

Pilot rapportage Rivierenland

Titel

Pilot rapportage Rivierenland

Pagina's

25

Trefwoorden

RTC Tools, Energiemarkt, optimalisatie, energieverbruik, energietransitie

Samenvatting

In deze pilot wordt onderzocht wat de potenties zijn om de pompen en stuwen in het Linge gebied integraal te sturen op energie. Hierbij wordt voor de aanwezige gemalen in het systeem een optimale regeling bepaald aan de hand van energieprijzen, getijde en rendement van de pompen.

In deze studie wordt de hele Linge gemodelleerd, samen met de 13 stuwen en de vier hoofdgemalen. Aan en afvoer vanuit de polders en de achterliggende gebieden worden uit RR modellen gesimuleerd. De optimalisatie wordt gedaan aan de hand van de APX energie prijzen van 2013.

In de pilot voor Rivierenland wordt de optimalisatie vergeleken met een referentiemodel dat het gebied stuurt aan de hand van de huidige sturing.

In het stroomgebied van de Linge kan het gebruik van RTC-Tools leiden tot besparing van 73 % in energie verbruik en tot 80% in kosten. Deze besparingen zijn mogelijk door het gebied integraal, energie- en kosten-efficiënt te sturen. In de praktijk worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Meer gebruik maken van elektrische gemalen. In dit verband is het belangrijk dat voor het Van Beuningen Gemaal een lokale regeling ontworpen wordt
- Malen met laagtij, en dus met lagere opvoerhoogtes
- Malen met lage kosten van elektriciteit
- Malen met een hoog rendement van de pompen
- Gebruik van buffering van water in de Boven-Linge om meer water via vrij verval in te laten.

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	feb. 2019	J. Talsma		I. Pothof		B. van Vossen	
		K. Horvath					

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

1 Inleiding	3
1.1 Gebiedsbeschrijving	3
1.2 Doel	4
2 Methode	7
2.1 Uitgangspunten	7
2.2 Modelinput	9
2.3 Modelbeschrijving	10
2.4 Optimalisatiestrategieën	11
2.4.1 Optimalisatie op kosten	12
2.4.2 Referentiemodel	12
3 Resultaten	15
3.1 Inzet gemalen, verbruik en kosten	15
3.2 Analyse van de resultaten en waterstandsverloop	16
4 Leerpunten uit de workshop	21
5 Conclusies en aanbevelingen	23
6 Literatuur	25

1 Inleiding

In deze pilot wordt onderzocht wat de potenties zijn om de pompen en stuwen die de Linge gebied regelen, integraal te sturen op energie. Hierbij wordt voor de aanwezige gemalen in het systeem een optimale regeling bepaald aan de hand van energieprij, getijde en rendement van de pompen.

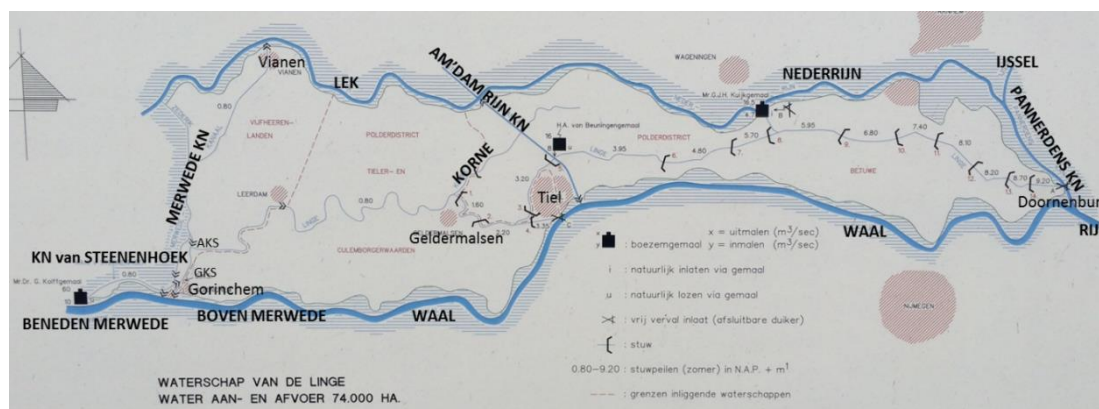
Waterschap Rivierenland stuurt op dit moment de hoofdgemalen van het gebied van de Linge zonder de hulp van modelleringstechnieken, op basis van de gemeten systeemomstandigheden en de verwachte randvoorwaarden (verwacht regen en buitenwaterstanden). Met deze pilot wil Waterschap Rivierenland onderzoeken:

- welke zijn de mogelijkheden en potenties van de inzet van een optimalisatie modelleringstechniek zoals RTC-Tools die op energieprij en -verbruik kan sturen?
- Welke aanbevelingen kunnen uit de pilot direct toegepast worden in de dagelijkse sturing van het gebied van de Linge?

