



Vlaanderen
is wetenschap



18_028_1
WL rapporten

Slim stuwen – fase 2

Langetermijnvisie

DEPARTEMENT
**MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN**

waterbouwkundiglaboratorium.be

Slim stuwen – fase 2

Langetermijnvisie

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2019
D/2019/3241/042

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanderkimpfen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2019). Slim stuwten – fase 2: Langetermijnvisie. Versie 4.0. WL Rapporten, 18_028_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Overname uit en verwijzingen naar deze publicatie worden aangemoedigd, mits correcte bronvermelding.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	DVW – afdeling Bovenschelde	Ref.:	WL2019R18_028_1
Keywords (3-5):	Stuwten, Leie, Bovenschelde, Dender		
Tekst (p.):	20	Bijlagen (p.):	/
Vertrouwelijk:	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Auteur(s)	Vanderkimpfen, P.
-----------	-------------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Pereira, F.	Getekend door: Fernando Pereira (Signature) Getekend op: 2019-03-01 08:55:01 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Fernando Pereira</i>
Projectleider:	Vanderkimpfen, P.	Getekend door: Paul Vanderkimpfen (Signature) Getekend op: 2019-03-01 09:45:30 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Paul Vanderkimpfen</i>

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	Getekend door: Frank Mostaert (Signature) Getekend op: 2019-03-01 12:44:31 +01:00 Reden: Ik keur dit document goed <i>Frank Mostaert</i>
-----------------	--------------	---



Abstract

In dit advies wordt een langetermijnvisie voor de verdere uitwerking van het project “Slim Stuwen” voorgesteld. Deze langetermijnvisie bevat voorstellen voor fasering, planning en taakverdeling.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VII
Lijst van de figuren	VIII
1 Doelstelling	1
2 Projecten	2
2.1 Vernieuwing stuwten.....	2
2.1.1 Leie.....	2
2.1.2 Bovenschelde.....	2
2.1.3 Dender	2
2.1.4 Planning	2
2.2 Afstandsbediening	4
2.2.1 Corridors	4
2.2.2 Planning	5
3 Sturing in het waterbeheer	6
3.1 Basisbegrippen	6
3.2 Bestaande systemen.....	7
3.2.1 Vlaanderen – bevaarbare waterlopen.....	7
3.2.2 Vlaanderen – onbevaarbare waterlopen	8
3.2.3 Vlaanderen – rioleringsstelsels.....	8
3.2.4 Wallonië.....	8
3.2.5 Nederland	8
3.2.6 Frankrijk	9
3.2.7 Duitsland.....	9
4 Sturing Leie, Bovenschelde en Dender.....	10
4.1 Doelstelling	10
4.2 Lokale regeling.....	10
4.3 Centrale regeling	11
4.4 Decision support system (DSS)	13
4.5 Model Predictive Control (MPC).....	14
5 Fasering en taakverdeling.....	15

5.1	Inleiding	15
5.2	Fase 1 – Debietschommelingen Leie te Menen	15
5.3	Fase 2 – Langetermijnvisie	15
5.4	Fase 3 – Lokale regeling.....	15
5.5	Fase 4 – Centrale regeling	17
5.6	Fase 5 – Decision support system (DSS)	17
5.7	Fase 6 – Model predictive control (MPC)	18
6	Conclusies en aanbevelingen	19
7	Referenties	20

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Planning vernieuwing stuwen	3
Tabel 2 – Eigenschappen corridors afstandsbediening	4
Tabel 3 – Planning corridors afstandsbediening	5
Tabel 4 – Planning project “Slim Stuwen”	16

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Corridors afstandsbediening	4
Figuur 2 – Lokale en centrale sturing	12

1 Doelstelling

De afdeling Bovenschelde van De Vlaamse Waterweg is bezig met de vernieuwing van de stuwen langsheen de Leie, Bovenschelde en Dender. De nieuwe stuwen zullen allemaal automatisch gestuurd worden. Als onderdeel van de vernieuwing worden op de meeste locaties vispassages gebouwd. In Harelbeke wordt een turbine/pomp-installatie bij de stuwsluis voorzien. Bij lage afvoeren kan die water vanuit het afwaartse pand terugvoeren naar het opwaartse pand. Bij hoge afvoeren kan ze als turbine werken en elektrische stroom opwekken. Om de nieuwe stuwen en hun randvoorzieningen optimaal te laten werken, dient voor elke site een doordacht sturingsalgoritme opgesteld te worden. Omwille van de mogelijke interacties tussen naburige sites die langsheen dezelfde waterloop gelegen zijn, is het belangrijk om de sturingsalgoritmes van de afzonderlijke sites ook op elkaar af te stemmen.

Langsheen de Leie treden momenteel grote debietschommelingen op, zelfs bij droog weer. Deze debietschommelingen hebben een negatieve impact op het beheer en het onderhoud van de bestaande infrastructuur en zullen een nog grotere impact hebben op de nieuwe infrastructuur. Uit verkennend onderzoek is reeds gebleken dat deze schommelingen vermoedelijk opwaarts van de grens met Wallonië en Frankrijk ontstaan. Indien uit verder onderzoek, in samenwerking met de Waalse en Franse beheerders van de Lys en de Deûle, zou blijken dat deze schommelingen niet vermeden kunnen worden door maatregelen aan de bron, dan zal onderzocht moeten worden of het mogelijk is ze te dempen door maatregelen in de omgeving van de grens.

In het verleden werden de sluizen en bruggen langsheen de bevaarbare waterlopen meestal ter plaatse bediend. Dit gebeurde vanuit een bedieningslokaal in de onmiddellijke nabijheid van het kunstwerk. In de toekomst zal overgeschakeld worden naar een bediening op afstand vanuit een beperkt aantal centrales. Elke centrale zal in verbinding staan met alle kunstwerken langsheen dezelfde as. De afdeling Automatisatie en Scheepvaartmanagement van De Vlaamse Waterweg is reeds begonnen met de uitbouw van een netwerk voor de bediening op afstand van sluizen en bruggen. De uitvoering van dit project opent perspectieven voor de uitbouw van een centrale sturing voor meerdere stuwen die langsheen dezelfde waterloop (Leie, Bovenschelde of Dender) gelegen zijn.

Het voorliggende rapport heeft tot doel na te gaan op welke wijze de sturing van de stuwen onder het beheer van de afdeling Bovenschelde van De Vlaamse Waterweg geoptimaliseerd kan worden, rekening houdend met de noden en de planning van de lopende projecten voor Leie, Bovenschelde en Dender.

2 Projecten

2.1 Vernieuwing stuwen

2.1.1 Leie

In Menen werd in 1989 een nieuwe stuw gebouwd. De PLC-sturing van deze stuw werd recent vernieuwd. Op termijn zal er ook een vispassage gebouwd worden.

In Harelbeke worden de sluis en de stuw momenteel vervangen. Daarna zullen er ook een vispassage en een pomp/turbine gebouwd worden.

In Sint-Baafs-Vijve zal de stuw binnenkort gerenoveerd worden. De oude sluis naast de stuw zal omgebouwd worden tot vispassage.

