedrukspuit of camera toe te laten.

De minimale diameter voor een 2DWA riolering bedraagt 150 mm. Omwille van onderhouds- of insectieredenen mag de diameter vergroot worden tot 200 of 250 mm.

4.3.2 Minimale schuifspanning en helling

4.3.2.1 Theoretisch zelfreinigende DWA-riolen

Algemeen kan worden aangenomen dat DWA rioleringen onderhoud vergen, in tegenstelling tot de gemengde riolering is er geen spoeling met hemelwater. Een zelfreinigende riolering is daarom eerder een theoretische definitie, om systemen aan te geven waar in ontwerp ook optimaal rekening gehouden is met de onderhoudskosten na de aanleg. Een onderhoudsvriendelijke werking kan bekomen worden door de leidingen aan te leggen aan een voldoende helling. Maar de zorg bij de aanleg van de riolering en de uitvoeringsdetails zoals bochten, koppelingen en lengteprofiel zijn minstens even belangrijk. Om sedimentatie te beperken in rioolleidingen wordt meestal gesteld dat een minimale stromingssnelheid noodzakelijk is. Deze minimale stromingssnelheid moet het, in theorie, mogelijk maken om het onderhoud van de riolen te beperken. Op basis van deze minimale snelheid kan dan een minimale helling worden bepaald bij een bepaalde vullingsgraad. Deze minimale snelheid is echter afgeleid van het feit dat men een minimale schuifspanning nodig heeft om deeltjes niet te laten bezinken of om bezonken deeltjes terug in suspensie te brengen. Voor gemengde riolen wordt traditioneel een minimale (kritieke) schuifspanning gelijk aan 3 N/m^2 aangenomen bij een halfvolle leiding [Berlamont, 1997; VMM, 1996a]. Dit lijkt een vrij hoge waarde indien men dit enkel in het licht van bezinking bekijkt, maar aangezien er 's nachts zeer lage debieten voorkomen zal er in de meeste riolen bezinking optreden. De schuifspanningen die nodig

zijn om dit bezonken slib terug op te woelen zijn ongeveer 20 keer groter dan deze om de deeltjes te verhinderen om te bezinken (volgens Camp [Berlamont, 1997]). Deze verhouding is voor afvalwater naar alle waarschijnlijkheid sterk overdreven, maar het geeft wel duidelijk aan dat er een onderscheid moet worden gemaakt tussen nodige schuifspanningen voor het verhinderen van bezinking en het bekomen van erosie van bezonken materiaal.

Er dient op gewezen te worden dat een voldoende hoge schuifspanning in de leidingen slechts zinvol is indien de stroming ook gelijkmatig kan gebeuren en er dus een continu vloeipeil in de langsrichting is. Lokale hindernissen zijn preferentiële locaties voor sedimentatie en erosie. De hierna volgende ontwerpregels zijn geldig voor riolen die, in theorie, zelfreinigend moeten zijn. Dat betekent dat de systemen relatief onderhoudsvriendelijk zijn, op voorwaarde dat er geen oneigenlijk gebruik van de riolen wordt gemaakt. In de praktijk zal ook hier steeds onderhoud noodzakelijk zijn.

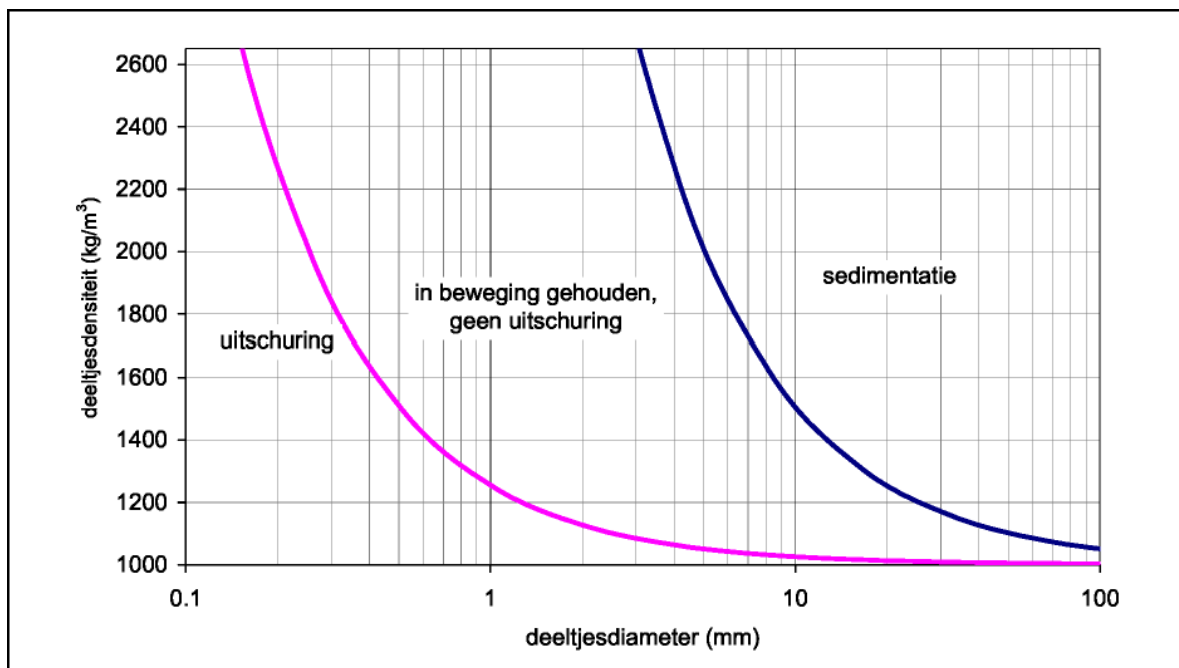
Voor DWA-riolen kan men lagere minimale schuifspanningen hanteren, omdat er minder zware deeltjes in voorkomen dan in de hemelwaterafvoer. Het gebruik van een minimale schuifspanning volgt uit de veronderstelling dat de kritieke situaties zich voordoen bij het al of niet eroderen van bezonken stoffen. Bij het transport van de vervuiling in het water, speelt de concentratie en de aard van de vervuiling een belangrijke rol, maar vooral voor grotere riolen, niet zozeer voor kleine diameters [Ackers et al., 1996; Butler et al., 2003].

Op basis van buitenlandse ervaringen lijkt een minimale schuifspanning van 2 N/m² een goede ontwerpwaarde. Een schuifspanning van 1 N/m² wordt vaak gebruikt, maar lijkt voor erosie eerder een ondergrens. Referenties die schuifspanningen hanteren van 1 tot 1,5 N/m² gaan meestal uit van geen bezinking, wat niet erg realistisch is. Gezien de grote variabiliteit in DWAafvoer gedurende een dag, is het zeker nodig om de schuifspanning zodanig te kiezen dat de bezonken vervuiling terug kan opwoelen. In figuur 4.3. wordt getoond welke deeltjes (diameter en dichtheid) in suspensie kunnen worden gehouden of kunnen worden opgewoeld bij een schuifspanning van 2 N/m².

De schuifspanning τ [N/m²] kan worden berekend als:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot S_f$$

met: ρ = dichtheid van water= 1000 kg/m³
 g = valversnelling= 9,81 m/s²
 R = de hydraulische straal [m]
 S_f = verhang (meestal gelijk aan S_0 = de helling van het riool) [-]

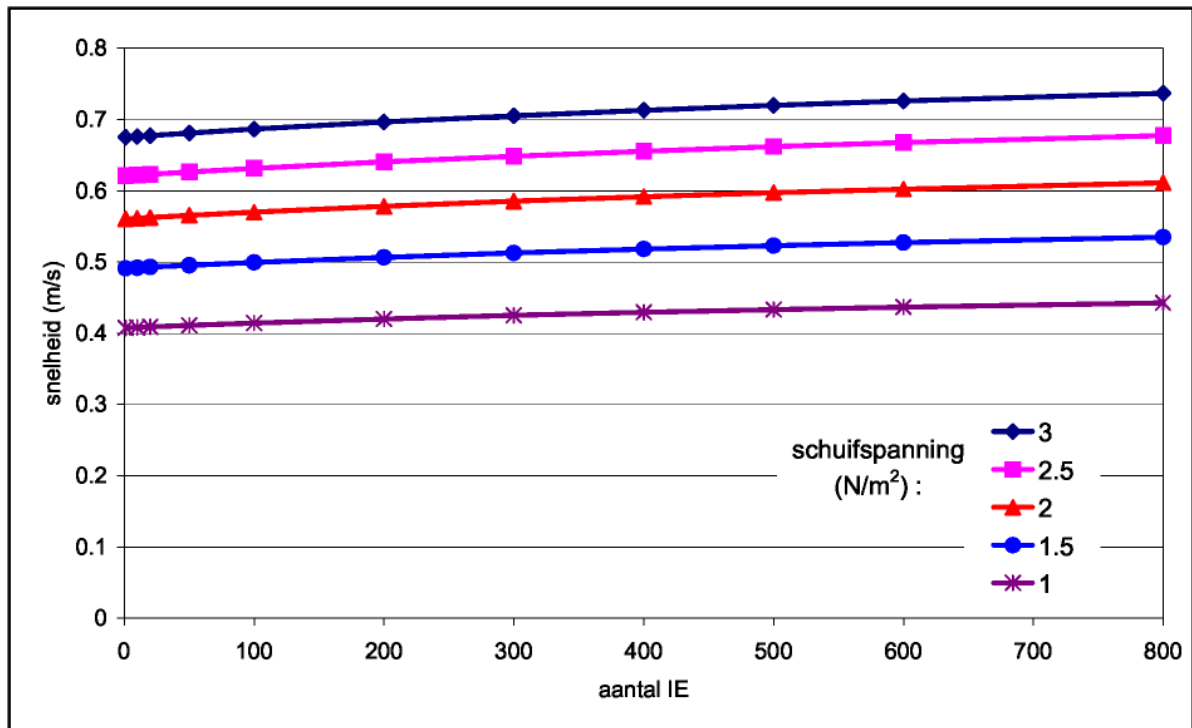


Figuur 4.3: Diameter en dichtheid van deeltjes die respectievelijk worden uitgeschuurd, in suspensie worden gehouden en bezinken bij een schuifspanning van 2 N/m^2

De schuifspanning blijkt dus enkel rechtstreeks functie van de helling en de diameter (via de hydraulische straal) en niet (rechtstreeks) van de buis- en bedruwheid. Daarom is de schuifspanning een eenvoudigere parameter om de minimale helling te bepalen dan de stromingssnelheid, welke wel rechtstreeks functie is van de ruwheid. Yao [1974] toonde aan dat voor leidingen met kleine diameter en lage vullingsgraad ($< 40\%$) een schuifspanningscriterium tot een meer efficiënt ontwerp leidt dan een snelheids criterium. Deze stelling werd bevestigd door Arthur et al. [1999] op basis van een uitgebreide literatuurstudie.

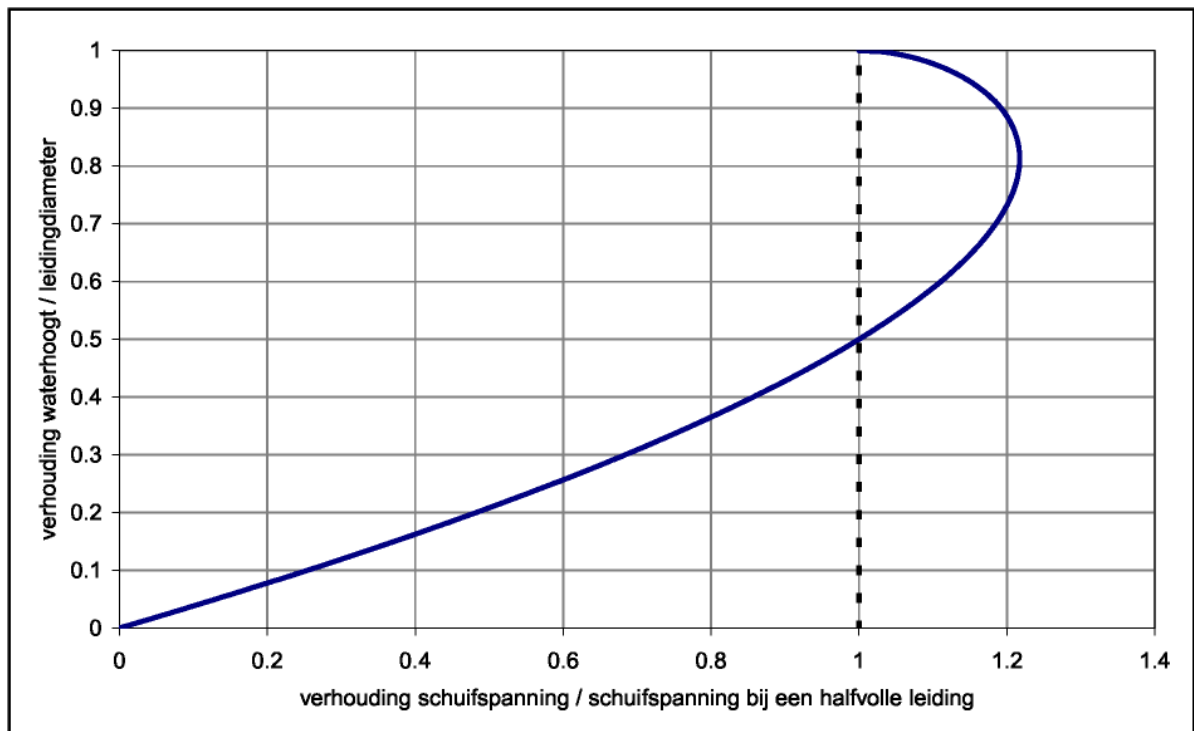
Toch wordt een minimale stromingssnelheid vaak als criterium gebruikt om het zelfreinigend vermogen van leidingen te garanderen. In Vlaanderen wordt traditioneel met minimale stromingssnelheden van $0,6$ tot $0,7 \text{ m/s}$ gerekend [VMM, 1996a]. Het verband tussen minimale schuifspanningen en minimale snelheden wordt getoond in figuur 4.4. in functie van het aantal aangesloten IE. Het overeenkomstig debiet is: $1,5 \text{ l/s} + 1,7 \times (\# \text{ IE} - 1) \times 150 \text{ l/dag/IE}$. Hierbij wordt er aangenomen dat het minimale piekdebiet dat zich dagelijks voordoet in een DWA-leiding $1,5 \text{ l/s}$ is, afkomstig van het doorspoelen van 1 WC. Deze formulering voor het debiet geeft een continue overgang tussen individuele pieklozing en pieklozing bij een groot aantal IE.