Voorafgaand aan deze pilot is een studie gedaan gericht op de regelstrategie van de Kolff Gemaal (M. Verhoek et al, 2016). Deze studie was niet gedaan op basis van sturing op energie, maar heeft wel belangrijk informatie geleverd voor de werking van het Kolffgemaal.

1.1 Gebiedsbeschrijving

Binnen deze pilot is het hele Linge stroomgebied gemodelleerd samen met alle vier hoofdgemalen en de dertien stuwen die het gebied regelen. Het Linge stroomgebied (ca. 74.000 ha) bevindt zich tussen twee takken van de Rijn, de Nederrijn/Lek en de Waal, en doorsnijdt hiermee een groot deel van het beheergebied van Waterschap Rivierenland. Het stroomgebied van de Linge is ongeveer 100 kilometer breed van oost naar west en 30 kilometer hoog van noord naar zuid. Bij Doornenburg wordt de Linge gevoed vanuit het Pannerdensch Kanaal en mondt bij Gorinchem uit in de Boven-Merwede. Het gebied wordt ten oosten van Tiel doorsneden door het Amsterdam-Rijnkanaal. De Linge wordt hier echter middels een omgekeerde sifon onder het kanaal geleid. Naast de Linge bestaat het systeem nog uit twee andere takken, de Korne en het Merwedekanaal.



Figuur 1.1 Afdelingen en kunstwerken binnen het Linge stroomgebied

Waterschap Rivierenland is de verantwoordelijke voor het beheer. Het gaat hier om zowel kwantitatief als kwalitatief beheer en staat niet op zichzelf maar in samenhang met de omliggende polders.

De Linge heeft een belangrijke functie in de af- en aanvoer en berging van water voor het regionale watersysteem. Polders voeren water af op of onttrekken van de Linge die ook zelf fungeert als transportsysteem voor het omliggende gebied. De waterhoogte in de Linge wordt hierbij beheerd door drie gemalen, te weten: het Kuijkgemaal, het Van Beuningengemaal en uiteindelijk het Kolffgemaal. Daarnaast bevat de Linge bovenstrooms van Geldermalsen een aantal stuwen om de bovenstroomse waterstand te sturen. De stuwen verdelen de boven Linge in panden, ieder van deze panden heeft een eigen zomer- en winterstreefpeil. In het westelijk deel fungeert de Linge als boezem, waarop een aantal poldergemalen loost. Het houden van de streefpeilen garandeert dat de nodige debieten in de regio beschikbaar zijn voor gebruik (steden, landbouw etc.). De stuwen op de Linge regelen de debieten in de rivier, maar waterstroom van een pand naar de andere ook via een zijwatersysteem die water brengen of halen uit de regio (Over-Betuwe). De zijloopjes van pand naar pand hebben ook stuwjes waar van een groot deel ook regelbaar. In tijden van droogte kan water worden ingepompt vanaf het Pannerdensch Kanaal bij Doornenburg via het Pannerling gemaal. Hier wordt gemiddeld acht maanden per jaar water ingepompt via een elektrisch gemaal. De ingelaten volumes zijn geregeld op streefpeil van het eerste pand.



Figuur 1.2 een stuw en Kolff Gemaal in het Linge stroomgebied

Het Kolffgemaal is een dieselmemaal en het is geautomatiseerd. Het Kuijkgemaal is ook een dieselmemaal, terwijl het Van Beuningengemaal en Pannerlinggemaal elektrische gemalen zijn. Op dit moment is er op deze vier gemalen geen automatisch regeling en ze worden handmatig gestuurd. Daarnaast is er de mogelijkheid om onder vrij verval te lozen en/of in te laten. Ten tijde van een lokaal wateroverschot in het systeem wordt er in principe gespuid wanneer dat mogelijk is, anders wordt er gepompt. Ten tijde van droogte wordt er in principe ingelaten wanneer dat mogelijk is, anders wordt er ingepompt.

1.2 Doel

Doel van deze pilotstudie is het toetsen van de praktische haalbaarheid van verschillende optimalisatiestrategieën voor het Linge stroomgebied. Er wordt niet daadwerkelijk gestuurd, maar de haalbaarheid en theoretische opbrengsten van verschillende optimalisaties worden bepaald voor de Linge met historische operationele data van het jaar 2013 als input. Hierin worden twee verschillende strategieën tegen elkaar getoetst. De strategieën die getoetst worden sturen, apart van elkaar, op basis van een optimalisatie van:

1. Kosten (op basis van APX)
2. Energieverbruik

In de optimalisatiestrategie wordt allereerst het peilbesluit gehandhaafd. Het doel van deze pilot is het ontwikkelen van een gebiedsregeling die binnen deze grenzen een optimale inzet van stuwen en pompen bepaalt op basis van aan en afvoer, energieprijzen, getijde en rendement van de pompen.