2.1.2 Bovenschelde

In Kerkhove is een nieuwe stuw in uitvoering. Naast deze nieuwe stuw wordt ook een vispassage aangelegd.

In Oudenaarde werd in 2004 een nieuwe stuw met vispassage gebouwd. Deze vispassage zal mogelijk gerenoveerd worden.

In Asper werd in 2010 een nieuwe stuw met vispassage gebouwd. Deze vispassage zal mogelijk gerenoveerd worden.

2.1.3 Dender

In Geraardsbergen is een nieuwe stuw in aanbouw. Een van de bestaande stuwen wordt omgebouwd tot vispassage. De werken liggen voorlopig stil en zullen ten vroegste in 2019 opnieuw opgestart worden.

In Idegem zal een nieuwe stuw met vispassage gebouwd worden. Het project bevindt zich momenteel nog in de studiefase.

In Pollare zal een nieuwe stuw met vispassage gebouwd worden. Het project bevindt zich momenteel nog in de studiefase.

In Denderleeuw zal een nieuwe stuw met vispassage gebouwd worden. Het project bevindt zich momenteel nog in de studiefase.

In Aalst is een nieuwe stuw in aanbouw. Naast de stuw wordt ook een nieuwe vispassage voorzien.

In Denderbelle zal een nieuwe stuw met vispassage gebouwd worden. Het project bevindt zich momenteel nog in de studiefase.

2.1.4 Planning

Tabel 2 geeft een overzicht van de huidige planning voor de uitvoering van de projecten die in de vorige paragrafen vermeld werden.

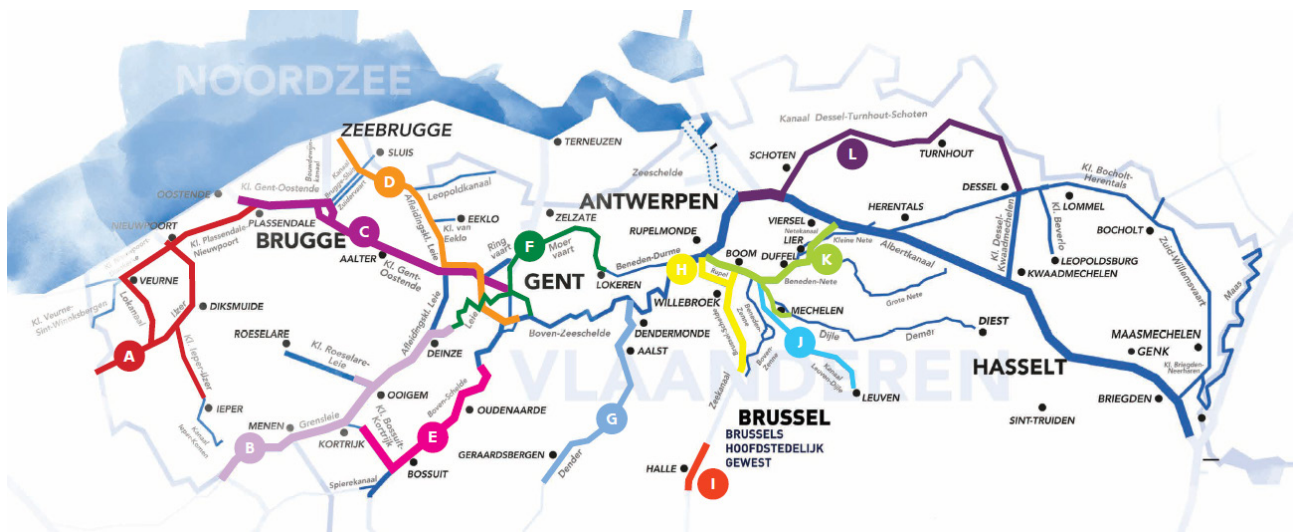
3

2.2 Afstandsbediening

2.2.1 Corridors

In de toekomst zullen alle kunstwerken langsheen dezelfde as of corridor vanop afstand bediend worden vanuit een centrale. Figuur 1 toont de ligging van de corridors. Tabel 2 geeft een overzicht van de waterlopen en centrales voor de corridors die binnen het beheersgebied van de afdeling Bovenschelde gelegen zijn. Voor het project “Slim stuwen” zijn enkel de corridors B, C, D, E, F en G van belang.

Figuur 1 – Corridors afstandsbediening (bron: DVW (2017))



Tabel 2 – Eigenschappen corridors afstandsbediening (bron: DVW (2017))

Corridor	Centrale	Waterlopen
A – Westhoek	Plassendale → Nieuwpoort	Ijzer, Lokanaal, Kanaal Ieper-Ijzer, kanaal Plassendale-Nieuwpoort
B – Leie	Sint-Baafs-Vijve	Leie
C – Gent Brugge Oostende	Brugge → (in vooronderzoek)	Kanaal Gent-Oostende
D – Ringvaart Gent	Evergem	Ringvaart Gent, Afleidingskanaal van de Leie
E – Boven-Schelde	Oudenaarde	Bovenschedde, kanaal Bossuit-Kortrijk
F – Groot Gent	Evergem	Toeristische Leie, Oude Schelde, kanaal Gent-Terneuzen, Moervaart
G – Dender	Aalst	Dender

2.2.2 Planning

Tabel 3 geeft een overzicht van de status van elke corridor (december 2017) en de verwachte datum waarop de corridor operationeel zal zijn.

Tabel 3 – Planning corridors afstandsbediening (bron: DVW (2017))

Corridor	Status	Operationeel
A – Westhoek	Deels operationeel	>2020
B – Leie	In realisatie	>2020
C – Gent Brugge Oostende	Deels operationeel	>2020
D – Ringvaart Gent	In realisatie	>2020
E – Boven-Schelde	In opstart	>2020
F – Groot Gent	In realisatie	>2020
G – Dender	In realisatie	>2020

3 Sturing in het waterbeheer

3.1 Basisbegrippen

Sommige kunstwerken (bv stuwen) hebben een vaste stand (bv kruinhoogte). Bij andere kunstwerken varieert de stand in functie van de omstandigheden. Indien de stand van een kunstwerk volledig automatisch bijgestuurd wordt in functie van wijzigende omstandigheden, dan spreekt men van Real Time Control (RTC). In het beheer van waterlopen is RTC reeds goed ingeburgerd. In het beheer van rioleringsystemen wordt het minder vaak gebruikt.

De sturing is het proces waarbij een kunstwerk in een nieuwe stand gebracht wordt op basis van bepaalde criteria (bv de zomer- en de winterstand van een stuw). Indien de sturing gebeurt op basis van metingen (of voorspellingen), dan spreekt men van een regeling. Een regeling die enkel gebruik maakt van metingen van invoervariabelen (bv neerslag) noemt men een voorwaartse regeling (feedforward control). Een regeling die gebaseerd is op een meting van een toestandsvariabele (bv waterpeil) is een regeling met terugkoppeling (feedback control).

In het geval van stuwen op bevaarbare waterlopen is de beschouwde toestandsvariabele vaak het waterpeil opwaarts van de stuw. In andere gevallen wordt soms ook gebruik gemaakt van het doorgelaten debiet (bv watervoorziening voor irrigatie), het waterpeil afwaarts van de stuw (bv wachtbekkens voor overstromingspreventie) of de verdrinkingsgraad (bv ter bevordering van vismigratie langs stuwen zonder vispassage).