Uit figuur 4.4. blijkt dat een schuifspanning van 2 N/m^2 ongeveer overeenkomt met een stromingssnelheid van $0,6 \text{ m/s}$ (bij een ruwheid k_s van $1,5 \text{ mm}$)



Figuur 4.4: Verband tussen minimale snelheid en minimale schuifspanning in functie van het aantal aangesloten IE (ruwheid $k_s = 1,5$ mm, diameter= 150 mm)

Dat de schuifspanning onafhankelijk is van de ruwheid van de leiding lijkt misschien niet logisch. De ruwheid van de leiding kan een invloed hebben op de onderlinge wrijving tussen een deeltje en de wand, maar de meest kritieke schuifspanning doet zich voor bij onderling contact tussen deeltjes (bijvoorbeeld afzetting van een deeltje op een sedimentlaag). In die zin is het logisch dat de kritieke schuifspanning wordt bepaald in functie van de vuildeeltjes en niet in functie van de wandruwheid. De hydraulische straal R is hetzelfde voor een halfvolle en voor een volle leiding, namelijk gelijk aan $\frac{1}{4}$ van de diameter. Voor leidingen met een vullingsgraad vanaf 50 %, zal de schuifspanning dus groter dan of gelijk zijn aan de schuifspanning bij een halfvolle (of volle) leiding. In figuur 4.5. wordt het relatieve verloop van de schuifspanning in functie van de vullingsgraad getoond [Berlamont, 1997]. Indien dan de minimale helling wordt bepaald op basis van een minimale schuifspanning van 2 N/m^2 , respectievelijk 1 N/m^2 bij een halfvolle (of volle) leiding, wordt voor elke diameter een minimale helling bekomen zoals weergegeven in tabel 4.2, respectievelijk tabel 4.3.



Figuur 4.5: Relatief verloop van de schuifspanning met de vullingsgraad van een cirkelvormige riool

Tabel 4.2: Uiterste grenzen voor de minimale hellingen voor DWA-riolen en huisaansluitingen om een schuifspanning van 2 N/m² te bekomen

Diameter (mm)	Minimale helling bij 1 IE	Minimale helling bij 50 % vulling
100	10,1 ‰	8,2 ‰
150	10,8 ‰	5,4 ‰
200	11,6 ‰	4,1 ‰
250	12,3 ‰	3,3 ‰
300		2,7 ‰
350		2,3 ‰
400		2,0 ‰

Tabel 4.3: Uiterste grenzen voor de minimale hellingen voor DWA-riolen en huisaansluitingen na een voorbezinkput om een schuifspanning van 1 N/m² te bekomen

Diameter (mm)	Minimale helling bij 1 IE	Minimale helling bij 50 % vulling
100	4,3 ‰	4,1 ‰
150	4,5 ‰	2,7 ‰
200	4,8 ‰	2,0 ‰
250	5,1 ‰	1,6 ‰
300	5,3 ‰	1,4 ‰
350	5,5 ‰	1,2 ‰
400	5,7 ‰	1,0 ‰

Uitgaande van literatuurgegevens, buitenlandse richtlijnen maar ook de topografie in Vlaanderen en rekening houdend met de aanleg- en onderhoudskosten, kan een riolering theoretisch zelfreinigend worden ontworpen met een schuifspanning van 1 à 2 N/m², op voorwaarde dat een onderhoudsprogramma ter beschikking wordt gesteld dat is afgestemd op de gekozen

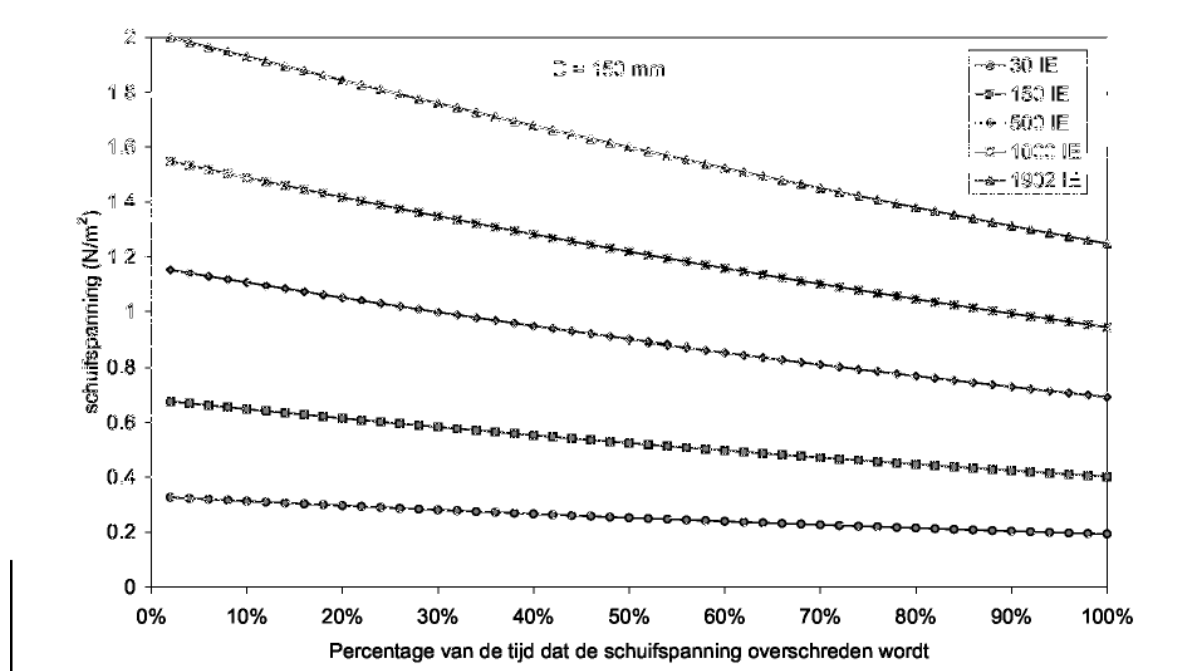
schuifspanning. Hier wordt geen onderscheid gemaakt in het al of niet voorkomen van septische putten of voorbezinkputten.

Deze schuifspanning moet minstens 1 keer per dag voorkomen (er wordt standaard gerekend met uurgemiddelde waarden). De minimale schuifspanning kan daartoe berekend worden op basis van een ontwerppiekfactor gelijk aan 1,7. Het is niet aan te raden om een lagere minimale schuifspanning als criterium aan te nemen, omdat de piekfactor van 1,7 reeds in vele riolen niet wordt bereikt (bijvoorbeeld bij een piekfactor van 1,3 daalt de schuifspanning tot 1,87 N/m² ten opzichte van 2 N/m² bij een piekfactor van 1,7 en 50 % vullingsgraad).

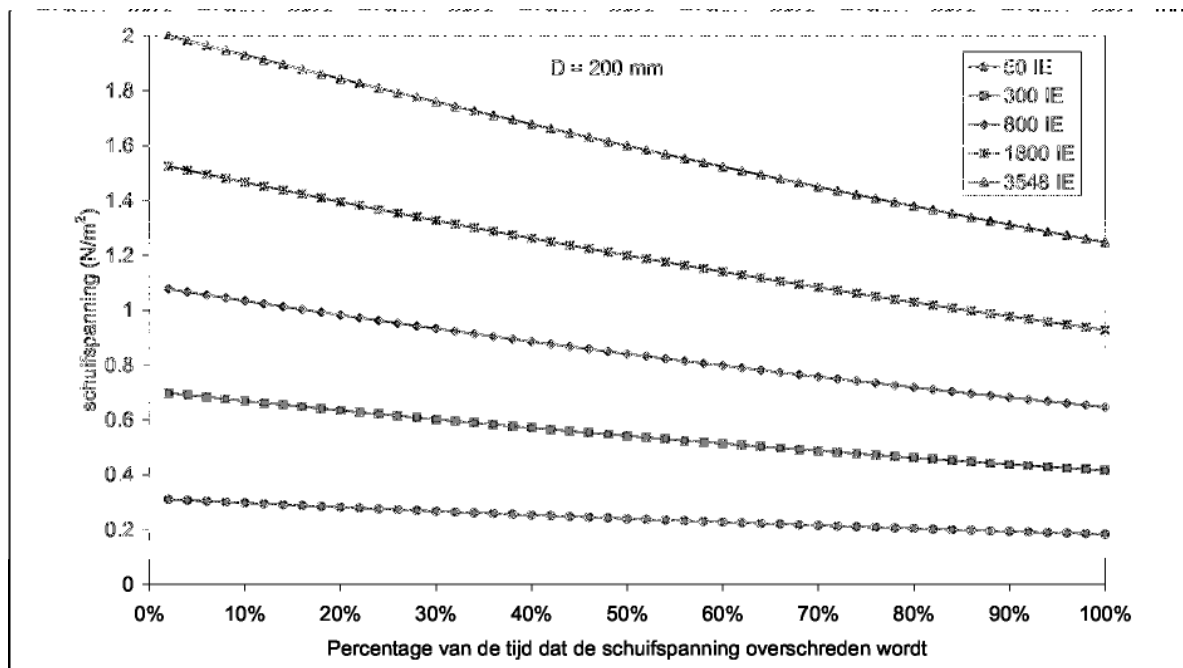
Voor DWA-afvoer wordt er standaard gerekend met een dag-nacht-cyclus met uurlijkse intervallen. Data over meer kortstondige DWA-variaties zijn zelden of niet voorhanden, waardoor het geen zin heeft om op te leggen dat de schuifspanning gedurende een kortere tijd mag worden bekomen. Indien men een overschrijding van een uurgemiddelde waarde heeft, zal deze waarde binnen dat uur slechts over een gedeelte van dat uur overschreden worden.

Bovendien wordt er voor lage DWA-belastingen gerekend met het effect van individuele lozingen (dit is spoeling van 1 toilet; zie tabel 4.2.: 1 IE). Het voordeel van het dimensioneren voor halfvolle leidingen zit vooral in de bepaling van de minimale helling om een minimale schuifspanning te bekomen, omdat dit gebeurt bij een meer realistische piekfactor van 1,7 en niet bij een bovengrens van 3,4 die zelden of nooit wordt bereikt.

Indien men dus een DWA-leiding ontwerpt voor 3,4 keer de gemiddelde DWA bij een vollopende leiding of 1,7 keer de gemiddelde DWA bij een halfvolle leiding en een minimale helling volgens tabel 4.2., bekomt men een schuifspanning van minimaal 2 N/m² van zodra de leiding halfvol is. Door de variatie van het DWA-debiet over de dag (figuur 4.1.) en de afronding naar een commercieel beschikbare diameter, zullen de meeste DWA-riolen dagelijks slechts kortstondig of nooit een vullingsgraad van 50 % bereiken welke overeenkomt met de minimale schuifspanning van 2 N/m² bij de minimale hellingen uit tabel 4.2.. In de figuren 4.6. en 4.7. is de variatie van de schuifspanning geïllustreerd voor leidingen van respectievelijk 150 en 200 mm diameter, gedimensioneerd volgens de bovenvermelde regels.

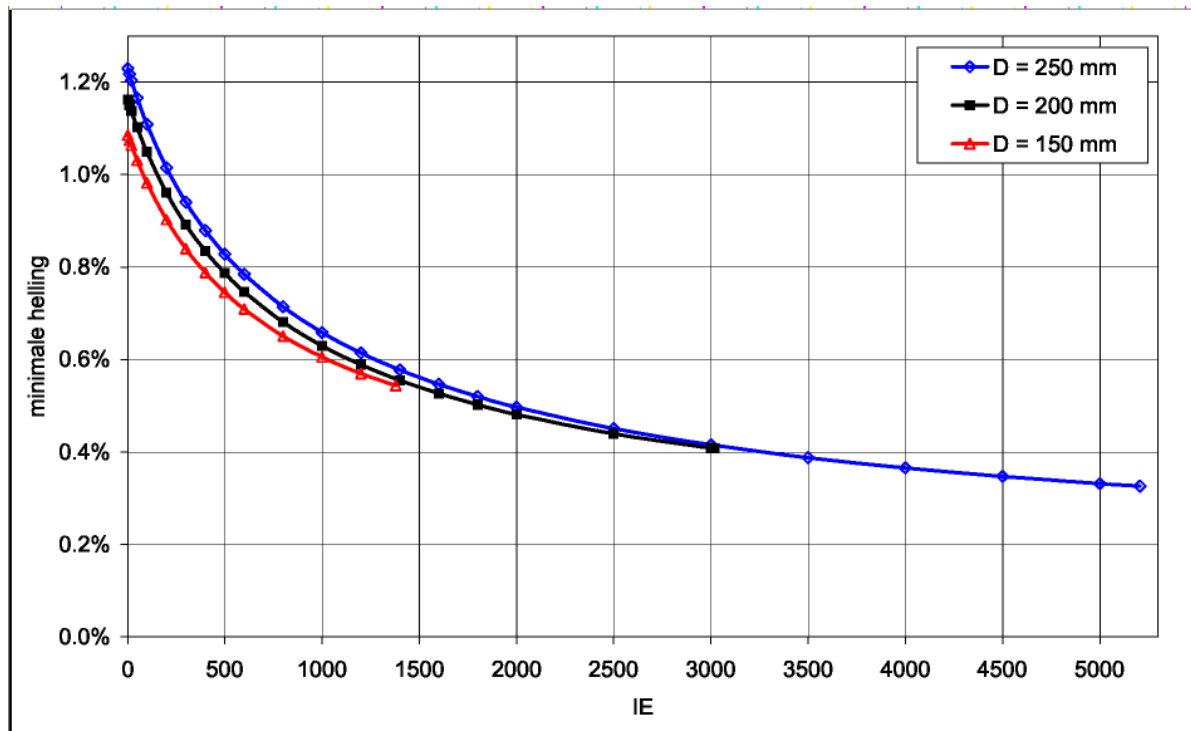


Figuur 4.6: Percentage van de tijd dat een bepaalde schuifspanningsdrempel wordt overschreden voor een leiding met een diameter van 150 mm (helling= 5,4 ‰, $p = 1,7$) en voor een variërende belasting