Het resultaat van de pilot is dat het waterschap inzicht heeft in de mogelijkheid die het watersysteem biedt ten aanzien van maximaal efficiënt bemalen. Daarnaast wordt duidelijk wat de meerwaarde en impact is van het gebruiken van optimalisaties met RTC-tools gericht op de duurzame strategieën. Dit wordt zowel onderling als met de huidige wijze van aansturing vergeleken in termen van kosten, energie gebruik, en peilverschillen. Door de complexiteit van deze pilot en het feit dat 2/3 van de energie door dieselmotoren gebruikt wordt, is met het uitvoeren van deze pilot vooral de kosten-optimalisatie gerealiseerd, maar deze geeft ook veel inzicht in de optimalisatie van het energieverbruik.

In het bijzonder de JIP Slim Malen Pilot van Rivierenland is gericht op een integrale gebiedsregeling voor het Linge hoofdsysteem met de 4 hoofdgemalen (Pannerling, Kuijk, Van Beuningen en Kolff) en de 13 stuwen. In vergelijking met andere pilots heeft deze pilot drie complicerende factoren, die deze pilot extra interessant/uitdagend maakt:

- De integrale aanpak van gebiedsregeling
- De serieschakeling van stuwen in de boven-Linge
- De aanvullende eis om de vispasseerbaarheid van het Kolffgemaal te verbeteren

In het uitvoeren van de pilot hebben de eerste twee punten voor genoeg uitdaging gezorgd dat er geen toetsing is gedaan om de vispasseerbaarheid van het Kolffgemaal te verbeteren. Het derde punt komt aan de orde bij de aanbevelingen.

In alle pilots is bepaald op welke wijze de eventuele flexibiliteit in het watersysteem aangeboden en verhandeld kan worden op een geschikte energiemarkt (bijv. APX day ahead markt).

Ten slotte zal in deze pilot ook beoordeeld worden op welke wijze de RTC Tools 2.0 software het beste aangesloten kan worden op de Centrale Regel Kamer van WSRL. Daarvoor wordt een (beknopt) plan van aanpak voor verdere implementatie tot een volledig operationeel systeem besproken.

2 Methode

In deze studie wordt een integraal regeling voor het stroomgebied van de Linge onderzocht die de energiekosten (op basis van variabele APX en vaste dieselprijzen) minimaliseert. Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten en modelering van de Linge, zoveel voor de optimalisatie als voor het referentiemodel.

De volgende hoofdactiviteiten zijn uitgevoerd en geven de structuur van de methodologie:

- Analyse en gebruik van meetdata vanuit 2013 als randvoorwaarden
- Analyse en gebruik van het bestaand Sobek RR+CF model voor het jaar 2013 (berekenen van water aanvoer)
- Analyse en gebruik van de bestaand MORIA model voor het jaar 2013 (berekenen van watervraag)
- Bouw van een snel intern (hydraulisch) model in RTC-tools
- Bouw van een referentie model in WANDA, dat de energie gebruik en kosten voor de huidige sturing kan berekenen voor het jaar 2013
- Alle modellen onder een FEWS omgeving draaien die fungeert als data-integrator en test-omgeving. Dit alles in offline en standalone bureau-opstelling.

2.1 Uitgangspunten

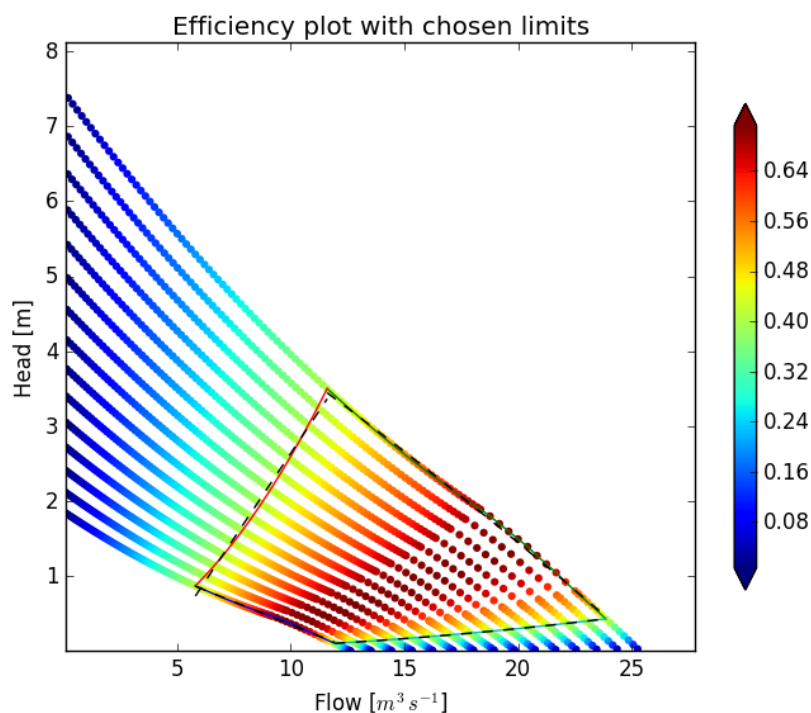
Deze studie beschouwt zowel de hoofd gemalen Kolff, van Beuningen, Kuijk en Pannerling als de dertien stuwen in de boven-Linge. De sturing van de poldergemalen is niet in deze studie opgenomen, de polder debieten worden door het SOBEK model berekend (zie paragraaf 3.2) en als randvoorwaarden op het model gelegd. Ook is de riviertak de Korne niet meegenomen in de studie, maar de historische debieten van stuw Buren worden als randvoorwaarden gebruik.