Bij de automatische sturing van kunstwerken wordt meestal gebruik gemaakt van een regelaar. Deze vergelijkt de werkelijke waarde van een toestandsvariabele (bv waterpeil) met de gewenste waarde (bv streefpeil). De werkelijke waarde wordt gemeten door een sensor (bv waterpeilmeter). Indien de werkelijke waarde te sterk afwijkt van de gewenste waarde, dan stuurt de regelaar een signaal naar een actuator (bv een klep aangedreven door een hydraulische pomp) die vervolgens een corrigerende beweging uitvoert om de werkelijke waarde bij te sturen.

De meeste regelaars die momenteel gebruikt worden voor het sturen van reeds geautomatiseerde stuwen op bevaarbare waterlopen zijn empirische regelaars. Deze maken gebruik van een aantal empirische regels, die van locatie tot locatie verschillen.

Een veel gebruikte regelaar is de PID regelaar (Proportional Integral Derivative controller). Deze berekent de benodigde bijsturing op basis van maximaal drie verschillende termen: de eerste is proportioneel met de geobserveerde afwijking (P), de tweede is gebaseerd op de cumulatieve waarde van de afwijking (I) en de derde maakt gebruik van de variatie van de afwijking (D).

Regelaars maken gebruik van een aantal constanten die voor elke regelaar afzonderlijk geoptimaliseerd moeten worden. Dit noemt men het afstellen (tunen) van de regelaar. Het afstellen gebeurt nu vaak op het terrein, door middel van trial and error. Indien een numeriek model van de waterloop beschikbaar is, kunnen de constanten ook voorafgaandelijk geoptimaliseerd worden door middel van dit model. Een slecht afgestelde regelaar kan aanleiding geven tot ongewenst gedrag (bv sterke schommelingen) van de geregelde variabele.

Sommige complexe regelaars maken gebruik van vereenvoudigde numerieke modellen om voorspellingen van neerslag om te rekenen naar voorspellingen voor debieten en waterstanden. Vervolgens doen ze een beroep op optimalisatietechnieken om de stuwstanden te berekenen die nodig zijn om een gewenst effect (bv behoud streefpeil) te maximaliseren of een ongewenst effect (bv overstromingen) te minimaliseren. Dit proces noemt men Model Predictive Control (MPC).

Het is ook mogelijk om de impact van sturingskeuzes modelmatig te analyseren en vervolgens enkel te visualiseren. De operatoren kunnen ze dan raadplegen en vervolgens zelf beslissen of ze een bepaalde sturing daadwerkelijk uitvoeren of niet. Een dergelijk systeem kan omschreven worden als een Decision Support System (DSS) of een BeslissingsOndersteunend Systeem (BOS). Beide termen verwijzen naar een grote waaier aan systemen met sterk uiteenlopende eigenschappen. In dit document wordt de ruime definitie verengd tot *modelgebaseerde* systemen voor de ondersteuning van *operationele* beslissingen. Dergelijke systemen zijn vooral interessant wanneer er meerdere factoren (bv hoogwaterbeheer en scheepvaart) meespelen bij de beslissing.

Indien elk kunstwerk afzonderlijk gestuurd wordt op basis van een beperkte hoeveelheid informatie van sensoren uit de onmiddellijke omgeving van dit kunstwerk, dan spreekt men van een lokale regeling. Indien meerdere kunstwerken gestuurd worden door informatie van sensoren langsheen de volledige waterloop of het volledige stroombekken, dan is er sprake van een globale regeling. Meestal zullen de lokale regelaars niet rechtstreeks met elkaar communiceren, maar zullen ze enkel communiceren met een centrale eenheid die zelf met alle kunstwerken in contact staat. Een systeem dat meerdere kunstwerken tegelijkertijd stuurt op basis van informatie van een groot aantal sensoren verspreid over meerdere sites, noemt men een centrale regeling.

Een eenvoudige lokale regeling wordt meestal geïmplementeerd door middel van een PLC (Programmable Logic Controller). Dit is een eenvoudige microprocessor met een beperkt aantal in- en uitgangskanalen. Via de ingangskanalen ontvangt de PLC informatie van de sensoren. Via de uitgangskanalen zendt hij instructies naar de actuatoren. Geavanceerde PLC's beschikken vaak over een aantal voorgeprogrammeerde regelaars.

Meer complexe, vaak modelgebaseerde, centrale regelingen worden meestal geïmplementeerd op een PC (Personal Computer). Deze dient dan voorzien te worden van de nodige software om de communicatie met lokale PLC's te verzorgen.

3.2 Bestaande systemen

Door middel van een korte rondvraag en literatuurstudie werd nagegaan hoe kunstwerken in het algemeen en ketens van stuwen in het bijzonder in naburige gewesten en landen momenteel gestuurd worden.

3.2.1 Vlaanderen – bevaarbare waterlopen

De automatische stuwen op de bevaarbare waterlopen zijn haast allemaal uitgerust met empirische regelaars. De enige uitzondering is de stuw van Oudenaarde op de Bovenschelde. Bij de vernieuwing van deze stuw werd ze uitgerust met een PID regelaar. Het afstellen van deze PID regelaar blijkt niet eenvoudig te zijn. Momenteel worden enkel lokale regelingen gebruikt.

De langsriolen van de sluizen op het kanaal Brussel-Charleroi (Lembeek, Halle, Lot en Ruisbroek) werden recent uitgerust met PID regelaars die een automatische regeling van het waterpeil in het kanaal mogelijk maken. In de praktijk wordt de automatische regeling weinig gebruikt omwille van een aantal praktische problemen, waaronder afstemming met de scheepvaart, afstemming met het Waals gewest en een versterking van de afvoergolven.

In het kader van de bouw van een nieuwe sluis in Terneuzen, zal een DSS voor het beheer van het kanaal Gent-Terneuzen uitgebouwd worden. Dit DSS zal de operatoren van het sluizencomplex van Terneuzen ondersteunen bij het verzoenen van de vaak tegenstrijdige noden van de scheepvaart (schutten), het hoogwaterbeheer (spuien) en het behoud van de waterkwaliteit (terugdringen zoutintrusie).

3.2.2 Vlaanderen – onbevaarbare waterlopen

De automatische stuwen op de onbevaarbare waterlopen van eerste categorie, beheerd door de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), zijn eveneens uitgerust met empirische regelaars. Deze regelaars sturen vaak op meerdere variabelen tegelijk. Afhankelijk van de afvoer wordt er dan gestuurd op opwaarts waterpeil, afwaarts waterpeil of verdrinkingsgraad. Door medewerkers van VMM worden geen problemen met versterking van afvoergolven gerapporteerd. Er worden dan ook geen speciale voorzieningen voor getroffen.