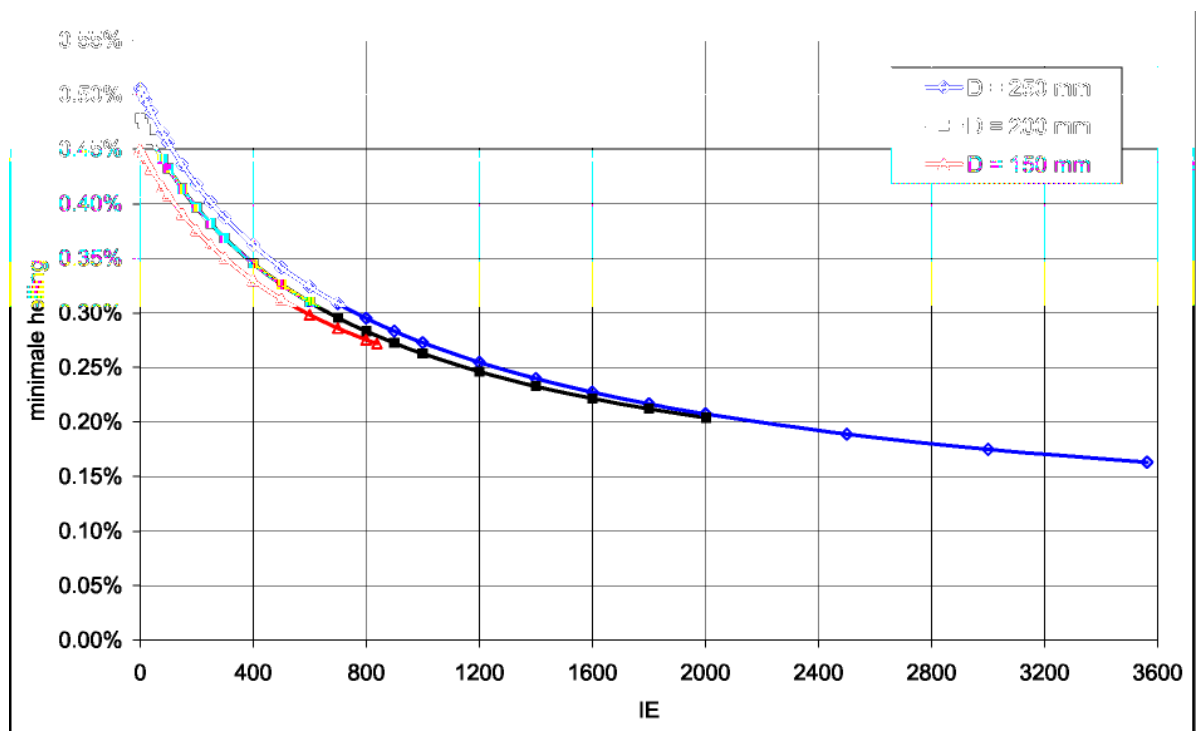


Figuur 4.7: Percentage van de tijd dat een bepaalde schuifspanningsdrempel wordt overschreden voor een leiding met diameter 200 mm (helling= 4,1 ‰, $p=1,7$) en voor een variërende behandeling

Leidingen die een vullingsgraad bij piek-DWA-debiet (piekfactor= 1,7) hebben kleiner dan 50 %, dienen onder een grotere helling te worden geplaatst om de minimale schuifspanning 2 N/m² te halen. Er kan worden gesteld dat het minimale piekdebiet dat zich dagelijks voordoet in een DWA-leiding 1,5 l/s is (afkomstig van het doorspoelen van 1 WC). Voor een leiding met een diameter gelijk aan 150 mm levert een debiet van 1,5 l/s een vullingsgraad op van 21 % (bij de minimale helling die net tot een schuifspanning van 2 N/m² leidt). De nodige helling om een schuifspanning van 2 N/m² te bekomen is dan 10,8 ‰. De grootste minimale helling die toegepast dient te worden voor de opwaartse gravitaire riolen met minimale diameter van 150 mm is dus 10,8 ‰. Voor andere vullingsgraden wordt de minimale helling in figuur 4.8. en tabel 4.3. gegeven voor diameters 150, 200 en 250 mm in functie van het aantal aangesloten IE (150 l/IE/dag en piekfactor= 1,7).



Figuur 4.8: Minimale helling bij vullingsgraad < 50 % om een schuifspanning van 2 N/m^2 te krijgen (bij een piekfactor van 1,7 en een debiet van $150/\text{IE}/\text{dag}$)



Figuur 4.9: Minimale helling bij vullingsgraad < 50 % om een schuifspanning van 1 N/m^2 te krijgen (bij een piekfactor van 1,7 en een debiet van $150/\text{IE}/\text{dag}$)

Aangezien bij een verandering van helling en diameter een toezichtspuutje moet worden voorzien, zal elk DWA-riool tussen twee toezichtspuutjes dezelfde diameter en helling hebben.
Bij kruisingen met andere leidingen dient erop te worden toegezien dat er geen lokale knik in het langsprofiel zit.

Tabel 4.4: Minimale helling voor volledig gravitaire DWA-riolen bij een vullingsgraad van < 50% om een schuifspanning van 2N/m² te bekomen (bij een piekfactor van 1,7 en een debiet van 150 l/IE/dag)

Diameter 150 mm		Diameter 200 mm		Diameter 250 mm	
Aantal IE	Minimale helling (‰)	Aantal IE	Minimale helling (‰)	Aantal IE	Minimale helling (‰)
≤ 100	9,8	≤ 100	10,5	≤ 100	11,1
200	9,0	200	9,6	200	10,1
300	8,4	300	8,9	300	9,4
400	7,9	400	8,3	400	8,8
500	7,5	500	7,9	500	8,3
600	7,1	600	7,5	600	7,8
800	6,5	800	6,8	800	7,1
1000	6,1	1000	6,3	1000	6,6
1200	5,7	1200	5,9	1200	6,1
1379*	5,4	1400	5,6	1400	5,8
		1600	5,3	1600	5,5
		1800	5,0	1800	5,2
		2000	4,8	2000	5,0
		2500	4,4	2500	4,5
		3017*	4,1	3000	4,2
				3500	3,9
				4000	3,7
				4500	3,5
				5206*	3,3

* om grotere vuilvrachten te kunnen afvoeren met een leiding met overeenkomstige diameter moet die een helling hebben die groter is dan deze die vereist is om de minimale schuifspanning te verkrijgen

Tabel 4.5: Minimale helling voor volledig gravitaire DWA-riolen bij een vullingsgraad van < 50% om een schuifspanning van 1N/m² te bekomen (bij een piekfactor van 1,7 en een debiet van 150 l/IE/dag)

Diameter 150 mm		Diameter 200 mm		Diameter 250 mm	
Aantal IE	Minimale helling (‰)	Aantal IE	Minimale helling (‰)	Aantal IE	Minimale helling (‰)
≤ 100	4,1	≤ 100	4,3	≤ 100	4,6
200	3,8	200	4,0	200	4,2
300	3,5	300	3,7	300	3,9
400	3,3	400	3,5	400	3,6
500	3,1	500	3,3	500	3,4
600	3,0	600	3,1	600	3,2
800	2,8	800	2,8	800	3,0
838*	2,7	1000	2,6	1000	2,7
		1200	2,5	1200	2,5
		1400	2,3	1400	2,4
		1600	2,2	1600	2,3
		1800	2,1	1800	2,2
		2002*	2,0	2000	2,1
				2500	1,9
				3000	1,8
				3562*	1,6

* om grotere vuilvrachten te kunnen afvoeren met een leiding met overeenkomstige diameter moet die een helling hebben die groter is dan deze die vereist is om de minimale schuifspanning te verkrijgen

Naast de minimale schuifspanning voor erosie en transport van bezinkbare deeltjes is ook de minimale waterhoogte een belangrijke parameter voor het transport van drijvend materiaal.

Bij kleine hydraulische belasting hangt de vullingsgraad echter veel nauwer samen met de diameter dan met de helling. De keuze voor een kleine diameter heeft dus veel meer effect dan het verlagen van de minimale helling. Bij zeer kleine hydraulische belasting zal een voldoende vullingsgraad voor continu transport van drijvend materiaal zelden beschikbaar zijn. In dat geval zal er zich drijvend vuil afzetten, waardoor er een kleine ophoping ontstaat. Achter deze ophoping kan er zich een kleine waterhoogte opbouwen. Wanneer deze hoog genoeg is, zal het drijvend vuil weer opgepikt worden en een eindje verder spoelen. Dit intermitterend gedrag maakt transport van drijvend vuil enigszins mogelijk bij lage vullingshoogtes. Bovendien is de DWA sterk fluctuerend op korte tijd, eerder dan een continue gemiddelde afvoer, doordat het een superpositie is van korte lozingen.

Uit figuur 4.8, resp. 4.9 en tabel 4.4, respectievelijk 4.5 blijkt dat bij zeer lage hydraulische belasting de nodige minimale helling om een minimale schuifspanning van 2 N/m², resp 1 N/m² te bekomen sterk oploopt. Bij hellingen groter dan (ongeveer) 1 % zal er in deze gevallen superkritische stroming optreden (Froudegetal > 1). Dit wordt beter vermeden, aangezien dit gepaard gaat met kleine waterhoogtes en watersprongen, welke het zelfreinigend vermogen niet bevorderen.

Belangrijk is ook dat al het vuil dat niet in het riool thuishoort er ook uit wordt gehouden.

De gebruikers moeten er zich van bewust zijn dat DWA-systemen zeer gevoelig zijn voor dit grof vuil en dat de gebruikers meestal zelf de oorzaak zijn van verstopping en slecht functioneren van het afvoersysteem.

4.3.2.2 Niet-zelfreinigende DWA-riolen

In de praktijk is het niet altijd mogelijk om een riool aan te leggen die theoretisch zelfreinigend is, omdat dit kan leiden tot zeer hoge aanleg- en exploitatiekosten in vergelijking met de bijkomende onderhoudskost bij een niet-zelfreinigend riool. In dat geval kan een lagere minimale schuifspanning worden gehanteerd voor het ontwerp van DWA-riolen. De schuifspanning kan in deze gevallen verder verlaagd worden tot lager dan 1N/m² op voorwaarde dat een inventaris wordt opgesteld van de locaties waar de gewenste schuifspanning niet wordt bereikt en het monitorings- en onderhoudsplan integraal deel uitmaakt van het ontwerp. Dit onderhoudsplan moet de initieel gekozen reinigingstechniek specificeren.

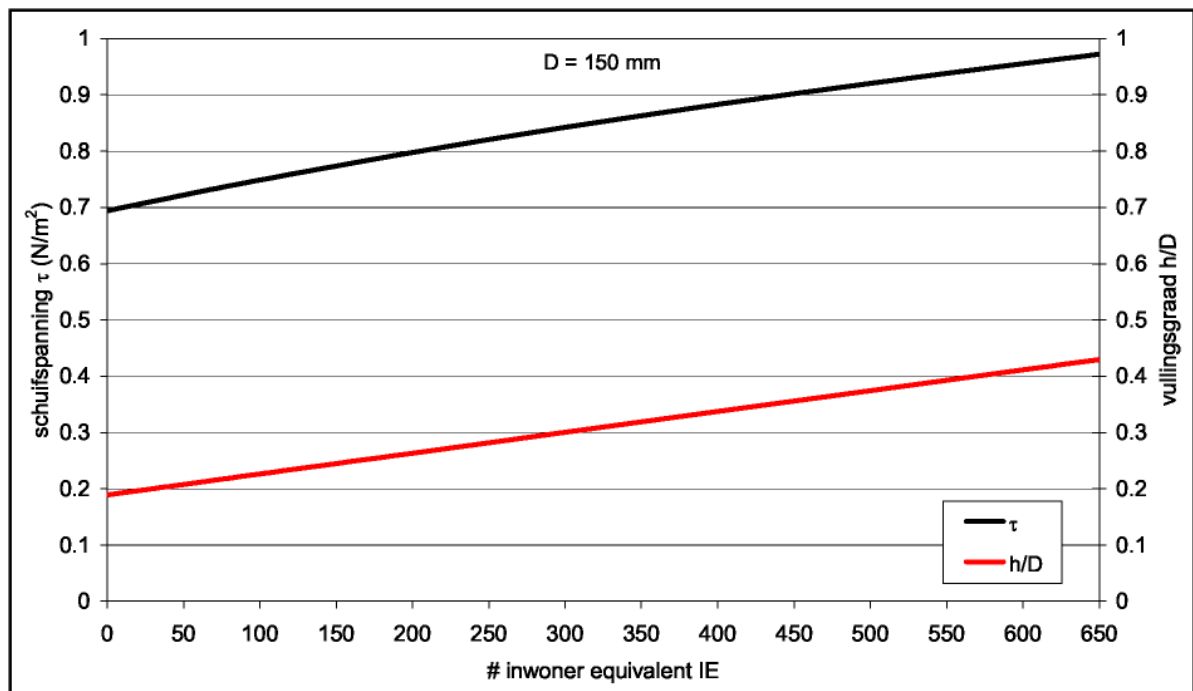
Soms zullen ook aanpassingen aan het ontwerp noodzakelijk zijn om de geplande onderhoudstechniek ook te kunnen toepassen (vermijden overbelasting en realiseren minimale schuifspanning). Bij de aanpassing van de reinigingstechniek moet de hydraulische impact ervan opnieuw worden nagegaan.

Daarnaast is het nuttig om toch een absoluut minimale helling op te leggen, teneinde de volledige bezinking van het afvalwater in het riool te vermijden. Indien hiervoor een schuifspanning van 1 N/m² wordt gehanteerd, zal de minimale helling voor opwaartse uiteinden met weinig aangesloten IE in bepaalde gevallen nog als oneconomisch groot worden beschouwd. Een schuifspanning van 0,5 N/m² (bij een standaard ruwheid van 1,5 mm) lijkt echter ook voor opwaartse riolen een minimum. Dit geeft voor DWA-riolen met een grotere hydraulische belasting dan weer vrij kleine waarden. Bovendien lijkt het redelijk om een hogere minimale schuifspanning te eisen bij DWA-riolen met een hogere hydraulische belasting dan bij een kleinere hydraulische belasting, teneinde de bezonken hoeveelheden te beperken. Om die reden wordt voorgesteld om voor niet-zelfreinigende riolen een minimale helling van 2 ‰ te hanteren, waarvoor bij DWA-riolen met een kleine belasting de minimale schuifspanning in de buurt van 0,5 N/m² ligt en voor DWA-riolen met grote belasting de minimale schuifspanning in de buurt van 1 N/m² ligt (figuren 4.10 t.e.m. 4.12). Indien men bij ietwat grotere DWA-riolen (vanaf diameter 250 mm) en een voldoende grote hydraulische belasting een schuifspanning van 1 N/m² kan bekomen met een minimale helling kleiner van 2 ‰, is dit toegelaten. Hierbij is er wel een minimale helling van 1 ‰ nodig omwille van uitvoeringstechnische redenen.