Verdere uitgangspunten zijn:

- Voor het weer worden historische data gebruikt; feitelijk perfecte weersvoorspellingen. De gemeten regen van 2013 bij meetstation Betuwe wordt in het SOBEK model gebruikt om de aan- en afvoer van de Linge te berekenen.
- Er wordt een gesimplificeerd hydraulisch model gebruikt in deze studie. De hydraulica in de verschillende panden is niet meegenomen en ze zijn gemodelleerd als 0 dimensionale reservoirs met constant oppervlakte. Alleen voor het laatste pand (tussen Julianastuw en Kolfgemaal) wordt een vaste vertraging van 3 uren aangenomen.
- Randvoorwaarde binnen alle optimalisaties is dat het peilbesluit gehandhaafd wordt. Bij elke pand moet het waterpeil binnen de grenzen van -10 cm tot +10 cm ten opzichte van het historische streefpeil in 2013 blijven. Het historische streefpeil is aan de hand van de waterstand metingen van 2013 gedefinieerd.
- Elektrische gemalen (van Beuningen en Pannerling) worden gestuurd op basis van APX prijzen van 2013.
- Dieselmolens (Kolff en Kuijk) worden gestuurd op basis van een constante prijs van 0.3094 €/KWh. Dit getal is berekend op basis van een motorrendement van 198 g/kWh en de gemiddelde dieselprijs voor Rivierenland op het jaar 2013 van 1.305 €/l (diesel 835 g/l).

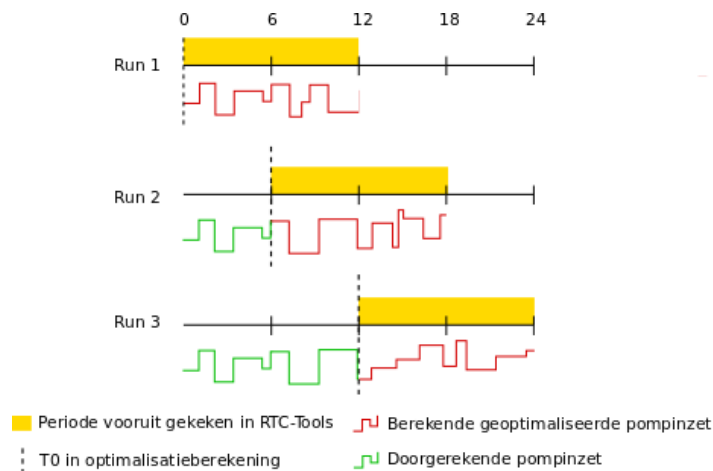
Aangezien getracht wordt om de hoofdgemalen zo efficiënt mogelijk in te zetten, is de rendementscurve van de pompen in het model opgenomen. De pompen kennen een variabel toerental en afhankelijk van het toerental en de opvoerhoogte wordt een bepaald debiet verpompt en dus een bepaald rendement gerealiseerd. De rendementscurve van een van de drie pompen binnen het Kolffgemaal wordt getoond in Figuur 2 als voorbeeld. Voor alle andere pompen zijn ook dergelijke rendementscurves afgeleid van de geleverde QH krommen.

Voor alle pompen is verondersteld dat het minimum toerental 50% bedraagt van het maximum toerental, en dat bij het draaien een minimale efficiëntie van 50% vereist is. Deze randvoorwaarden bepalen het toegelaten werkgebied voor de pompen.



Figuur 2.1 Rendementscurve van gemaal Kolff

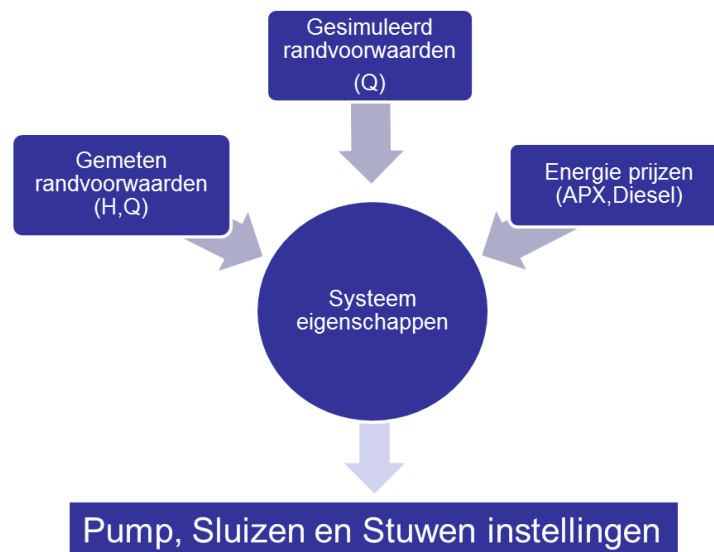
De optimalisatiestrategieën worden apart van elkaar ingezet binnen een simulatie over het jaar 2013, in de periode van 1 januari tot 31 december. Het jaar 2013 is gekozen in plaats van het voorgestelde jaar voor de pilots van 2015 op basis van de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van historische data. Gedurende deze tijdsspanne wordt steeds om de zes uur een optimale pompinzet bepaald door RTC-Tools op basis van data 12 uur vooruit, met een tijdstap van 1 uur. Van deze geoptimaliseerde pompinzet wordt de eerste 6 uur daadwerkelijk gebruikt als model resultaat (groen lijn), waarna 6 uur later een nieuwe optimalisatie wordt bepaald op basis van de volgende 12 uur. Bij elke optimalisatie worden als initiële condities van het model, de model status van de vorige optimalisatie om uur 6. Figuur 3 toont een weergave van de periodeselectie in deze studie.