Enkele jaren geleden werd een MPC systeem geïnstalleerd voor de sturing van de kunstwerken rondom de wachtbekkens van Schulen en Webbekom, gelegen langsheen de Demer opwaarts Diest. Dit systeem maakt gebruik van vereenvoudigde conceptuele modellen en een industriële MPC regelaar (INCA). Het systeem heeft tot doel de vulling en lediging van de wachtbekkens van Schulen en Webbekom te optimaliseren en de schade door overstromingen te minimaliseren. Het is volledig operationeel, maar trad nog niet in werking omdat er sedert de indienstelling nog geen uitzonderlijke gebeurtenissen opgetreden zijn.

3.2.3 Vlaanderen – rioleringsstelsels

Aquafin realiseerde reeds een pilootproject waarbij RTC ingezet wordt voor het optimaliseren van de werking van een rioleringsstelsel in Kessel-Lo. Een aantal afsluiters in het rioleringsstelsel wordt zodanig gestuurd dat de berging in verschillende delen van het rioleringsstelsel zo gelijkmatig mogelijk benut wordt en het totale overstortvolume geminimaliseerd wordt. In de nabije toekomst zullen meer van dergelijke systemen gebouwd worden.

3.2.4 Wallonië

De nieuwe stuwen op de Haute-Meuse werden allemaal uitgerust met PID regelaars. Deze regelen het opwaartse waterpeil. Het streefpeil van elke stuw wordt echter regelmatig bijgestuurd in functie van het gemeten debiet op de Maas in Chooz en op de zijlopen. Deze regeling is een overgangsvorm tussen een lokale en een globale regeling. Nabij een aantal stuwen ligt ook een waterkrachtcentrale. Wanneer een centrale in- of uitgeschakeld wordt, dan wordt de stuwstand automatisch aangepast om het gewijzigde debiet doorheen de waterkrachtcentrale te compenseren. De PID regelaars worden afgesteld door medewerkers van de Universit   Catholique de Louvain (UCL). Afvoergolven worden vaak probleemloos doorheen een reeks van vier stuwen geloodst. Vanaf de vijfde stuw treedt er soms versterking op. De oorzaak van deze versterking wordt momenteel onderzocht.

De nieuwe stuwen op de Dendre en de Haut-Escaut werden eveneens uitgerust met PID regelaars. Vermoedelijk werden deze voorlopig voorzien van ruw geschatte constanten. In de toekomst zullen ook deze PID regelaars afgesteld worden door medewerkers van de UCL.

3.2.5 Nederland

De zeven stuwen op de Maas in Nederland hebben allemaal een verschillende werking. Vijf van de zeven stuwen worden grotendeels manueel en slechts gedeeltelijk automatisch bediend. Enkel de stuwen van Borgharen en Lith werken volledig automatisch. De sturingen zijn gebaseerd op empirische regels die gericht zijn op het handhaven van het waterpeil, het verzekeren van een minimaal debiet en het dempen van onnatuurlijke schommelingen (veroorzaakt door het in- en uitschakelen van de waterkrachtcentrales in Wallonië). Er bestaan plannen om de stuwen te renoveren, maar er zijn nog geen concrete voorstellen voor de toekomstige sturing.

De drie vizioerstuwen op de Nederrijn en Lek verzekeren de bevaarbaarheid bij lage afvoeren. De meest opwaartse stuw (Briel) regelt ook de waterverdeling tussen de Nederrijn en de IJssel. De meest afwaartse stuw (Hagestein) speelt een rol bij de verdeling van zoet water ten behoeve van de bestrijding van zoutindringing in de Rijn-Maas monding. De stuwen worden handmatig bediend op basis van empirische regels, samengevat

in een “stuwprogramma”. Dit stuwprogramma beschrijft de gewenste instellingen van elke stuw, in functie van het debiet van de Rijn te Lobith. Alhoewel elke stuw individueel bediend wordt, verzekert het stuwprogramma de onderlinge samenhang. De stuwen worden momenteel gerenoveerd. Na afronding van de renovaties, zullen alle stuwen bediend worden vanuit één centrale bij de middelste stuw (Amerongen).

Voor een aantal regio's (bv Rijnland, Brabant, ...) werd er reeds een DSS ontwikkeld. Deze systemen worden ingezet voor het verbeteren van de waterveiligheid, de waterkwaliteit en het energieverbruik.

3.2.6 Frankrijk

De stuwen op de Haute-Meuse (en de Aisne) worden nog grotendeels manueel bediend. Er bestaan echter plannen om de verouderde stuwen te vervangen. Er kon nog geen informatie bekomen worden over de wijze waarop de nieuwe stuwen gestuurd zullen worden.

De stuwen op de Rhône worden beheerd door de Compagnie Nationale du Rhône (CNR) die ook de bijhorende waterkrachtcentrales uitbaat. Alle stuwen worden gestuurd door een lokale PID regelaar. De coördinatie tussen de stuwen (bv opleggen van tijdsafhankelijke streefdebieten in functie van elektriciteitsproductie) wordt verzorgd door een centrale eenheid.

De stuwen op de Rhin in het Frans-Duitse grensgebied worden beheerd door Electricité de France (EDF). Deze laatste is ook de uitbater van de waterkrachtcentrales. Het beheersysteem is vergelijkbaar met dat van de Rhône. Het bestaat eveneens uit een combinatie van een lokale regelaar bij elke stuw en een centrale eenheid voor de coördinatie van de stuwen, met het oog op de optimalisatie van de elektriciteitsproductie.

3.2.7 Duitsland

De stuwen op de bevaarbare waterlopen in het westen van Duitsland (Rhein, Main, Mosel, Neckar, Saar) worden tegenwoordig allemaal automatisch gestuurd. Ook hier worden de stuwen vaak vergezeld van waterkrachtcentrales. Net zoals in Frankrijk, worden deze stuwen vaak gestuurd door een combinatie van een lokale regelaar en een centrale eenheid.

Ook in Duitsland wordt veelvuldig gebruik gemaakt van PID regelaars. Op waterlopen waar een sturing op waterpeil zou kunnen leiden tot een versterking van afvoergolven, wordt een zogenaamde “OW/Q regeling” geïmplementeerd. Deze combineert een regeling met terugkoppeling op opwaarts waterpeil (OW = Oberwasser) met een voorwaartse regeling op basis van het instromende debiet (Q). Een alternatieve techniek bestaat erin het streefpeil te variëren in functie van het instromende debiet. Dit noemt men in Duitsland een “anticipatieve regeling”.

Er wordt reeds geëxperimenteerd met MPC systemen (bv op de Mosel), maar die zijn momenteel nog niet volledig operationeel.

4 Sturing Leie, Bovenschelde en Dender

4.1 Doelstelling

Om de sturing van een kunstwerk te kunnen optimaliseren moet vooraf duidelijk afgelijnd worden welke doelstelling nagestreefd zal worden. Deze doelstelling kan variëren van locatie tot locatie. Op een bepaalde locatie kan de doelstelling ook variëren naargelang de afvoer.

Voor de stuwen op de Leie, Bovenschelde en de Dender kunnen volgende algemene doelstellingen geformuleerd worden:

- bij lage afvoeren:
 - minimale diepgang verzekeren
 - goede werking vispassages verzekeren
 - goede werking pomp/turbine (in pomp modus) verzekeren
- bij gemiddelde afvoeren:
 - minimale vrije doorvaarhoogte verzekeren
 - goede werking vispassages verzekeren
 - goede werking pomp/turbine (in turbine modus) verzekeren
- bij hoge afvoeren:
 - overstromingen vermijden of
 - schade en slachtoffers vermijden

Naargelang de doelstelling zal ook het instrumentarium dat ingezet moet worden om deze doelstelling te realiseren verschillen.