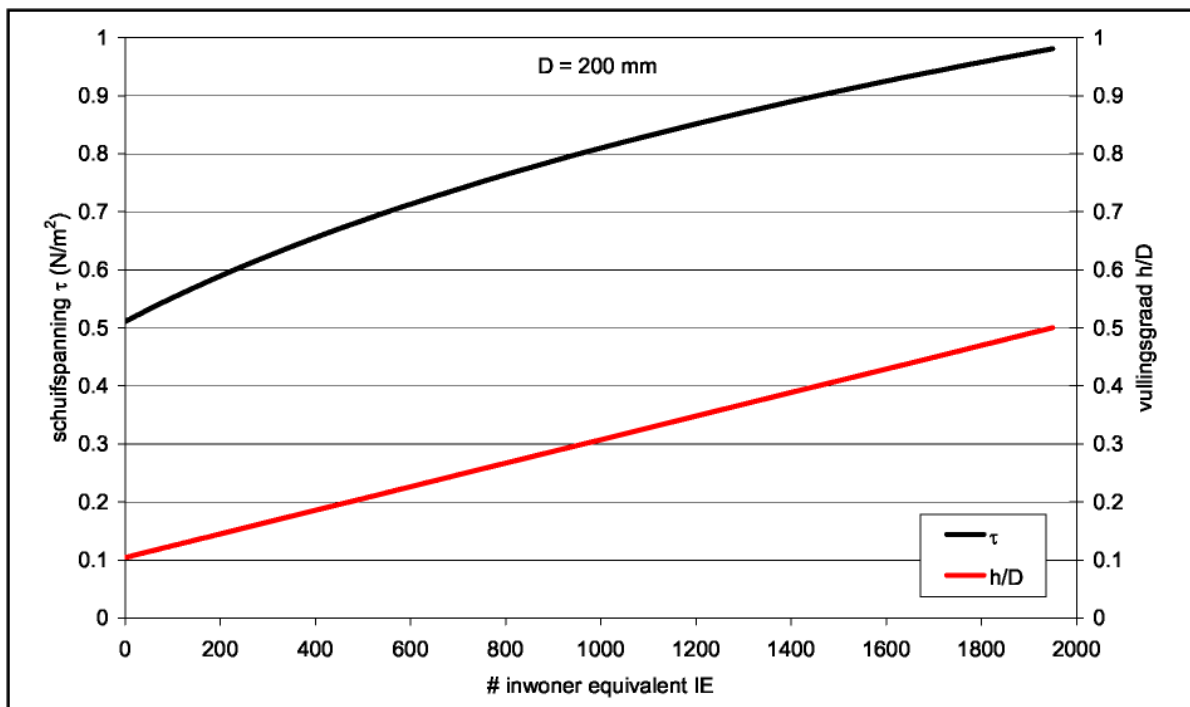
De bovenstaande eisen zijn minimum eisen. De rioolbeheerder heeft er alle baat bij om (waar mogelijk) toch grotere hellingen aan te leggen, teneinde de onderhoudskosten te minimaliseren.

Indien men een minimale bezinking in het riool toelaat, dient men erop te letten dat dit geen significante invloed heeft op de hydraulische werking van het riool.

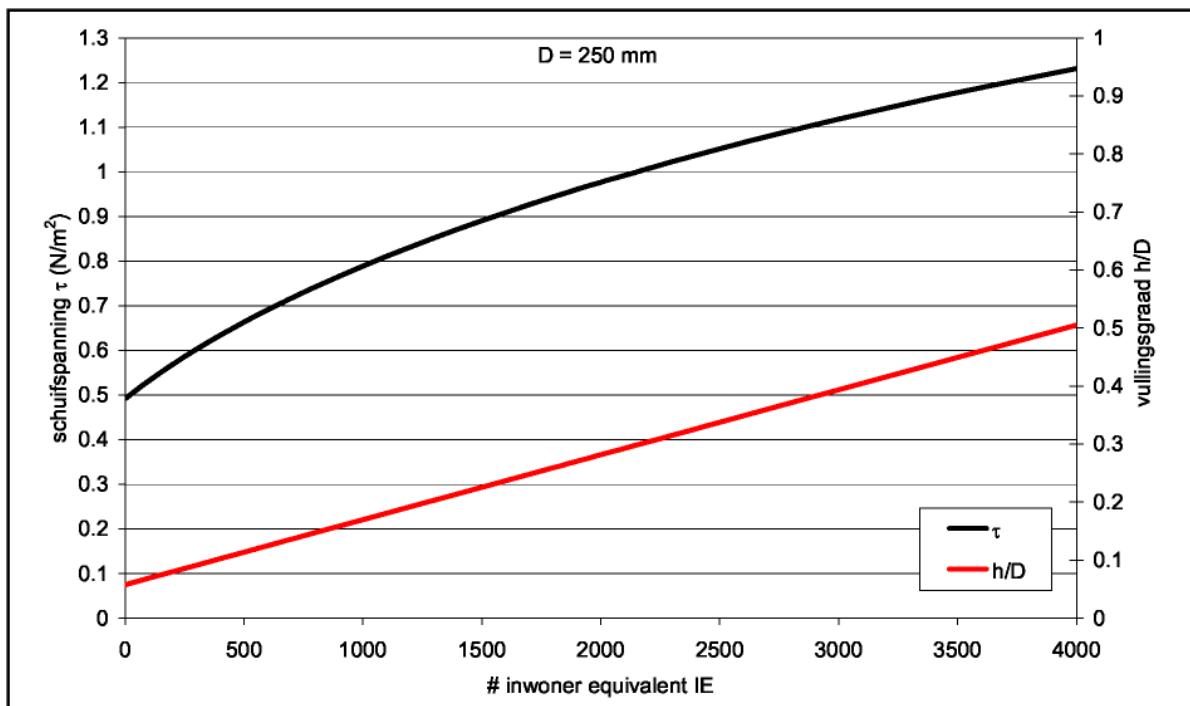
Om bezinking in DWA-riolen sterk te beperken, kan een voorbezinkingsput geïnstalleerd worden. Als het louter om bezinking gaat, kan al het afvalwater (zwart afvalwater (wc) en grijs afvalwater (bad, keuken, enz.)) in dezelfde put terechtkomen. Er mag geen hemelwater of drainagewater in de put stromen.



Figuur 4.10: Schuifspanning en vullingsgraad bij een riool met diameter 150 mm bij een helling van 2 ‰



Figuur 4.11: Schuifspanning en vullingsgraad bij een riool met diameter 200 mm bij een helling van 2 ‰



Figuur 4.12: Schuifspanning en vullingsgraad bij een riool met diameter 250 mm bij een helling van 2 ‰

4.3.3 Invloed van pompen op de helling van gravitaire DWA-riolen

Het debiet van een pompstation kan de vereiste helling afwaarts van het pompstation voor een deel beperken. Hier moeten echter enkele kanttekeningen bij gemaakt worden waardoor het toepassen van dit systeem minder interessant kan zijn:

- Voor de minimale diameter van 150 mm is een relatief groot pompdebiet nodig om een 50 % vullingsgraad te bereiken, vooral in kleine tot middelmatige stelsels zal een debietverhoging een meerkost betekenen.
- De lengte waarover een pompdebiet effect heeft hangt samen met de pompduur. Na zekere afstand wordt het waterpakket afgevlakt en wordt het spoeleffect kleiner. In geval van een pompduur van bv. 1 à 1,5 minuut wordt slechts een invloed verwacht over 30 à 100 m. Het verlengen van de pompduur in kleine stelsels is meestal niet gewenst omwille van de verblijftijd van het afvalwater in de pompput.

4.3.4 Nooduitlaten

Op een DWA stelsel met interne noodoverloop is geen nooduitlaat toegestaan omdat ook bij pomputval de doorvoer verzekerd is. Alarmvolumes en interventietijden moeten dus ook niet voorzien worden. Maar in dergelijk stelsel moet wel de interactie met het afwaarts stelsel onderzocht worden en moet gecontroleerd of op de noodoverloop een terugslagklep nodig is om terugsteek vanuit de afwaartse riool te voorkomen. Een nooduitlaat kan wel toegestaan worden als het waterpeil dat zich vanuit de afwaartse leiding instelt, in het opwaarts stelsel aanleiding zou geven tot wateroverlast.

Voor andere DWA stelsels is een nooduitlaat wel toegestaan, maar moet deze omzichtig afgewogen worden. Operatoren en gemeenten kunnen hierin een eigen beleid bepalen mits de keuze onderbouwd is en bijvoorbeeld afgestemd is op de risicograad. Als randvoorwaarde geldt echter dat het beschikbaar alarmvolume steeds groter of gelijk moet zijn met het volume overeenkomstig de storingstijd die men minstens wil opvangen in het stelsel.

Er worden dus geen nooduitlaten toegestaan omwille van een te klein alarmvolume. Indien een nooduitlaat aanwezig is, kan de storingstijd waarop het stelsel berekend wordt, bepaald worden door de operator. Deze bedraagt minstens 4 u en maximaal 48 u.

In geval een nooduitlaat voorzien wordt, moet een pompstation steeds uitgerust zijn met een reservepomp (1+1 opstelling). Een eventuele nooduitlaat wordt ook bij voorkeur geplaatst op een locatie waar de lozing bovengronds zichtbaar is.

De berekening van het vereiste alarmvolume gebeurt steeds zonder rekening te houden met de restverharding, en is dus niet te combineren met de berekening i.v.m. de restverharding

Nooduitlaten worden dus toegestaan mits deze in de normale berekening niet werken bij $T = 20j$. Om aan dit criterium te voldoen kan het nodig zijn om maatregelen te voorzien: bv. een sturing tussen opwaartse pompen, het concept te herbekijken (mogelijkheid van interne noodoverloop te onderzoeken) of het pompdebiet/berging evenredig te vergroten, dit binnen realistische en haalbare grenzen. Het pompdebiet mag ook afwaarts geen probleem geven qua capaciteit of overstortfrequentie. Het verhogen van pompdebieten ($> 2Q_{14}$) of berging (off- of on-line) moet steeds duidelijk vermeld zijn in het projectdossier en op basis van berekening gemotiveerd worden. Deze ingrepen worden enkel aanvaard mits voldaan is aan de bovenvermelde randvoorwaarde ($T = 20j$).

Naast bovenstaande criteria, blijven ook onverminderd de richtlijnen i.v.m. alarmvolume geldig.

4.3.5 Restverharding

Ondanks de inspanningen om na uitvoering van een DWA project een 100 % scheiding te realiseren, blijkt uit de praktijk dat er (op termijn) nog parasitair water is aangesloten. Naarmate meer DWA projecten uitgevoerd zijn, zal de ervaring met deze problematiek nog verbeteren. Maar in afwachting kan een specifieke hydraulische berekening meer inzicht geven in de kriticiet van het ontwerp voor het geval er restverharding zou aansluiten. De berekening met restverharding moet gezien worden als een controle op de robuustheid van het rioolnetwerk, een 100 % scheiding blijft nog steeds het uitgangspunt, ook in de communicatie naar de bewoners. De gemeente of operator kan in principe zelf beslissen om al of niet een dergelijke berekening uit te voeren.

De berekening inzake restverharding moet voldoen aan onderstaande principes.

Er wordt in de hydraulische berekening een restverharding toegekend, bijkomende studie zal moeten uitmaken met hoeveel restverharding best rekening gehouden wordt – een waarde dient te worden opgegeven en onderbouwd.

De berekening kan statisch of hydrodynamisch worden uitgevoerd, met minstens de volgende retourperiodes:

- Normale berekening (d.w.z. bij normale werking van de pompen) bij T= 20 jaar:
 - CRITERIUM= geen wateroverlast
- Normale berekening bij T= 5 jaar
 - CRITERIUM= geen werking van de nooduitlaat
De hier gehanteerde terugkeerperiode van T= 5 jaar kan op basis van toekomstige inzichten in de vuiluitworp van niet-optimaal gescheiden stelsels zonodig worden verhoogd.
- Berekening met algemene pomputval bij T= 2 jaar.
 - CRITERIUM= geen wateroverlast

Bijkomende retourperiodes zijn mogelijk in functie van ontwerprichtlijnen van de operator/gemeente.

Aangezien de ervaring met DWA projecten nog beperkt is, is het raadzaam is om deze aanpak na enige tijd opnieuw te evalueren.

4.3.6 Bijkomende vereisten

4.3.6.1 Gronddekking

Voor zuivere DWA-riolen is het risico van vorstschade kleiner dan voor gemengde riolen of hemelwaterriolen, omdat het afvalwater meestal warmer is. Toch is er nog een minimale gronddekking nodig om de bovenbelasting (bvb. verkeer) voldoende uit te spreiden, zodat de buizen zelf niet te zwaar belast worden. In functie van de diameter en het materiaal van de buis zullen verschillende bovenbelastingen toegelaten zijn. De specificaties van de fabrikanten dienen hiervoor te worden geconsulteerd. In de praktijk zullen de meeste DWA-riolen toch een vrij grote gronddekking hebben, aangezien men bij gravitaire riolen door de grote minimale hellingen vrij snel een grote diepte bereikt en omdat de huisaansluitingen om praktische redenen al op een zekere diepte aanvangen.

Het is aan te bevelen om de diepteligging van de DWA-leidingen niet al te groot te laten worden. Desgevallend zijn tussen-opvoer-units (cascade-systeem) nodig. In geval van tussen-opvoer-units is aan te bevelen, de maximale diepte van de DWA-leiding te beperken tot ongeveer 3 à 4 m. De maximale diepte van DWA-leidingen kan best op projectbasis geëvalueerd worden op basis van een kostenafweging. Het al of niet prefab kunnen uitvoeren van toezichtspotten en pomstations kan hierbij ook meegenomen worden.

Dit alles in acht genomen kan de minimale gronddekking voor gravitaire DWA-riolen worden genomen op 0,5 m op basis van bovenbelasting, maar voor het maken van huisaansluitingen en rekening houdend met de aanwezigheid van nutsleidingen (omwille van het frequente onderhoud aan nutsleidingen worden uit veiligheidsoverwegingen de rioleringen lager gelegd dan de nutsleidingen) kan een minimale dekking van 1,2 tot 1,5 m nodig zijn.

4.3.7 Aansluitingen

4.3.7.1.1 Huisaansluitingen

Onder huisaansluiting wordt verstaan de aansluiting van de openbare riool tot aan de rooilijn en niet de afvoer op het private domein vanaf de vastgestelde opvang van het afvalwater tot aan de rooilijn.

De huisaansluitputjes kunnen naargelang de technische noodzakelijkheid voorzien worden op openbaar of privaat domein.

De minimale diameter voor huisaansluitingen bedraagt 125 mm. Het is sterk aan te raden om wachtaansluitingen voor te bebouwen percelen onmiddellijk mee te voorzien. Later bijplaatsen is gezien de kleine diameters van DWA leidingen minder eenvoudig dan gemengde leidingen.

Huisaansluitingen worden steeds voorzien van een huisaansluitputje dat bovengrondse visuele controle en ook onderhoud mogelijk maakt. De aansluitstukken op het putje zijn in hetzelfde materiaal als dat van de leiding. T-stukken zijn toegestaan als huisaansluitputje mits de opgaande leiding een minimale diameter 125 mm heeft.

In DWA projecten zijn ook putjes met stroomprofiel toegestaan van zodra BENOR-keuring kan voorgelegd worden. Deze putjes dienen minimaal een diameter van 250 mm te hebben.