Figuur 2.2 Diagram periodeselectie RTC-tools voor drie opeenvolgende modelruns

2.2 Modelinput

Een aantal modelinputs worden gebruikt in de studie: systeemeigenschappen, gemeten en gesimuleerd randvoorwaarden en energieprijzen.



Figuur 2.3 Model input voor pilot Waterschap Rivierenland

Systeemeigenschappen: eigenschappen van de stuwen in de boven Lingen en de volumes van de verschillende panden zijn uit eerder studies gehaald (J.W. Bronkhorst, 2010), en tijdens deze pilot door Waterschap Rivierenland gecheckt. Voor de stuwen is de volgende informatie meegenomen in het model:

- Max en Min schuif hoogte
- Max en min debiet
- Breedte

Voor de verschillende panden is de volgende informatie meegenomen in het model:

- Oppervlakte
- bed niveau

Eigenschappen van de gemalen zijn in de volgende tabel samengevat:

Gemaal	# pumps en richting	richting sluizen
Pannerling	2 aanvoer	aanvoer
Kuijk Gemaal	3 afvoer	aanvoer
van Beuningen Gemaal	2 afvoer 1 aanvoer	afvoer
Kolffgemaal	3 afvoer	afvoer

Tabel 2.1 eigenschappen gemalen voor pilot Waterschap ~~Rivierland~~Rivierenland

Voor elke pomp is in het model de rendementscurve meegenomen aan de hand van de geleverde QH krommen.

Gemeten randvoorwaarden: de buitenwaterstanden bij de Pannerdens Kanaal, Neder-Rijn, Amsterdam-Rijn Kanaal en de Merwede zijn gehaald uit de metingen van 2013. Hetzelfde geldt voor de debieten van de stuw bij Buren.

Andere metingen zoals de waterstanden in de panden en, voor zover bekend, aan en uit momenten van de pompen zijn gebruikt om de resultaten te valideren.

Gesimuleerde randvoorwaarden: Voor de bepaling van het aan- en afvoer debieten van de verschillende panden in 2013 worden twee verschillende modellen gebruiken:

- Het zogenaamde Calamiteiten Model van Rivierenland. Dit is een SOBEK model gekalibreerd voor heel extreme afvoeren. Dit model is gebruikt om de afvoer naar de Linge te simuleren voor het jaar 2013 aan de hand van gemeten neerslag van meetstation Betuwe.
- Het grondwater model MORIA. Dit model is gebruikt om de watervraag van 2013 op dag basis te simuleren voor de verschillende panden van de Linge.

De aan- en afvoeren gesimuleerd bij de twee modellen worden per pand gesommeerd en als randvoorwaarde gebruikt in deze studie.

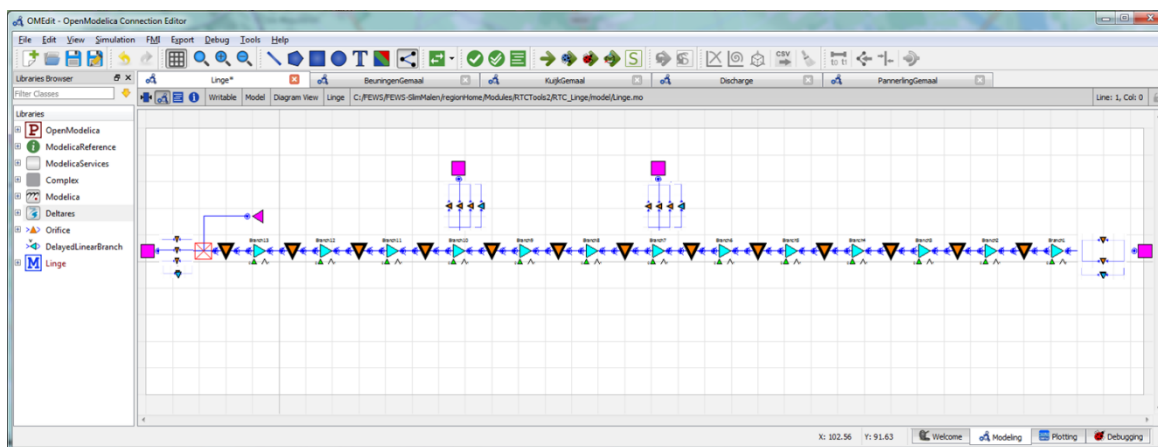
Energie Prijzen: In de strategie waarbij gestuurd wordt op basis van de energiekosten geldt ook de gerealiseerde energieprijis op basis van de APX als modelinput.