In geval van een DSS of een MPC systeem dient de doelstelling gekwantificeerd te worden door middel van een doelfunctie, waarvan de waarde vervolgens geminimaliseerd of gemaximaliseerd kan worden.

4.2 Lokale regeling

Men kan mathematisch aantonen dat een stuw die gestuurd wordt op een strikt behoud van het streefpeil opwaarts van de stuw aanleiding kan geven tot een versterking van een afvoergolf die deze stuw passeert (PIANC, 1990). Of dit ook werkelijk zal gebeuren, zal afhangen van de eigenschappen van de regelaar, de vorm en de duur van de afvoergolf en de eigenschappen van het rivierpand opwaarts van de stuw. Volgens Neumüller en Bernhauer (1969 en 1976) kan de kans dat een stuw aanleiding zal geven tot versterking van een afvoergolf ingeschat worden op basis van de verhouding tussen de looptijd en de retentietijd van een afvoergolf in het rivierpand opwaarts van de stuw. Indien de looptijd groter is dan de retentietijd, dan zal een sturing op waterpeil aanleiding geven tot een versterking van afvoergolven. Aangezien looptijd en retentietijd afhankelijk zijn van het debiet, wordt een uitgebreide analyse al snel tijdrovend. Indien een gekalibreerd numeriek model van de waterloop beschikbaar is, dan kan deze analyse vervangen worden door het doorrekenen van een lange reeks afvoergolven. Uit de modelresultaten kan dan afgeleid worden of er een risico op versterking van afvoergolven bestaat of niet.

Uit een aantal verkennende berekeningen voor de stuw op de Leie te Menen, uitgevoerd in het kader van de eerste fase van het project “Slim Stuwen” (Vanderkimpfen et al., 2018), is gebleken dat een empirische regeling op waterpeil (type Harelbeke) in specifieke gevallen (pand Komen-Menen op de Leie) goede resultaten kan opleveren. Het is echter niet zeker dat een dergelijke regelaar op alle locaties en in alle omstandigheden even goed zal werken. Dit kan gecontroleerd worden aan de hand van de bestaande hydrodynamische modellen voor de Leie (stuwen Menen, Harelbeke en Sint-Baafs-Vijve), de Bovenschelde

(stuwen Kerkhove, Oudenaarde en Asper) en de Dender (stuwen Geraardsbergen, Idegem, Pollare, Denderleeuw, Aalst en Denderbelle). Deze modellen werden opgemaakt met het hydrodynamische modelleringspakket Mike11.

De PID regelaar voor de stuw in Oudenaarde werkt niet optimaal. Uit de inventarisatie beschreven in het vorige hoofdstuk, blijkt evenwel dat dergelijke regelaars elders op grote schaal en met succes ingezet worden voor het sturen van stuwen. Dit doet vermoeden dat de PID regelaar voor de stuw van Oudenaarde niet correct afgesteld is. Wanneer de regelconstanten gekend zijn, dan kan de werking van een PID regelaar waarschijnlijk gesimuleerd worden met het bestaande hydrodynamische model van de Bovenschelde. Dit is niet helemaal zeker omdat er verschillen bestaan tussen verschillende implementaties van PID regelaars (bv met of zonder maatregelen tegen windup). De regelconstanten van het ene type kunnen niet zomaar overgedragen worden naar een ander type. Indien de huidige regelconstanten geen bevredigende resultaten opleveren, dan kunnen ze op iteratieve wijze bijgesteld worden. Om dit proces efficiënt te laten verlopen is ervaring met het afstellen van PID regelaars nodig. Het is dan ook wenselijk dat de analyse en optimalisatie van de PID regelaar in Oudenaarde zou gebeuren in samenwerking met een strategische partner met ruime ervaring in het afstellen van PID regelaars voor waterbeheer.