Er moet een duidelijk onderscheid zijn tussen DWA-en RWA-huisaansluitputjes. Deze kunnen daartoe voorzien worden van een duidelijke markering. Bovendien kan een onderscheid in diameter, vorm en/of kleur van deze putjes het onderscheid tussen DWA/RWA nog verbeteren

De lengte van de huisaansluiting wordt zo kort mogelijk gehouden en aan voldoende helling aangelegd. Er wordt hierbij gestreefd naar een minimale helling van 1%.

Bochten van 90° zijn te vermijden, bij voorkeur worden bochten van maximaal 45° gebruikt.

Bij het maken van een koppeling tussen twee huisaansluiting-leidingen is in regel een overgang nodig met toezichtspuit of inspectieoog. Indien dit uitzonderlijk toch niet toegepast wordt is steeds een Y-stuk te voorzien (nooit T-stukken).

Wanneer de huisaansluiting onder de gracht door moet worden aangelegd, is het aangeraden 40 cm te voorzien tussen de bodem van de gracht en de huisaansluiting.

Bij lagere dekking dient een betonplaat als bescherming te worden voorzien.

Het is ook belangrijk, zeker bij drukriolering, welk deel van de leiding naar de opvoer-unit onder de noemer "huisaansluiting" valt, en welk deel onder de noemer "transportriolering".

Dit maakt een wezenlijk verschil uit qua minimale diameter (125 vs. 150 mm) en het al dan niet voorzien van toezichtputten.

Waar meerdere huisaansluitingen samenkomen kan men in principe spreken van een "transportriolering". Bij de samenkomst van de huisaansluitingen wordt dan wel een inspectieoog via een put met minimale diameter 250 mm geplaatst en wordt overgegaan naar een diameter voor de leiding van minimaal 150 mm.

Men kan ook spreken van een transportriool van zodra de afstand vanaf de woning langer wordt dan 50 m. Opnieuw is dit eerder een richtcijfer en dient deze afstandsregel met gezond verstand bekeken te worden.

Voor wat betreft de huisaansluiting op het private domein en de privé-waterafvoer tot aan de rooilijn dient, indien mogelijk volgende kleurcode te worden gerespecteerd, grijs voor het hemelwater en rood/bruin voor afvalwater.

4.3.7.1.2 Aansluiting van gravitaire DWA-riolen op bestaande gemengde stelsels

De BOK (bovenonderkantbuis) van de toekomstige DWA leiding mag niet lager zijn dan het DWA-waterniveau in de afwaartse rioolleiding. Meestal is een beperkt verval voldoende, doch in sommige gevallen (bv aansluiting op transportrioleringen en collectoren) kan een groter verval nodig zijn.

Verder zullen gravitaire DWA strengen die rechtstreeks aansluiten op een gemengde/semi-gescheiden riool zich bij neerslag in principe meevullen door terugsteek vanuit het gemengd stelsel.

Er hoeven in principe geen terugslagkleppen geplaatst te worden om terugsteek van water vanuit de riool naar de DWA te voorkomen.

Voor DWA-riolen dienen vermazingen te worden vermeden, tenzij er specifiek wordt op toegezien dat hierbij de stromingsrichting niet kan omkeren en de minimale schuifspanningen gegarandeerd zijn in beide afwaartse leidingen.

4.3.7.1.3 Maximale helling

De maximale helling wordt bepaald op basis van de karakteristieken van het gebruikte materiaal.

4.3.7.1.4 Inspectie- en toezichtputten

Een DWA-systeem moet geïnspecteerd en gereinigd kunnen worden.

De dimensie van de toezichtputten moet reiniging en inspectie mogelijk maken.

De maximale strenglengte tussen 2 toezichtputten is functie van de inspecteerbaarheid en het onderhoud. Bij een verandering van richting, helling, diameter en bij het samenkomen van leidingen is het aangewezen een toezichtspuit te voorzien.

Op plaatsen waar belangrijke leidingen samenkomen, kan een mantoegankelijke put of inspectieput nuttig zijn.

4.3.7.2 Aanleg en onderhoud

Bij de uitwerking van de verschillende ontwerpdetails, zoals vervalputten, dient er rekening te worden gehouden met de praktische aspecten voor aanleg en onderhoud van het stelsel.

Er wordt aangeraden om vervalputten in DWA-stelsels maximaal te vermijden en de helling van de leiding zo uniform mogelijk te maken.

4.3.7.3 Wandruwheid

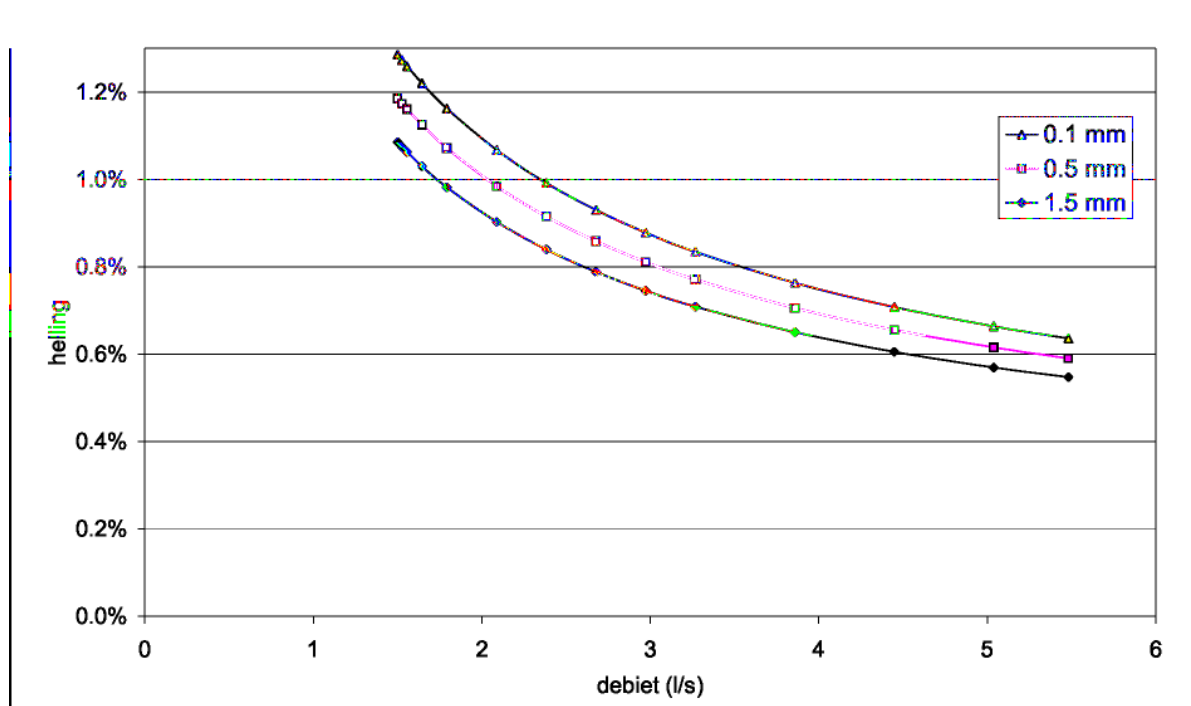
De wandruwheid heeft een invloed op de stromingssnelheden en dus op de capaciteit van de leidingen. De invloed is slechts evenredig met het logaritme van de verhouding van de ruwheid tot de buisdiameter. Hierdoor zou in principe een gladdere buis met een kleinere diameter volstaan, maar door afrondingen naar commercieel beschikbare maten, maakt dit zelden verschil. Bovendien mag men niet met de werkelijke wandruwheden rekenen, omdat ook lokale ladingsverliezen belangrijk zijn.

Lokale ladingsverliezen zijn geen (of slechts in beperkte mate) functie van de ruwheid en hebben een belangrijke bijdrage. In principe zou men deze lokale ladingsverliezen allemaal afzonderlijk kunnen berekenen [Berlamont, 1998a; Rioned, 1999], maar bij gebrek aan gegevens is dit meestal moeilijk, zo niet onmogelijk. Deze ruwheden zitten daarom meestal vervat in de globale leidingsruwheden (zeker in het geval van een dimensionering). Om deze reden dient men met hogere ruwheden te rekenen dan de ruwheden van de buizen zelf. Bijvoorbeeld indien men een ruwe buis heeft met een wandruwheid van 1 mm en een gladde met een wandruwheid van 0,1 mm en men lokale ladingsverliezen heeft die overeenkomen met 0,5 mm equivalente extra ruwheid, dan bekomt men globale ruwheden van respectievelijk 1,5 mm voor de ruwe buis en 0,6 mm voor de gladde buis. Aangezien dit slechts via logaritme van de verhouding van de ruwheid tot de diameter een invloed heeft op de afvoerdebieten, dient de logaritme van de verhoudingen beschouwd te worden (volgens de formule van White- Colebrook [Berlamont, 1998a]). De toename in capaciteit van de gladde buis ten opzichte van de ruwe buis is dan nog 20 % (bij een diameter van 150 mm; de grootste variatie treedt op bij de kleinste diameter). Hierbij komt dan nog dat de ruwheid van een sedimentbed voor de verschillende buismaterialen ongeveer gelijk zal zijn en de capaciteitstoename nog zal verminderen zeker bij lage vullingsgraden waar de ruwheid van het sedimentbed

belangrijker is dan de ruwheid van het buismateriaal. Een ruwer sedimentbed zal dus de capaciteit van een gladde buis naar beneden halen.

De ruwheidspaarparameter omvat zowel ladingsverliezen in leidingen als lokale ladingsverliezen, zodat een extra verval ter hoogte van de tussenstukken niet nodig is.

De wandruwheid heeft geen rechtstreeks effect op de schuifspanningen, want deze is enkel functie van de hydraulische straal en de helling. Wel is de nodige schuifspanning om een deeltje van een glad oppervlak te eroderen kleiner dan bij een ruw oppervlak. Bij een dun sedimentlaagje (d.i. dikte van de grootte-orde van de te eroderen korreldiameter) kan dit dus wel een effect hebben, maar indien men de erosie van deeltjes uit een wat dikkere sedimentlaag beschouwt, heeft de wandruwheid nog weinig invloed. Dit laatste meer kritieke geval moet als ontwerpcriterium worden aangehouden. Het positieve effect van een gladder oppervlak wordt bovendien deels opgeheven doordat de grotere capaciteit van de leiding tot lagere schuifspanningen leidt (kleinere vullingsgraad bij hetzelfde debiet in vergelijking met een ruwere leiding). Bij een verlaging van de ruwheid van 1,5 mm naar 0,5 mm daalt de schuifspanning met 5 tot 10 %. Om dit te compenseren is een debietsverhoging van ongeveer 14 % nodig of een grotere helling (figuur 4.13.). Het rekenen met een grotere ruwheid van 1,5 mm in plaats van de werkelijke ruwheid bij behoud van het schuifspanningscriterium, leidt tot kleinere hellingen, waardoor de werkelijke schuifspanning in de gladde buizen kleiner zal zijn dan het schuifspanningscriterium. Het verhogen van de ruwheid voor de berekening komt dus neer op een kleine verlaging van het schuifspanningscriterium.



Figuur 4.13: Vergelijking van de nodige helling bij een schuifspanningscriterium van 2 N/m^2 voor buizen met ruwheden van 0,1 mm, 0,5 mm en 1,5 mm

Bovendien blijkt in de praktijk dat de wandruwheid kan toenemen in gebruik ten opzichte van de initiële toestand. Recente metingen tonen zeer grote verschillen in gemeten bedrijfsruwheden [Kamma & Van Zijl, 2002].

Er kan dus worden gesteld dat het rekenen met verschillende ruwheden voor verschillende buismaterialen weinig voordelen oplevert. Dit neemt niet weg dat gladdere buizen minder gevoelig zullen zijn voor sedimentatie en het verhinderen van uitschuring van reeds bezonken sedimenten en

dus aan te raden zijn. Of dit voordeel zich in de praktijk zal laten voelen, hangt af van parameters waar men bij het ontwerp weinig vat op heeft, voornamelijk de aard en concentratie van het afvalwater. Hierop rekenen lijkt dan ook niet verstandig. Bovendien komt het gebruik van een hogere ruwheid bij de berekening in combinatie met een vaste minimale schuifspanning overeen met het hanteren van een lagere minimale schuifspanning bij een lagere werkelijke ruwheid (figuur 4.13).

Er wordt dus met een standaard ruwheid k_s (White-Colebrook) van 1,5 mm gerekend (equivalente Manningcoëfficiënt = $0,013 \text{ s/m}^{1/3}$). Hier zit het effect van lokale ladingsverliezen in vervat. Dit betekent ook dat geen buizen mogen gebruikt worden met een ruwheid die groter is dan 1,5 mm

4.4 DWA-riolen met beperkte hemelwatertoevoer als spoeldebiet

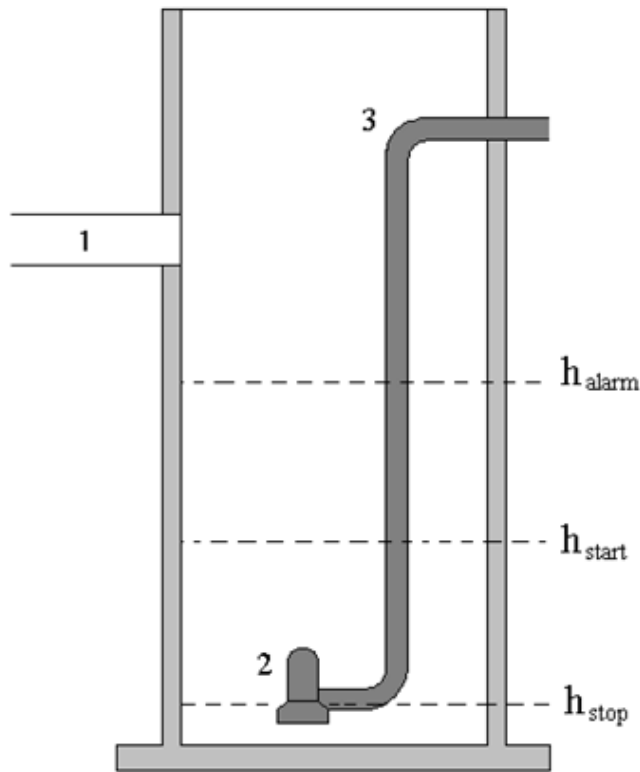
De combinatie van DWA-riolen met opwaartse hemelwatertoevoer is moeilijk onder controle te houden. De eisen voor de spoeldebieten liggen binnen vrij strikte grenzen. Een blijvend probleem is de grote diepteligging ten gevolge van de grote nodige hellingen. De mogelijkheid tot spoelen van DWA-leidingen door opwaarts enkele hemelwaterinlaten te voorzien is beperkt, omdat voldoende grote spoeldebieten slechts met een lage frequentie of een grote aangesloten verharde oppervlakte zijn te bekomen. Bovendien mogen deze spoeldebieten afwaarts geen capaciteitsproblemen opleveren. Een te groot spoeldebiet na de samenloop van leidingen kan worden opgevangen door een tijdelijk spoeldebiet te genereren ofwel via een pomp die af en toe een korte tijd aanslaat ofwel via een reservoir dat plots leegloopt bijvoorbeeld via een sifon.