2.3 Modelbeschrijving

Om de optimale inzet van gemalen, sluizen en stuwen te bepalen wordt gebruik gemaakt van het RTC-Tools model. Dit wordt gecombineerd met het SOBEK neerslag afvoermiddel en de MORIA grondwater model waarin bepaald wordt hoe de neerslag op de Linge stroomgebied tot afstroom komt richting de gemalen. Voor de aansturing en koppeling van de metingen, het

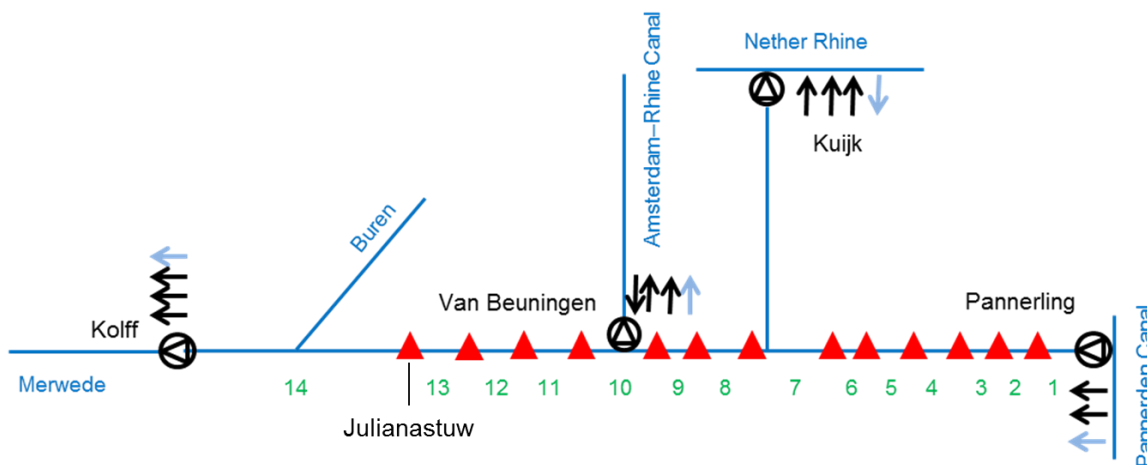
neerslag afvoermodel in SOBEK, het grondwatermodel MORIA en de optimalisatie in RTC-tools wordt gebruik gemaakt van FEWS.

De schematisatie van de Linge binnen RTC Tools wordt getoond in Figuur 4, met hierin de volgende elementen:



Figuur 2.4 Schematisatie van de RTC-Tools model van de stroomgebied van de Linge

Een conceptueel schematisatie van de RTC-Tools model wordt gegeven in Figuur 3.2:



Figuur 2.5 Schematisatie van de model van de stroomgebied van de Linge, zwarte peilen bij gemalen zijn pompen, licht blauw peilen zijn sluizen. Stuwen zijn in rood aangegeven

2.4 Optimalisatiestrategieën

In deze studie wordt de strategie met optimalisatie op kosten vergeleken met een referentie model dat de bestaande regeling van de gemalen en stuwen in de Linge stroomgebied modelleert. Binnen de ontwikkelde strategie zijn twee doelfuncties opgesteld, op volgorde van prioriteit zijn deze:

1. Handhaving van het peilbesluitpeil en de vastgelegde marges in de veertien panden;
2. Pompen of spuien wanneer het goedkoopste is, (op basis van de APX-dagmarkt en rendementscurve)

De geoptimaliseerde inzet van de gemalen en stuwen op basis van deze strategie over het jaar 2013 wordt vergeleken met het referentiemodel en, voor zover bekend, met de werkelijke inzet van de gemalen over dit jaar. De geoptimaliseerde inzet en de referentie model worden vergeleken op basis van het totaal aantal draaiuren, het verbruik in MWh, de financiële kosten van het pompen en het verpompde volume. Met de werkelijke inzet van de gemalen kan alleen een vergelijking gemaakt met de draaiuren van het Kolffgemaal en de totaal financiële kosten van Kolffgemaal en Kuyjkgemaal.

De onderzochte optimalisatiestrategie en het referentiemodel worden kort beschreven.