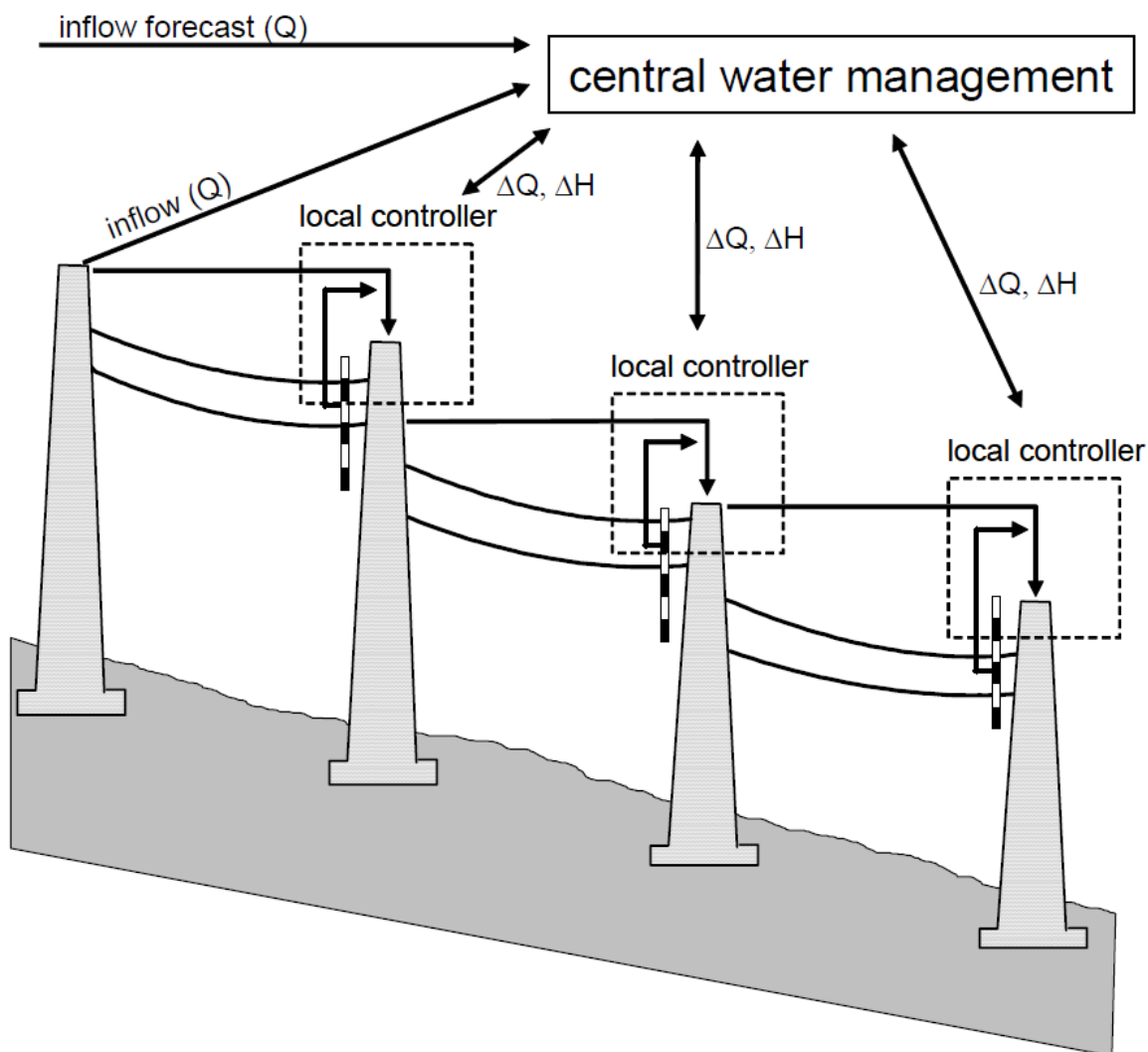
4.3 Centrale regeling

Indien meerdere stuwen in serie staan, dan zou de stapsgewijze versterking van kleine afvoerfluctuaties door opeenvolgende stuwen aanleiding kunnen geven tot sterke schommelingen van het debiet aan het afwaartse einde van de keten. Om dit te vermijden kan men gebruik maken van de technieken die nu reeds gebruikt worden op de Haute-Meuse in Wallonië en een aantal bevaarbare waterlopen in Duitsland. Indien uit de analyse beschreven in de vorige paragraaf zou blijken dat er langsheen bepaalde assen geen versterking optreedt, dan zijn er op die assen geen specifieke technieken nodig.

Een “anticipatieve regeling” maakt gebruik van een gemeten debiet aan het opwaartse einde van de keten van stuwen. Eventueel kan ook zijdelingse instroming in rekening gebracht worden en kan ook een filter toegepast worden om hoogfrequente storingen uit de meetreeksen weg te filteren. Het gecorrigeerde debiet wordt vervolgens gebruikt om het streefpeil van individuele stuwen aan te passen (verhogen als het opwaarts debiet daalt en verlagen als het opwaarts debiet stijgt). Een afwaarts gelegen stuw zal dan reeds reageren op een toekomstige wijziging van de afvoer, nog voor deze gewijzigde afvoer de stuw bereikt heeft.

Een anticipatieve regeling wordt best geïmplementeerd door een combinatie van lokale regelaars die in contact staan met een centrale eenheid. Dit principe wordt geïllustreerd in Figuur 2. De lokale regelaars regelen het lokale waterpeil op basis van een standaard streefpeil. De centrale eenheid ontvangt metingen (en eventueel ook voorspellingen) van de instroomdebieten en bepaalt op basis daarvan de benodigde correctie op het standaard streefpeil en stuurt ze door naar de lokale regelaars. Indien de verbinding tussen de centrale eenheid en een lokale regelaar (tijdelijk) zou wegvallen in crisissituaties, dan kan de lokale regelaar autonoom verder werken op basis van het standaard streefpeil.

Figuur 2 – Lokale en centrale sturing (bron: Theobald en Theobald (2011))



In Vlaanderen zouden anticipatieve regelingen uitgebouwd kunnen worden op basis van de debietmetingen op de Leie te Menen, de Bovenschelde te Helkijn of de Dender te Overboelare. Dit veronderstelt enkel een verbinding tussen de debietmeter en de (toekomstige) centrales voor afstandsbediening in Sint-Baafs-Vijve, Oudenaarde of Aalst. Vanuit de centrales kunnen deze debieten dan naar de lokale regelaars doorgestuurd worden via de bestaande verbindingen.

Het succes van een anticipatieve regeling wordt sterk beïnvloed door de kwaliteit van de gebruikte meetreeksen. Indien deze reeksen zelf reeds negatief beïnvloed zijn door debietschommelingen die veroorzaakt werden door stuwen die opwaarts van de meetposten gelegen zijn, dan zullen deze schommelingen door de hele keten van stuwen doorgegeven worden. Als gevolg van de beperkte berging in de bevaarbare waterlopen, kunnen dergelijke golven slechts in beperkte mate gedempt worden.

Indien voor de lokale regeling gebruik gemaakt zou worden van empirische regelaars, dan kan de impact van een anticipatieve regeling geëvalueerd worden door middel van de bestaande hydrodynamische modellen van Leie, Bovenschelde en Dender. Indien geopteerd zou worden voor de introductie van PID regelaars, dan kan de evaluatie best gebeuren door een strategische partner die aantoonbare ervaring heeft met het configureren van anticipatieve regelingen met PID regelaars in serie.

4.4 Decision support system (DSS)

De sturingen beschreven in de twee vorige paragrafen zijn vooral nuttig voor het beheersen van waterstanden en debieten bij lage en gemiddelde afvoeren. Tijdens extreme wassen of stormen kunnen deze doelstellingen niet langer gerealiseerd worden en dient de aandacht verschoven te worden naar het vermijden van overstromingen of naar het minimaliseren van de gevolgen ervan. Een mogelijk instrument daarbij is een DSS.

Voorbeelden van operationele beslissingen waarbij een DSS zijn nut kan bewijzen zijn: het al of niet openen van een noodstuw of het al of niet aanschakelen van een noodpomp (waardoor opwaartse gebieden ontlast worden, maar afwaartse gebieden sterker belast worden), het snel of traag ledigen van een overstromingsgebied tijdens combinaties van wassen en stormen, het bepalen van de benodigde streefpeilverlaging in een afwaarts kanaalpand om een buffer te creëren voor de afvoer uit een opwaarts kanaalpand, het al of niet openen van een keersluis in het licht van onzekere verwachtingen, het al of niet openen van een sluis voor extra waterafvoer tijdens een combinatie van wassen en stormen, de keuze van de meeste geschikte afvoerweg voor het lozen van overtollig water tijdens een was, ...

Een operationeel DSS bestaat doorgaans uit:

- een module voor de verzameling van gegevens
- een module voor de analyse van het watersysteem
- een module voor de optimalisatie van het watersysteem (optioneel)
- een gebruikersinterface (voor selectie van opties, visualisatie van resultaten)

De module voor de verzameling van gegevens dient zowel de metingen voor de bestaande toestand als de voorspellingen voor de toekomstige toestand te omvatten.

De module voor de analyse van het systeem maakt gebruik van modellen om de impact van bepaalde ingrepen te onderzoeken. Om een voldoende aantal scenario's door te kunnen rekenen binnen een aanvaardbare tijdspanne (essentieel om te kunnen spreken van een operationeel DSS), moet gebruik gemaakt worden van (sterk) vereenvoudigde modellen.

Een eenvoudig DSS laat toe om een beperkt aantal scenario's door te rekenen met een vereenvoudigd model. Op basis van de simulatieresultaten kan de operator het scenario kiezen dat het best aansluit bij zijn doelstellingen. Een meer gesofisticeerd DSS zal gebruik maken van een optimalisatiemodule voor het bepalen van het meest optimale scenario (in het licht van de toegelaten ingrepen en de gekozen doelstelling) en dit scenario vervolgens aan de operator voorleggen. De operator kan dan zelf beslissen of hij de suggestie van het DSS opvolgt of, op basis van eigen ervaring, toch een andere optie verkiest. Het optimalisatieproces vergt het doorrekenen van een zeer groot aantal alternatieven. De implementatie van een optimalisatiemodule is dan ook enkel mogelijk indien zeer sterk vereenvoudigde modellen beschikbaar zijn.