Algemeen kan dus worden besloten dat het systematisch en dagelijks toepassen van spoeling met hemelwater niet of beperkt toepasbaar is. Het wordt daarom bij voorkeur ook enkel aangewend als extra onderhoud, bijvoorbeeld op plaatsen die gevoelig zijn voor slibafzettingen, of om het onderhoud van niet-zelfreinigende riolen te minimaliseren.

4.5 Pompstations

4.5.1 Werking van een pompput

In figuur 4.14 worden de belangrijkste onderdelen van een pompput weergegeven.



Figuur 4.14: Schematische voorstelling van een pompput. (1= huisaansluiting; 2= pomp, 3= doorvoerleiding)

Het afvalwater komt via de huisaansluiting (1) in de pompput terecht. Zodra het niveau h_{start} wordt bereikt, treedt de pomp (2) in werking en verpompt het water via de doorvoerleiding (3) naar het drukriool. Van zodra het waterpeil gezakt is tot h_{stop} , valt de pomp opnieuw stil.

Wanneer de pomp defect is, en uiterlijk bij het bereiken van het niveau h_{alarm} , zal een alarmsignaal gegeven worden wanneer het niveau h_{alarm} bereikt wordt. Boven dit niveau is nog een alarmvolume voorzien om nog een zekere hoeveelheid afvalwater te stockeren totdat de pomp weer hersteld is.

4.5.2 Dimensionering van de pompput

4.5.2.1 Het ontwerpdebiet

Het ontwerpdebiet van de pomp wordt bepaald cfr. de ontwerpdebieten van gravitaire DWA stelsels. In de praktijk zal voor kleine DWA-stelsels meestal een pomp met een groter (minimaal)debiet geplaatst worden in functie van beschikbare pomptypes en minimale korreldoorlaat.

4.5.2.2 Het buffervolume

Wanneer het startpeil van de pomp wordt bereikt, gaat de pomp het afvalwater dat de pompput binnenstroomt beginnen te verpompen naar het drukriool. Indien dit pompdebiet lager is dan het binnenkomend debiet, zal het niveau in de pompput verder blijven stijgen. Om te vermijden dat het

alarm al te vaak onterecht aanslaat, dient er een zeker buffervolume voorzien te worden. Het buffervolume bevindt zich tussen het 'pomp-start-niveau' (h_{start}) en het 'alarm-niveau' (h_{alarm}).

4.5.2.3 Het alarmvolume

In geval van calamiteiten zullen DWA rioolstelsels gemiddeld minder berging hebben dan gemengde stelsels. Het beperken van de risico's bij pomputval is daarom een belangrijk hydraulisch ontwerpcriterium. Bij uitval van een pompstation, zal het waterpeil in de pompput en opwaartse riolering stijgen boven het aanslagepeil, tot het alarmpeil.

Om de hersteldiensten de mogelijkheid te geven binnen een redelijke termijn een defecte pomp te herstellen, is het aangewezen om een zeker alarmvolume te voorzien. Dit volume hangt af van de tijd waarbinnen een interventieteam de herstelling kan uitvoeren.

Het beschikbaar alarmvolume kan berekend worden als het volume boven dit alarmpeil in zowel de pompput als de gravitaire toevoerleidingen op het openbaar domein. De vulhoogte is in principe tot het laagste maaiveldpeil op de opwaartse riolering. Indien een nooduitlaat aanwezig is, wordt het peil van deze nooduitlaat genomen in plaats van het laagste maaiveld.

4.5.2.4 Volume van de pompput

Het minimale volume van de pompput wordt verkregen door de som te maken van werkings-, buffer- en alarmvolume. De grootte van de pompput wordt verder ook bepaald door de toegankelijkheid, de dimensies van de pompen en appendages. Het werkingsvolume wordt bepaald door het start- en stoppeil.

4.5.3 Dimensionering van de persleiding

Persleidingen van een DWA-pompstation worden ontworpen zoals persleidingen in gemengde stelsels (zie deel 6). Doorgaans zal men hier geen waterslagbeveiliging voorzien, tenzij het aantal aangesloten IE's of de aard van de persleiding (diameter, lengte, lengteprofiel) dit rechtvaardigen.

4.5.4 Randvoorwaarden

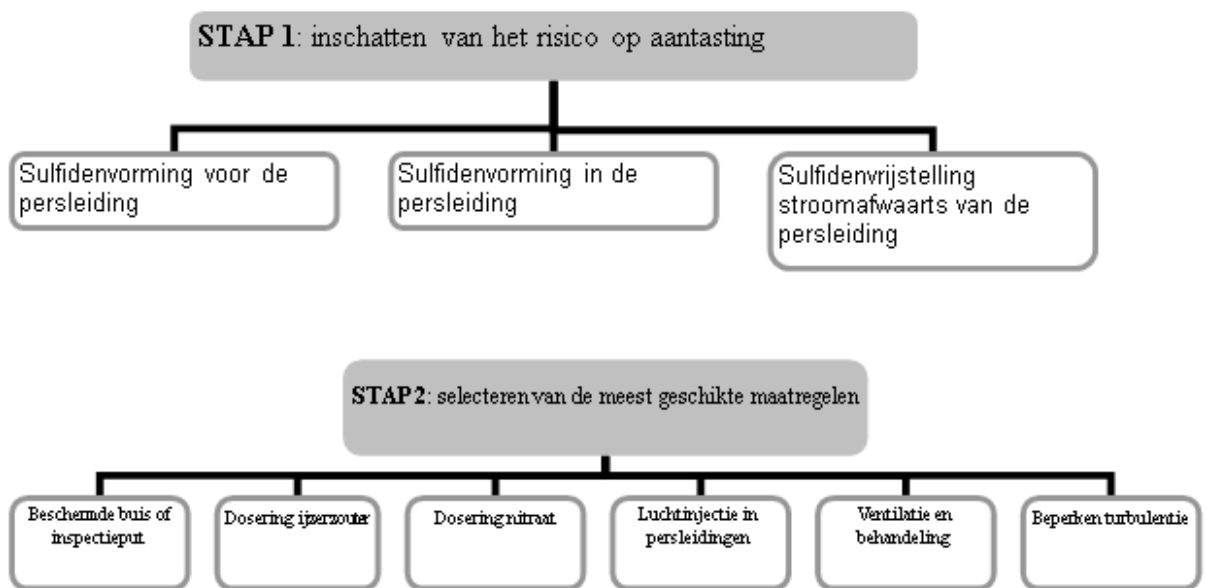
4.5.4.1 Biogene zwavelzuuraantasting

Biogene zwavelzuuraantasting is een gevolg van verschillende complexe en onderling gerelateerde chemische, fysische en biologische processen waarop heel wat ongekennde en moeilijk te voorspellen parameters een bepalende invloed hebben.

De oorzaak van biogene zwavelzuuraantasting is echter steeds de aanwezigheid van hoge concentraties waterstofsulfide in het rioolwater.

Sulfiden worden gevormd wanneer het rioolwater anaeroob wordt. Dit is voornamelijk het geval in persleidingen omdat daar geen rioolatmosfeer aanwezig is en er geen herbeluchting van het rioolwater kan optreden. Ook wanneer afvalwater traag stroomt of wanneer het gedurende een voldoende lange periode stationair blijft, kan er een anaëroob milieu ontstaan. Onder anaërobe omstandigheden zullen zgn. sulfaat-reducerende bacteriën sulfaat omzetten tot waterstofsulfide (H_2S). In gravitaire leidingen die sulfidenrijk rioolwater transporteren, bijvoorbeeld afwaarts van persleidingen, zal het gasvormige H_2S geleidelijk aan worden vrijgesteld naar de rioolatmosfeer. Wanneer er turbulentie optreedt, bijvoorbeeld bij vervalputten of scherpe bochten zal H_2S versneld vrijgesteld worden. Het vrijgestelde H_2S wordt geadsorbeerd op de condenslaag op de wanden van de rioolbuis en zal daar, door aërobe zwaveloxiderende bacteriën die op het betonvlak groeien, worden omgezet in elementaire zwavel en zwavelzuur. De pH van deze condenslaag zal sterk dalen en het gevormde zuur zal reageren met de cementmatrix van de betonbuis.

Om de risico's van zwavelzuuraantasting te kunnen nagaan dient in eerste fase het risico op aantasting te worden ingeschat en in een 2^{de} stap de meest geschikte maatregel te worden geselecteerd. In eerste instantie wordt hierbij geprobeerd om aantasting te vermijden door bij aanleg een buis uit corrosiebestendig materiaal te kiezen in plaats van betonnen buizen. Pas in tweede instantie wordt gekeken of het probleem kan worden aangepakt met een operationele maatregel, zoals het doseren van nitraat of ijzerchloride.



Om in te schatten hoeveel meter corrosiebestendig materiaal er moet worden voorzien moet het risico op aantasting afwaarts van de persleidingen ingeschat worden.

Het doel van het voorzien van corrosiebescherming is het voorkomen dat de vooropgestelde levensduur van de aangelegde riool niet wordt gehaald. De methodiek zal daarom de aantastingssnelheid in het stelsel inschatten. Daarom moeten volgende processen worden gekwantificeerd:

- De vorming van sulfiden in persleidingen;
- Menging van sulfidenrijk en sulfidenarm rioolwater;
- Vrijstelling van opgeloste sulfiden
- Oxidatie van opgeloste sulfiden.

Voor de berekening van de aantastingssnelheid van de leiding zijn volgende gegevens noodzakelijk:

- Aantal IE aangesloten op een knoop
- Afstand tot de afwaartse knoop
- Diameter afwaartse leiding (in mm)
- Helling afwaartse leiding (in mm/m)

Op basis van deze gegevens kan via de rekentool in bijlage 4.1 de aantastingsnelheid in de leiding worden ingeschat.

Op basis van deze aantastingssnelheid, kan de verwachte levensduur van een betonbuis worden bepaald. Hiervoor dient een minimale buiswanddikte te worden opgelegd. Deze wordt bepaald rekening houdende met de manier van aanleggen,; de grondmechanische eigenschappen en de statische en dynamische belastingen.

De verwachte levensduur, T_{buis} , kan berekend worden als

$$T_{\text{buis}} = (\Delta d_{\%} * d_{\text{buis}}) / r_a$$

De buiswanddikte, genoteerd als d_{buis} , varieert in functie van de diameter van de buis als ook van het maximaal toegelaten verlies van buiswanddikte ($\Delta d_{\%}$, in %)

4.5.4.2 Geurhinder

De lozing van een drukriolering in een gravitaire riool gaat gepaard met vrijkomen van rioolgassen. Dit kan aanleiding geven tot geurhinder en corrosie. Ook in gravitaire riolen kan door de afkoppeling van hemelwater geurhinder ontstaan.

Geurhinder in rioolstelsels wordt veroorzaakt door de ontwikkeling van allerlei geurcomponenten, o.a. sulfiden, die meestal als referentiemolecule gebruikt worden vanwege het gemak waarmee de concentraties kunnen gemeten worden. De gevormde sulfiden worden vrijgesteld:

- ter hoogte van lozingspunten van pers- en drukrioleringen;
- ter hoogte van het lozingspunt van een gravitaire DWA-leiding in een gemengde riolering;
- ter hoogte van turbulenties (vervalputten, uitstroom en scherpe bochten);
- afvalwaterpompstations.

Het verhinderen van de vorming van sulfiden en andere geurcomponenten is dan ook een belangrijke stap om geurhinder tegen te gaan. Maatregelen kunnen dan ook worden genomen zowel in fase ontwerp als uitvoering en exploitatie. Daarnaast zijn er ook een aantal end-of-pipe maatregelen om de ontstane geurhinder te bestrijden.

Geurhinder kan vermeden worden door:

- anaërobe omstandigheden te vermijden:
 - drukverschillen en hindernissen worden maximaal vermeden. Hierdoor kan de gevormde rioollucht zich ongehinderd door het systeem bewegen;
 - luchtophogingen te vermijden. Dit kan door op verschillende plaatsen te gaan be- en ontluchten. De plaats van de ontluchting moet zich op voldoende afstand van de bebouwing bevinden en een aangepaste hoogte en diameter hebben;
 - pompputten voorzien van verluchting;
 - voorzien van de nodige verluchting voor het volledige stelsel;
 - verblijftijden beperken;
 - lokale bezinking vermijden. Hierbij moet ook aandacht worden geschonken aan de uitvoering van de riolering;
 - het ruimen van een aangeslibde riolering;
- keuze en ontwerp van lozingspunten:
 - lozingspunten van anaëroob afvalwater worden voorzien ter hoogte van punten waar een grote hoeveelheid vers afvalwater ($\text{pH} = \pm 7$ en opgeloste zuurstofconcentratie = 6,5 à 7 mg/l)
 - drukriolering loost zonder turbulentie met een verdrongen uitstroom in gravitaire leidingen

Voor de bestrijding van geurhinder kan men gebruik van verschillende methoden:

- afvalwaterbehandeling door het toevoegen van chemicaliën of lucht- en zuurstofinjectie
- luchtbehandeling door het toevoegen van chemische producten, de installatie van een luchtwasser of een biofilter, dosering van ozon of toevoeging van lucht.

Naast geurhinder afkomstig van de riolering is er ook mogelijk geurhinder vast te stellen in private woningen door het ontbreken van de nodige verluchting, het voorkomen van verstopping of het ontbreken van de werking van de nodige sifons.

4.6 Drukriolering

4.6.1 Inleiding

Door het vlakke karakter van Vlaanderen is het niet overal mogelijk om afvalwater onder vrij verval af te voeren. In vele gevallen zou dit immers leiden tot economisch onverantwoorde uitgravingsdieptes. In dergelijke gevallen, vooral in landelijke gebieden met een verspreide bebouwing, kan een drukriolering een oplossing bieden. Het systeem maakt gebruik van leidingen in kunststof en met kleine diameter, waardoor er in aanlegkosten bespaard kan worden. Daarenboven zijn de uitgravingsdieptes kleiner, aangezien bij de aanleg het terreinprofiel in grote mate kan gevolgd worden.

4.6.2 Werking van een drukriolering

Bij een drukrioolsysteem worden één of meerdere percelen aangesloten op een pompput, van waaruit het verzamelde afvalwater wordt verpompt naar de drukriolering. Verkeerde aansluitingen, zoals hemelwater en parasitair water, moeten ten allen tijde vermeden worden aangezien dit nefast is voor de werking van de pompput.