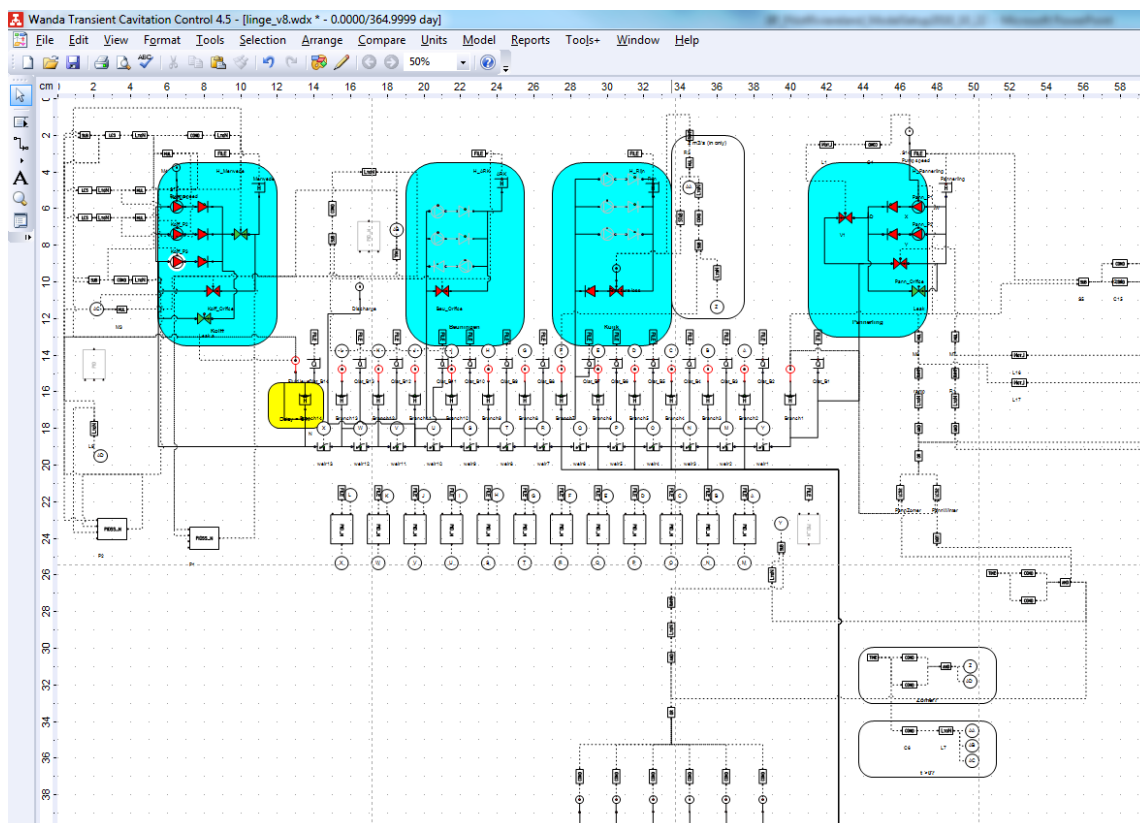
2.4.1 Optimalisatie op kosten

Bij deze strategie wordt in de optimalisatie gekeken naar een doelfunctie waarbij de benodigde pompenergie wordt vermenigvuldigd met de variabele energieprijis op basis van de APX of op basis van een vaste dieselprijis. Dit beschrijft dus de kosten van het draaien van het gemaal. Deze doelfunctie wordt in de optimalisatie geminimaliseerd

2.4.2 Referentiemodel

In deze pilot is een referentie model gebouwd in WANDA om de resultaten van de optimalisatie op kosten te kunnen vergelijken met de huidige sturing.

Figuur 3.6 geeft de schematisatie van het referentiemodel voor het stroomgebied van de Linge.



Figuur 2.6 schematisatie van de referentie model (WANDA) van de stroomgebied van de Linge

Een aantal uitgangspunten is gehanteerd voor het maken van het referentiemodel aan de hand van de situatie in 2013:

- Alleen de pompen van Kolffgemaal en Pannerling gemaal zijn opgenomen in het model. De anderen gemalen gebruiken alleen de sluisen om water aan of af te voeren.
- De sturing van alle pompen is gemodelleerd met interval control
- De sturing van alle stuwen is gemodelleerd met PID control
- Vrij verval is zoveel mogelijk gebruikt
- Energie kosten zijn niet meegenomen in de sturing