Voor de Dender werden reeds zeer eenvoudige conceptuele hydraulische modellen opgesteld. Indien de Dender als pilootcase geselecteerd zou worden, dan kan de klemtoon gelegd worden op het opstellen van geschikte doelfuncties, het identificeren van geschikte optimalisatietechnieken en het zoeken naar een geschikte ontwikkelomgeving. Indien een andere waterloop als pilootcase gebruikt zou worden, dan moeten ook nog conceptuele modellen voor die waterloop opgesteld worden.

Binnen de verschillende afdelingen van de Vlaamse overheid is reeds veel ervaring beschikbaar met betrekking tot een aantal modules van een DSS. De uitbouw van een eenvoudig DSS lijkt dan ook een haalbare kaart. Voor de uitbouw van een meer gesofisticeerd DSS is bijkomende expertise nodig met betrekking tot de opbouw van sterk vereenvoudigde (conceptuele) hydraulische modellen en optimalisatietechnieken voor niet-lineaire systemen. Hiervoor kan een beroep gedaan worden op externe partners.

4.5 Model Predictive Control (MPC)

Een MPC systeem is de meest complexe vorm van centrale regeling. Van zodra een goed werkend DSS met optimalisatiemodule beschikbaar is, ligt de uitbouw van een MPC-systeem binnen handbereik. Het volstaat immers dat de geoptimaliseerde standen van de gestuurde kunstwerken doorgestuurd worden vanuit het DSS naar één of meerdere centrales voor afstandsbediening. Van daaruit kunnen ze dan verder doorgestuurd worden naar de lokale regelaars.

Het overschakelen van een DSS naar MPC is vooral een belangrijke psychologische stap. De operator moet de sturing van belangrijke kunstwerken immers overlaten aan een geautomatiseerd systeem, waarvan de werking voor hemzelf niet altijd transparant is. Om de kans op acceptatie te verhogen is het belangrijk dat een MPC systeem beschikt over een module die de achterliggende redenen voor de geoptimaliseerde sturing zo inzichtelijk mogelijk maakt. Dit kan bv door het visualiseren van de verschillende termen in de doelfunctie of het toevoegen van overstromingskaarten of schadekaarten.

Vele MPC systemen beschikken over de mogelijkheid om de automatische sturing van één of meerdere cruciale kunstwerken tijdelijk uit te schakelen. Indien de automatische sturing van alle kunstwerken uitgeschakeld wordt, dan wordt het MPC systeem automatisch herleid tot een DSS.

Aangezien een aantal essentiële componenten van een MPC systeem ook voorkomen in een gesofisticeerd DSS, is het logisch om eerst de haalbaarheid van een DSS te onderzoeken. Indien een DSS naar behoren werkt, kan het verder uitgebouwd worden tot een MPC systeem. Om deze optie open te houden, is het dan wel noodzakelijk om reeds bij de uitbouw van het DSS rekening te houden met een mogelijke upgrade tot MPC systeem in de toekomst.

De verdere uitbouw van een DSS naar een MPC systeem vergt vooral inspanningen op het vlak van communicatie. Een MPC systeem voor het gebied van de Leie, Bovenschelde en de Gentse kanalen zal meer dan één corridor voor afstandsbediening omvatten. De MPC regelaar zal dan moeten communiceren met meer dan één centrale voor afstandsbediening (Sint-Baafs-Vijve, Oudenaarde en Evergem). Een MPC systeem voor de Dender zal enkel met de centrale in Aalst moeten communiceren.

5 Fasering en taakverdeling

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een voorstel voor de verdere fasering van het project “Slim stuwen” gegeven. Voor elke fase wordt ook een taakverdeling voorgesteld. De globale tijdsplanning wordt getoond in Tabel 4. Ter vergelijking worden ook de meest relevante fases van de renovatieprojecten (studie elektromechanica, zie ook Tabel 1a) en de verwachte duur voor de implementatie van de afstandsbediening (zie ook Tabel 3) getoond.

5.2 Fase 1 – Debietschommelingen Leie te Menen

De eerste fase omvat de analyse van de debietschommelingen op de Leie te Menen. De analyses werden uitgevoerd door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) met ondersteuning door de afdeling Elektromechanica en Telematica (EMT) van het Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). De resultaten werden gerapporteerd in Vanderkimpfen et al. (2018).

De watergebonden activiteiten van de afdeling EMT van AWV werden op 1 januari 2019 overgeheveld naar andere organisaties. De ontwerpers werden opgenomen in de afdeling Expertise Beton en Staal (EBS) van het departement Mobiliteit en Openbare Werken (MOW) en de onderhoudstechnici werden ondergebracht in de afdeling Technische Dienstverlening (ATD) van De Vlaamse Waterweg (DVW).

5.3 Fase 2 – Langetermijnvisie

De tweede fase omvat de opmaak van een langetermijnvisie. Deze visie werd opgemaakt door het WL en wordt gepresenteerd in het voorliggende document. De tekst werd ter revisie voorgelegd aan medewerkers van de afdeling EBS van MOW en de afdeling Automatisatie en Scheepvaartmanagement (AAS) van DVW.

5.4 Fase 3 – Lokale regeling

Deze fase omvat de optimalisatie van de lokale regeling van individuele stuwen en de bijhorende vispassages met het oog op het behoud van het streefpeil en het goed functioneren van de vispassages tijdens lage en gemiddelde afvoeren. Indien de debietschommelingen op de Leie (en in mindere mate de Bovenschelde) niet verholpen kunnen worden door maatregelen in Frankrijk of Wallonië, dan dient eveneens onderzocht te worden of ze gedempt kunnen worden door een aangepaste regeling van de stuwen in Vlaanderen, eventueel aangevuld met nieuwe bergingsvoorzieningen.

Deze fase is het sterkst verweven met de planning van de renovatieprojecten voor Leie, Bovenschelde en Dender. Er worden ook interacties verwacht met parallel lopende studies rond het ontwerp van de vispassages en het rivierherstel van de Leie. Het merendeel van de benodigde analyses kan uitgevoerd worden door het WL, met inzet van het bestaande modelinstrumentarium.

Een analyse van mogelijke ingrepen aan de stuwen op de Lys en de Deûle in Wallonië en Frankrijk vergt de medewerking van de Direction Générale Operationelle Mobilité et Voies Navigables (DGO2) van de Service Public de Wallonie (SPW) en de Direction Territoriale Nord - Pas de Calais van de Voies Navigables de France (VNF).

WL2019R18 028 1

Definitieve versie

In deze fase wordt ook een evaluatie van de PID regelaar in Oudenaarde voorzien. Hiervoor zal een beroep gedaan worden op een externe, gespecialiseerde partner met aantoonbare terreinervaring. Op basis van de resultaten kan dan overwogen worden om eventueel (een aantal van) de nieuwe stuwen uit te rusten met een PID regelaar. Deze evaluatie zal uitgevoerd worden in overleg met de medewerkers van de afdeling EBS van MOW en AAS van DVW. Indien de nieuwe stuwen uitgerust worden met een modulair uitbreidbare PLC, dan kunnen ze initieel voorzien worden van een empirische regeling en later omgeschakeld worden naar een PID regeling.