In de doorvoerleiding worden de debieten van de individuele pompputten doorgepompt naar het persriool. Deze leidingen worden meestal uitgevoerd in kunststof (HDPE of PVC), waarbij HDPE het voordeel heeft dat er minder verbindingen moeten worden voorzien. Omwille van de kleine debieten volstaan hier leidingen met een kleine diameter. Echter hoe kleiner de diameter wordt, hoe groter de wrijvingsverliezen in deze leiding worden. Een grotere diameter heeft dan weer tot gevolg dat de gemiddelde stromingssnelheid gaat afnemen. Deze moet nochtans voldoende groot zijn, omdat er lange periodes zijn dat de pomp niet werkt en er dus ook zeker bezinking zal optreden in deze leiding.

De keuze van de pomp wordt bepaald uit de combinatie van de pompkarakteristiek en de karakteristiek van de ladingsverliezen. Dat geeft het werkingpunt en dus het pompdebiet. Alle pompen van een drukriolering moeten binnen een vrij smalle variatie van werkingsdebieten liggen (in het ideale geval allemaal gelijk). Als meer pompen gelijktijdig in werking treden, zal het pompdebiet dalen. Omdat de pompdebieten niet te sterk zouden dalen voor de opwaartse pompen, kan in opwaartse putten een krachtiger pomp (grotere opvoerhoogte) geplaatst worden. Drukrioleringen worden meestal toegepast in relatief vlakke gebieden. In sterk hellende gebieden moet de toepassing ervan afgetoetst worden aan factoren zoals maximale en minimale opvoerhoogte.

Tot slot is het ook belangrijk dat het ontwerp van een drukriolering rekening houdt met eventueel later nog uit te breiden opwaartse takken (uitbreidingen zijn anders later problematisch).

4.6.3 Dimensionering van de pompput

4.6.3.1 Het ontwerpdebiet

Meestal wordt omwille van uniformiteit ervoor gekozen om een drukrioolsysteem zo veel mogelijk uit te rusten met dezelfde pomptypes.

In een drukriool moet ook extra aandacht worden besteed aan piekdebieten van niet-huishoudelijke activiteiten (zie hoofdstuk gravitaire riolering).

4.6.3.2 Het werkingsvolume

Het werkingsvolume is het volume tussen het aan- en het afslagpeil van de pomp. Dit is dus het volume dat in 1 pompcyclus naar de persleiding wordt verpompt (met verwaarlozing van het extra volume dat tijdens het verpompen de put instroomt). In een drukriolering wordt ook rekening gehouden met het feit dat een aantal pompen gelijktijdig in werking treden en de pompdebieten verminderen of, in de limiet, een pomp zelfs volledig stilvalt. Om te vermijden dat een pomp in een drukrioleringssysteem te lang moet 'wachten', wordt het werkingsvolume best niet te groot gekozen. Als maximaal werkingsvolume wordt aanbevolen om niet groter te gaan dan 1/3 van het totale dagvolume. Op die manier blijft de gemiddelde verblijftijd in de put beperkt tot 8 uur (kan oplopen tot ongeveer 12 uur omwille van de tijdsvariabele dag-nacht-cyclus). Dit beperkt het risico op geurhinder.

Om de pomp niet te dikwijls te laten aan- en afslaan wordt aangeraden om dit werkingsvolume minimaal gelijk te nemen aan het volume dat in 1 minuut kan verpompt worden ($= Q_p \times 60 \text{ s}$), tenzij deze voorwaarde in conflict is met het criterium voor de maximale verblijftijd (bij lage aansluitingsgraad).

4.6.3.3 Nooduitlaten

Op drukriolering (tot 10 IE of 4 woningen) worden geen nooduitlaten voorzien. De inrekening van restverharding is dan ook niet aanvaardbaar.

4.6.4 Dimensionering van de persleiding

4.6.4.1 Ontwerpdebiet

Het feit dat er vanuit iedere individuele pompput maar gedurende een beperkte tijd afvalwater verpompt wordt naar de drukleiding, zorgt ervoor dat het ontwerpdebiet voor deze drukleiding anders moet berekend worden dan voor een gravitaire leiding. De kans dat een aantal pompen gelijktijdig draaien is immers klein en een sommatie van alle individuele pompdebieten zou dan ook tot sterk overgedimensioneerde leidingen leiden, met te lage stromingssnelheden en sedimentatie tot gevolg.

Om het drukriool te dimensioneren, is de kennis vereist van het maximale debiet dat kan verwacht worden in de leiding. Dit wordt berekend aan de hand van het maximaal aantal pompen dat gelijktijdig in werking kan zijn per dag en gedurende een bepaalde tijd. Dit principe wordt ook gebruikt voor de dimensionering van eventuele tussenpompstations (indien de lengte van de drukriool te groot wordt om in één keer te overbruggen)

4.6.4.2 Minimale en maximale snelheid in de persleiding

De minimale stroomsnelheid in de drukriolering bedraagt 0,7 m/s. De minimale snelheid moet minimaal in elk segment van de drukriolering gehaald worden (dus niet continu)

Er dient over gewaakt dat het aanslagpeil van alle pompputjes onder het uitstroompeil van de persleiding ligt of maatregelen genomen worden om heveleffecten te vermijden.

Het lengteprofiel van de persleiding kan dalen en stijgen om plaatselijke hindernissen te overwinnen. Er dient evenwel op gelet dat tegenhellingen niet groter zijn dan 10% zodat gassen kunnen meegevoerd worden.

4.6.5 Specifieke randvoorwaarden voor drukriolering

4.6.5.1 Waterslag

Er is in principe geen waterslagberekening nodig bij drukriolering omdat een drukriool zich meestal zelf beveiligt, specifieke gevallen zijn te bekijken.

Er moet wel een waterslagberekening gebeuren indien bv. kleine pompstations worden aangesloten op een persleiding van een zwaar pompstation. Berekeningen moeten rekening houden met gelijktijdig uitvallen van de pompen.

Bij de studie dient ook nagekeken te worden of er een risico is dat putten worden leeggezogen door de snelheid en debieten in de centrale persleiding. Dit is te vermijden, en desgevallend te remediëren.

4.6.5.2 Minimale gronddekking

Voor drukriolering is de minimale gronddekking bij voorkeur gelijk aan 0,8 m.



Bijlage I:

Gedetailleerde beschrijving van de methodiek
voor corrosiebescherming na persleidingen

1 Inleiding

Bij de uitwerking van de nieuwe methodiek werd geprobeerd om praktijkervaring en het inzicht in de onderliggende processen te verwerken tot een beslissingsondersteunend instrument dat relatief eenvoudig te hanteren is. Er werd rekening gehouden met de opmerkingen op de bestaande methodiek, maar bepaalde aspecten zijn momenteel nog onderwerp van verdere studie en het is dus niet onrealistisch dat de methodiek de komende jaren verder wordt verfijnd. De nieuwe methodiek dient met andere woorden gezien te worden als een significante verbetering ten opzichte van de manier waarop de problematiek nu wordt benaderd, maar eveneens als een kader waarin verder gewerkt moet worden om nieuwe inzichten en ervaringen in te passen.

2 Inschatten risico op aantasting

Biogene zwavelzuuraantasting is het gevolg van verschillende complexe en onderling gerelateerde chemische en biologische processen, waarop heel wat ongekende en soms moeilijk te voorspellen parameters een bepalende invloed hebben. De oorzaak van biogene zwavelzuuraantasting is echter steeds de aanwezigheid van hoge concentraties waterstofsulfide (H_2S) in het rioolwater. Om de aantastingsnelheid in het stelsel in te schatten moeten de volgende processen gekwantificeerd worden:

- 1) de vorming van sulfiden in persleidingen,
- 2) menging van sulfidenrijk en sulfidenarm rioolwater,
- 3) vrijstelling van opgeloste sulfiden,
- 4) oxidatie van opgeloste sulfiden.

Hoe wordt in wat volgt uitgelegd.

2.1 Vorming van sulfiden in persleidingen

Sulfiden worden gevormd in het rioleringsstelsel op plaatsen waar geen of heel weinig zuurstof in het afvalwater aanwezig is. Hoewel dergelijke omstandigheden in principe ook kunnen optreden in gravitaire stelsels, is vooral de sulfidenvorming in persleidingen belangrijk. Voorlopig werden enkel deze *aanwijsbare* bronnen van sulfiden in de methodiek opgenomen.

In de literatuur worden een aantal empirische modellen beschreven waarmee sulfidenvorming in persleidingen kan worden begroot. Voorlopige resultaten geven aan dat het model van Hvitved-Jacobsen (1988) een goede beschrijving geeft. Met dit model wordt de toename van de sulfidenconcentratie in de persleiding (genoteerd als ΔH_2S en uitgedrukt in mg S/L) als volgt berekend:

$$\Delta H_2S = k \times \sqrt{CZV_f - 50} \times \frac{A}{V} \times HRT \times 1.07^{(T-20)} \quad (1)$$

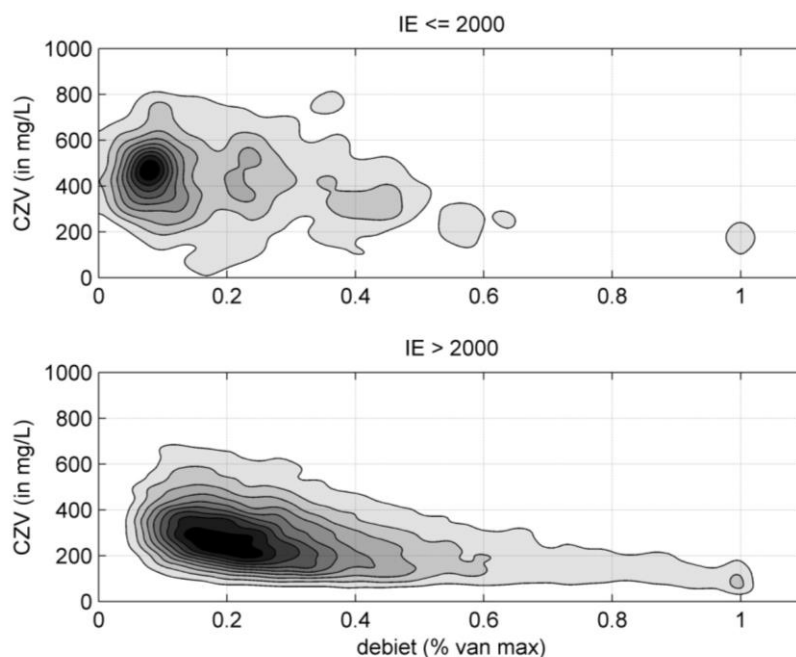
Hierbij stelt k de sulfidenvormingssnelheid (g S/m²/uur) voor, A de oppervlakte van de binnenwand van de persleiding (m²), V het volume van de persleiding (m³), HRT de hydraulische verblijftijd (uur), T de temperatuur van het afvalwater (°C) en CZV_f de chemische zuurstofvraag van een gefiltreerd staal (mg/L). Merk op dat de A/V -ratio (m⁻¹) voor volledig gevulde buizen gelijk is aan $4/\emptyset$, met $\emptyset$ gelijk aan de binnendiameter van de persleiding (in m).

Om de sulfidenconcentraties al tijdens de ontwerpfase te kunnen berekenen, werden volgende aannames gedaan:

- De verblijftijd wordt gedefinieerd als de verhouding tussen het volume van de persleiding (m³) en het debiet dat op het pompstation toekomt (m³/uur). Tijdens de ontwerpfase zijn er uiteraard geen gedetailleerde gegevens beschikbaar van het debiet, maar er wordt gewerkt

op basis het **aantal IE**. Er wordt verondersteld dat 1 IE overeenkomt met een debiet van **110 L/dag voor gescheiden stelsels** en **150 L/dag voor gemengde stelsels**.

- In de wintermaanden is er in de regel weinig aantasting als gevolg van de lage(re) temperaturen en het minder geconcentreerd afvalwater (regenweer en hogere grondwatertafel). Aantasting is typisch een gevolg van wat zich afspeelt tussen april en november. Bij de berekeningen wordt gewerkt met een temperatuur van **18°C** (cf. Vlario-studie uit 2006).
- Om de sulfidenvorming in te schatten wordt gewerkt met de gemiddelde samenstelling van het afvalwater dat op de RWZI's toekomt, nl. **500 mg/L voor gescheiden stelsels** en **300 mg/L voor gemengde stelsels** (zie Figuur 1).
- In het model van Hvitved-Jacobsen (1988) wordt gewerkt met de CZV concentratie van gefiltreerd staal. Op basis van de metingen die reeds door het labo van Aquafin werden uitgevoerd kon worden besloten dat de CZV_f/CZV verhouding typisch **0.4** bedraagt.
- Nielsen et al. (1998) stellen dat een typische waarde voor k zich tussen de 0.003 en de 0.006 g S/m²/uur bevindt voor (Deens) huishoudelijk afvalwater. Dit brede bereik was een gevolg van de grote variatie op de metingen, wat typisch is bij dergelijke meetcampagnes. Hier werd gewerkt met de gemiddelde k -waarde (nl. 0.045 g S/m²/uur), maar de inschattingen op basis van de laagste en de hoogste k -waarde worden eveneens berekend en gerapporteerd (zie verder) en kunnen geïnterpreteerd worden als optimistisch, meest waarschijnlijk en conservatief.



Figuur 1: Gemiddelde chemische zuurstofvraag (CZV, in mg/L) van het rioolwater dat binnenkomt op RWZI's in Vlaanderen met minder dan 2000 IE (boven) en meer dan 2000 IE (onder).

2.2 Menging met sulfidenarm rioolwater

In de huidige beslissingsboom moet geen corrosiebescherming worden voorzien als het debiet van het sulfidenarm of 'vers' afvalwater ter hoogte van de uitstroom van de persleiding groter is dan 1/3 van het debiet van de persleiding. Er wordt dus enkel rekening gehouden met rioolwater dat ter hoogte van de uitstroom van de persleiding bij het sulfidenrijk rioolwater komt. Bovendien wordt steeds gewerkt op basis van de onderlinge verhouding van het debiet van beide stromen, terwijl ook de opgeloste sulfidenconcentraties in de respectievelijke stromen bepalend zijn.

In de nieuwe methodiek wordt een massabalans opgesteld wanneer twee of meer rioolwaterstromen samenkomen. Op die manier kan de resulterende sulfidenconcentratie berekend worden. Hierbij wordt verondersteld dat de sulfidenconcentratie in het rioolwater van strengen zonder persleiding verwaarloosbaar is. Is dat niet het geval, dan moeten de sulfidenconcentraties eerst worden ingeschat.