Bij het ontwerp van de nieuwe stuwen dient ook een functionele analyse uitgevoerd te worden om ervoor te zorgen dat de hardware voor communicatie en sturing niet alleen voldoet aan de noden van een lokale regeling, maar in de toekomst ook ingezet kan worden als onderdeel van een bediening op afstand, een centrale sturing, een DSS of een MPC-systeem. Voor de uitvoering van deze functionele analyse zal opnieuw een beroep gedaan worden op medewerkers van de afdeling EBS van MOW en AAS van DVW.

5.5 Fase 4 – Centrale regeling

Indien uit de derde fase zou blijken dat een regeling op waterpeil niet zou leiden tot een demping van afvoergolven langsheen één van de drie onderzochte assen (Leie, Bovenschelde of Dender) en/of aanleiding zou kunnen geven tot een versterking ervan, dan zal in de vierde fase onderzocht worden of de afvoergolven gedempt i.p.v. versterkt kunnen worden door de implementatie van een anticipatieve regeling langsheen de bewuste as.

Indien de lokale regelaars allemaal empirische regelaars zijn, dan kunnen de analyses uitgevoerd worden door het WL, met inzet van het bestaande modelinstrumentarium. Indien er langsheen de bestudeerde as ook PID regelaars aanwezig zijn of gepland worden, dan is bijstand van een gespecialiseerde externe partner wenselijk.

Voor een evaluatie van de hardwarematige behoeften (verbinding met centrale voor afstandsbesturing) zal nogmaals een beroep gedaan worden op medewerkers van de afdeling EBS van MOW en AAS van DVW.

De vierde fase kan pas ten volle aangevat worden na afronding van een deel van de derde fase, d.w.z. nadat de nood aan een anticipatieve regeling bevestigd is. Parallel aan het begin van de derde fase kunnen wel reeds een aantal terreinbezoeken afgelegd worden om kennis te maken met bestaande systemen voor de sturing van een keten van stuwen in onze buurlanden.

5.6 Fase 5 – Decision support system (DSS)

De vijfde fase omvat de uitvoering van een pilootproject om de haalbaarheid van een modelgebaseerd DSS voor het ondersteunen van het operationele beheer van bevaarbare waterlopen tijdens extreme omstandigheden te onderzoeken.

Deze fase is minder dringend dan de vorige twee en kan dus later starten. Een latere start biedt ook het voordeel dat maximaal gebruik gemaakt kan worden van de ervaringen opgedaan tijdens de uitbouw van het DSS voor het kanaal Gent-Terneuzen (start voorzien in 2018).

Het project zal gecoördineerd worden door het WL, maar voor bepaalde deelaspecten (opmaak conceptuele modellen en evaluatie optimalisatietechnieken) zal een beroep gedaan worden op externe, gespecialiseerde partners.

Indien het pilootproject succesvol is, dan kan het DSS later uitgebreid worden naar alle waterlopen die onder het beheer van de afdeling Bovenschelde vallen. Deze uitbreiding werd nog niet opgenomen in de planning. Ze zou het voorwerp kunnen vormen van een externe opdracht. Het bestek voor deze opdracht zou dan opgesteld worden op basis van de ervaringen opgedaan tijdens het pilootproject.

5.7 Fase 6 – Model predictive control (MPC)

De zesde en laatste fase omvat de uitvoering van een pilootproject om de haalbaarheid van een MPC systeem voor de optimalisatie van de regeling van de kunstwerken langsheen bevaarbare waterlopen tijdens extreme omstandigheden te onderzoeken.

Omwillen van de mogelijke kruisbestuiving tussen DSS en MPC kunnen de vijfde en de zesde fase best deels overlappen. De zesde fase dient dan na de start, maar voor het einde van de vijfde fase aan te vangen. Dankzij de latere start kan ook optimaal gebruik gemaakt worden van de ervaringen van VMM met het MPC systeem voor de wachtbekkens langs de Demer.

Het project zal gecoördineerd worden door het WL, maar voor bepaalde deelaspecten (opmaak conceptuele modellen en evaluatie optimalisatietechnieken) zal een beroep gedaan worden op externe, gespecialiseerde partners.

Voor een evaluatie van de hardwarematige behoeften (verbinding met centrale(s) voor afstandsbesturing) zal opnieuw een beroep gedaan worden op medewerkers van de afdeling EBS van MOW en AAS van DVW.

Net zoals de vijfde fase, omvat de zesde fase enkel een pilootproject. Indien het succesvol is, dan kan het later uitgebreid worden naar alle waterlopen die onder het beheer van de afdeling Bovenschelde vallen. Deze uitbreiding werd nog niet opgenomen in de planning. Ze zou het voorwerp kunnen vormen van een externe opdracht. Het bestek voor deze opdracht zou dan opgesteld worden op basis van de ervaringen opgedaan tijdens het pilootproject.

6 Conclusies en aanbevelingen

Om te kunnen inspelen op de dringende behoeften van lopende investeringsprojecten en tegelijkertijd maximaal gebruik te kunnen maken van ervaringen uit andere projecten en bij andere waterloopbeheerders, wordt voorgesteld het verdere verloop van het project “Slim stuwten” op te splitsen in vier deelfasen, die elkaar gedeeltelijk overlappen:

- Fase 3: optimalisatie lokale regeling (2018-2020)
- Fase 4: optimalisatie centrale regeling (2019-2020)
- Fase 5: pilootproject Decision Support System (DSS) (2020-2021)
- Fase 6: pilootproject Model Predictive Control (MPC) (2021-2022)

Het Waterbouwkundig Laboratorium kan de algemene coördinatie van het project verzorgen en instaan voor de modelmatige aspecten van de verschillende fasen. Voor specifieke thema's (bv PID regelaars of optimalisatietechnieken) zullen gespecialiseerde externe partners gezocht worden. Voor de hardwarematige aspecten zal een beroep gedaan worden op de medewerkers van de afdeling Expertise Beton en Staal van het departement Mobiliteit en Openbare Werken en de afdeling Automatisatie en Scheepvaartmanagement van De Vlaamse Waterweg.

7 Referenties

De Vlaamse Waterweg, Afdeling Automatisatie en Scheepvaartmanagement (2017). Afstandsbediening op de Vlaamse waterwegen.

Neumüller, M. en Bernhauer, W. (1969): Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken; Wasserwirtschaft 10 (1969); S. 297ff

Neumüller, M. en Bernhauer, W. (1976): Stauregelung und Abflußregelung an Laufwasserkraftwerken mit automatischen Verfahren; Wasserwirtschaft 66 (1976) 6, S. 253ff

PIANC (1990), Automatic management of canalized waterways and its hydraulic problems, Report of working group 8 of the permanent technical committee.

Theobald, U. en Theobald, S. (2011). Central water resources management in a cascade of hydropower plants. International Conference on Networking, Sensing and Control

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2018). Slim stuwen – fase 1: Debietschommelingen op de Leie te Menen. Versie 4.0. WL Rapporten, 17_045_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be