2.3 Vrijstelling van sulfiden naar de rioolatmosfeer

Omdat sulfiden beperkt oplosbaar zijn in water, zullen ze geleidelijk naar de rioolatmosfeer van de gravitaire leidingen overgaan. In principe zal dit doorgaan tot er een evenwichtsconcentratie wordt bereikt (wet van Henry), maar in de praktijk wordt dit evenwicht zelden bereikt omdat de sulfiden uit het rioolstelsel verdwijnen via openingen in deksels en worden opgenomen door de rioolwand (waar het vervolgens wordt omgezet tot zwavelzuur en resulteert in biogene zwavelzuuraantasting).

Parkhurst en Pomeroy (1972) stelden een empirisch model op waarmee de afname van de sulfidenconcentratie door emissie kan worden gesimuleerd (US EPA, 1985). In het model wordt de afname van de sulfidenconcentratie beschreven met behulp van een eerste orde kinetiek. Met andere woorden, de snelheid waarmee de sulfidenconcentratie afneemt is recht evenredig met de sulfidenconcentratie.

$$\frac{dC_{H_2S}}{dt} = -k \times j \times C_{H_2S} \quad (2)$$

De factor j stelt de fractie van de totale sulfidenconcentratie voor die aanwezig is als $H_2S_{(aq)}$ en is afhankelijk van de pH van het rioolwater:

$$j = \frac{1}{1 + \frac{10^{-7.05}}{10^{-pH}}} \quad (3)$$

In het model van Parkhurst en Pomeroy (1972) wordt k (uitgedrukt in uur^{-1}) als volgt berekend:

$$k = 0.69 \times \left(1 + 0.17 \times \frac{u^2}{g \times d_m} \right) \times (s \times u)^{\frac{3}{8}} \times \frac{1}{d_m} \times 1.07^{(T-20)} \quad (4)$$

Hierbij stelt g de valversnelling voor (gelijk aan 9.81 m/s^2), s de helling (in m/m), u de stroomsnelheid (in m/s) en d_m de gemiddelde hydraulische diameter (in m). Deze laatste wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de natte dwarsdoorsnede (in m^2) en de breedte van het wateroppervlak (in m). Merk op dat de term

$$\frac{u^2}{g \times d_m}$$

gelijk is aan het kwadraat van het Froude getal.

2.4 Oxidatie van opgeloste sulfiden

Een deel van de opgeloste sulfiden wordt echter in het rioolwater geneutraliseerd (of beter, geoxideerd) in aanwezigheid van zuurstof. De uitwisseling van zuurstof tussen rioolwater en rioolatmosfeer is hierbij dus belangrijk en dit wordt grotendeels bepaald door de stromingscondities. Volgens Pomeroy (US EPA, 1974) is de snelheid waarmee sulfiden worden geoxideerd moeilijk in te schatten omdat deze varieert met de biologische activiteit van het rioolwater. In vers rioolwater werden snelheden van 1 tot 2 mg S/L/uur gemeten, terwijl waarden van 10 tot 15 mg S/L/uur gemeten werden in rioolwater dat al enkele uren in het stelsel verbleef.

Bij de inschatting van de sulfidenconcentraties kan rekening gehouden worden met oxidatie door vergelijking (4) te herschrijven als:

$$\frac{dC_{H_2S}}{dt} = -k \times j \times C_{H_2S} - r_{ox} . \quad (5)$$

Bij de nieuwe methodiek voor corrosiebescherming na persleidingen werd gewerkt met een sulfidenoxidatiesnelheid, genoteerd als r_{ox} , van 2 mg S/L/uur.

2.5 Berekening van de aantastingssnelheid

Sulfiden die op de buiswand adsorbeerden zullen worden omgezet in zwavelzuur door sulfiden-oxiderende bacteriën. Een deel van dit zwavelzuur zal terug in het rioolwater terecht komen (bijvoorbeeld omdat het langs de wand naar beneden stroomt of omdat het naar beneden druppelt). De mate waarin dit gebeurt hangt af van de situatie en de omstandigheden en kan dus niet exact bepaald worden. Een studie gecoördineerd door Vlario uit 2006 stelt dat dit aandeel ong. 20% bedraagt. Het zwavelzuur dat niet terug in het rioolwater terecht komt, zal reageren met de alkalische componenten van het beton. De snelheid waarmee het beton aangetast wordt, is dan ook afhankelijk van de alkaliniteit van het beton, genoteerd als α . Een typische waarde voor de alkaliniteit van beton bedraagt 0.2 g CaCO_3 per g beton (zoals bepaald in de Vlario studie uit 2006).

Pomeroy (US EPA, 1974) publiceerde een model om de aantastingssnelheid, genoteerd als r_a , in te schatten:

$$r_a = k \times a \times \frac{\phi_{sw}}{\alpha} \quad (6)$$

Hierbij stelt ϕ_{sw} de flux van sulfiden naar de buiswand voor (uitgedrukt in g S/m²/jaar), α de alkaliniteit van beton (uitgedrukt in g CaCO_3 /g beton), k een factor die compenseert voor de fractie van het gevormde zwavelzuur dat niet reageert met beton (typisch gelijk aan 0.8, zie boven) en a een materiaalconstante die wordt bepaald op basis van de volumieke massa van het beton en de stoichiometrie van het aantastingsproces. Hiervoor wordt typisch een waarde van 11.5 gebruikt. De aantastingssnelheid wordt uitgedrukt in mm per jaar.

Zoals men uit de vergelijking kan zien, veronderstelt het model dat de aantastingssnelheid evenredig is met de flux van sulfiden naar de buiswand (ϕ_{sw} , uitgedrukt in g S/m²/jaar). Met andere woorden, hoe meer sulfiden geabsorbeerd worden door het buisoppervlak, hoe dieper de aantasting zich zal doorzetten. De flux van sulfiden naar de buiswand (sewer wall) is op zijn beurt evenredig met de flux van sulfiden van het rioolwater naar de rioolatmosfeer en wordt als volgt ingeschat:

$$\phi_{sw} = \phi_{sa} \times \frac{b}{P} \quad (7)$$

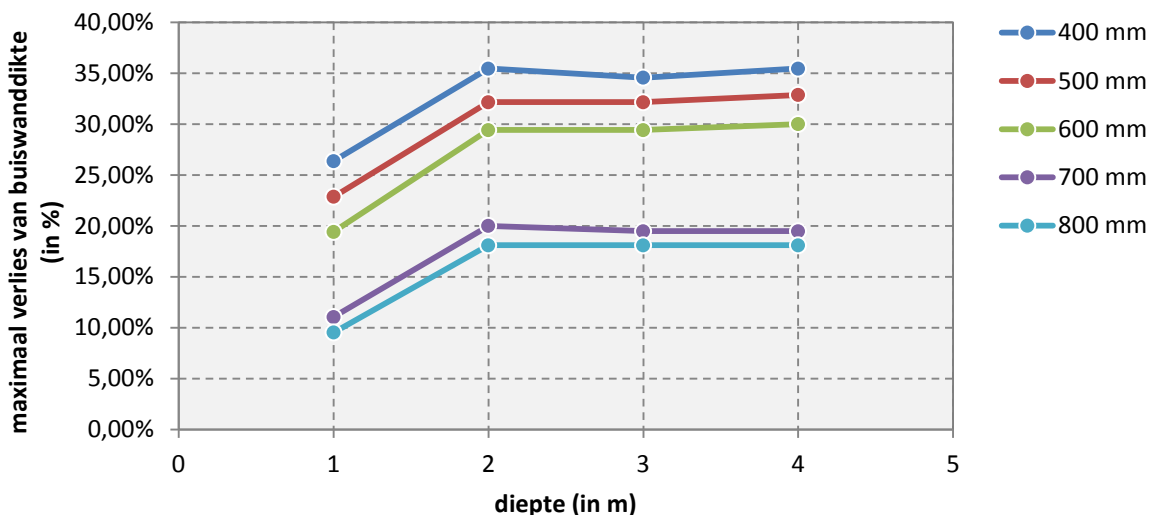
waarbij ϕ_{sa} de flux van sulfiden van het rioolwater naar de rioolatmosfeer (sewer air) voor stelt (uitgedrukt in g/m²/uur) en b/P de verhouding tussen de stroomoppervlak en de blootgestelde buisoppervlakte (-).

De flux van sulfiden naar de rioolatmosfeer is afhankelijk van de stromingscondities en wordt als volgt berekend:

$$\phi_{sa} = 0.69 \times \left(1 + 0.17 \times \frac{u^2}{g \times d_m} \right) \times (s \times u)^{3/8} \times j \times C_{H_2S} \quad (8)$$

2.6 Berekening verwachte levensduur

Eens de aantastingssnelheid werd ingeschat, kan de verwachte levensduur van de betonbuis worden bepaald. Hiervoor moet een minimale buiswanddikte gedefinieerd worden, die werd bepaald rekening houdende met ondermeer de manier van aanleggen, grondmechanische eigenschappen en statische en dynamische belastingen. Deze oefening werd gedaan voor buizen van verschillende diameters en voor verschillende aanlegdieptes (Figuur 2). Voor de berekeningen werd het effect van de aanlegdiepte uitgemiddeld.



Figuur 2: Maximaal verlies van buiswanddikte (in % van de originele buiswanddikte) voor buizen van verschillende diameters, in functie van de diepte (in m).

De verwachte levensduur, genoteerd als τ_{buis} , kan berekend worden als:

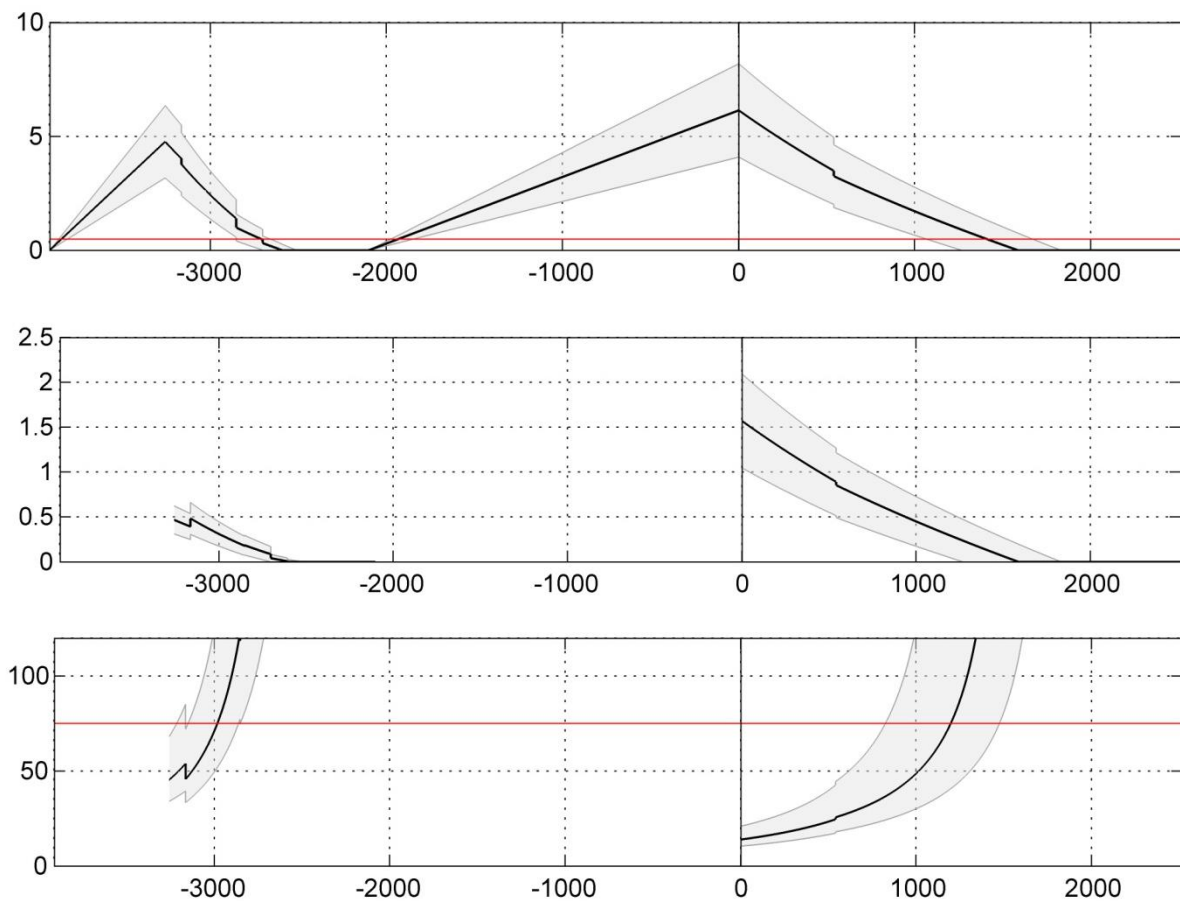
$$\tau_{buis} = \frac{\Delta d_{\%} \times d_{buis}}{r_a} \quad (9)$$

De buiswanddikte, genoteerd als d_{buis} , varieert uiteraard in functie van de diameter van de buis, alsook het maximaal toegelaten verlies van buiswanddikte ($\Delta d_{\%}$, in %).

3 Bepaling aantal meter corrosiebescherming

In de huidige beslissingsboom wordt **200 m corrosiebescherming** voorgeschreven wanneer de verblijftijd in de persleiding meer dan één uur bedraagt. Met de nieuwe methodiek wordt de **minimum afstand** waarover corrosiebescherming moet worden voorzien te berekenen op basis van specifieke karakteristieken van het stelsel. Deze afstand moet worden afgelezen op een grafiek die de verwachte levensduur toont als functie van de afstand tot de uitstroom van de persleiding. Er wordt een **minimum levensduur van 75 jaar** naar voor geschoven.

De gedachtegang wordt geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld (persleiding Grote Lijkstraat, Aalter) dat uitgebreid wordt besproken in Bijlage II. Het verloop van de opgeloste sulfidenconcentraties, de aantastingssnelheid en de verwachte levensduur worden getoond in Figuur 3. Op basis van deze laatste grafiek, kan worden besloten dat er corrosiebescherming moet worden voorzien over een afstand van 1200 m. Dit is in lijn met de camerabeelden (Figuur 4).



Figuur 3: Verloop van de opgeloste sulfidenconcentratie (in mg/L) (boven), de aantastingssnelheid (in mm/jaar) en de verwachte levensduur (in jaar) in het rioolstelsel afwaarts van persleiding Grote Lijkstraat in Aalter. De rode lijnen geven resp. sulfidenconcentraties van 0.5 mg S/L en een levensduur van 75 jaar weer.



Figuur 4: Camerabeelden genomen op een afstand van ong. 150, 850 en 1250 m van de uitstroom van persleiding Grote Lijkstraat in Aalter.