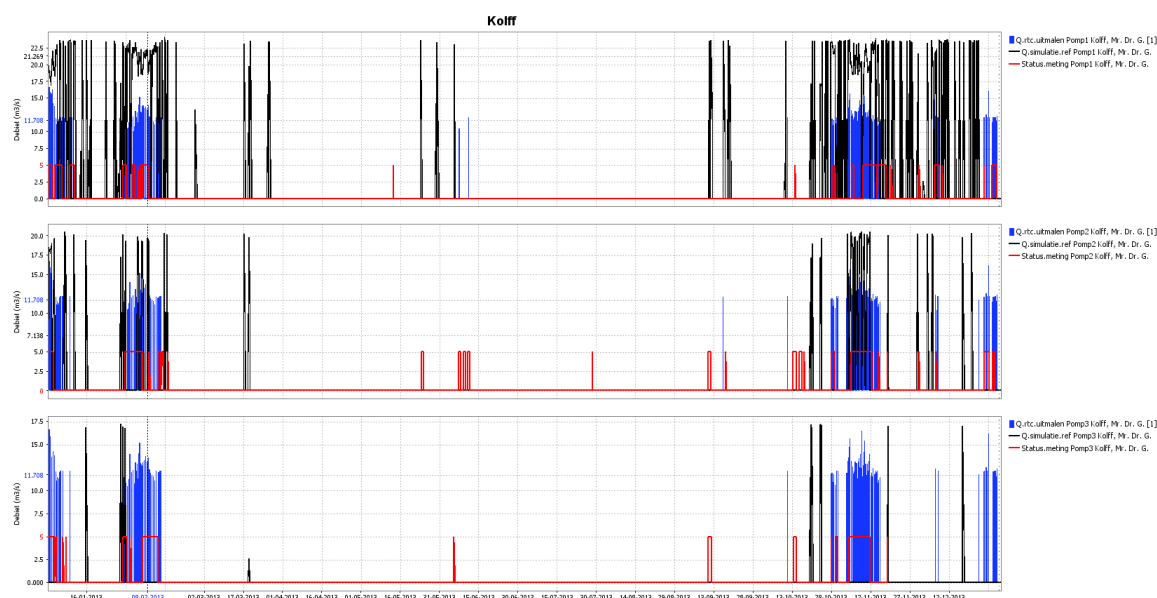
Alle anderen modeleigenschappen en randvoorwaarden zijn gelijk aan die van de RTC-Tools model. Deze definitie van de huidige sturing is gemaakt samen met Waterschap Rivierenland.

3 Resultaten

De optimalisatie op energiekosten van het stroomgebied van de Linge is getest over de periode van 1 januari tot 31 december 2013. Dit scenario wordt vergeleken met het referentiescenario en waar mogelijk ook met de gemeten waarden over deze periode.

3.1 Inzet gemalen, verbruik en kosten

De inzet van de drie pompen van het Kolfgemeal voor het jaar 2013 is te zien in Figuur 4.1. De blauwe lijn zijn de resultaten van RTC-Tools (debiet in m³/s), de zwarte lijn zijn de resultaten van het referentiemodel (debiet in m³/s) en de rode lijn zijn de gemeten aan en uit momenten van de drie gemalen (geen debiet bekend, alleen 0/1 voor uit/aan).



Figuur 3.1 Inzet van het Kolfgemeal voor 2013

Als eerst wordt gekeken naar de nauwkeurigheid van het referentiemodel met de huidige sturing. Het totaal aantal draaiuren en de kosten voor het Kolfgemeal zijn gegeven in Tabel 4.1. Ten opzichte van de metingen, zijn de berekende kosten voor 2013 6,2% lager. Vergelijkingen op anderen kunstwerken zijn niet mogelijk vanwege het ontbreken van metingen. Aan de hand van deze resultaten toont het referentiemodel genoeg nauwkeurigheid en kan dus gebruikt worden als referentie voor alle andere resultaten van deze pilot.

	Referentie	Metingen
Kolff Totaal hours (h)	1526	1922
Kolff cost (k€)	183	195

Tabel 3.1 Totaal aantal draaiuren en kosten voor Kolfgemeal

Het totaal verbruik van energie per gemeal wordt gegeven in Tabel 4.2. Er zijn geen metingen beschikbaar, maar de resultaten van het RTC-Tools model worden vergeleken met het referentiemodel. Voor het hele jaar 2013 realiseert de optimalisatie op energieverbruik een

besparing van 462 MWh, 73,5% (!) van het geschatte energieverbruik volgens het referentiemodel.

	Referentie	Metingen	RTC-Tools
Pannerling (MWh)	35	-	11
Kuijk (MWh)	-	-	23
Beuningen (MWh)	-	-	49
Kolff (MWh)	594	-	83
Sum (MWh)	629	-	167

Tabel 3.2 Totaal energieverbruik per gemaal

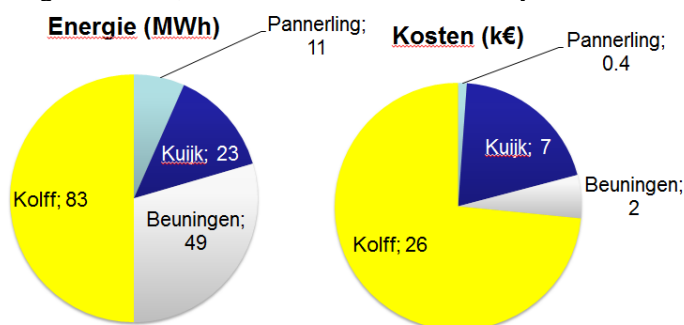
De totale kosten voor energie per gemaal worden gegeven in Tabel 4.2. Er is geen compleet overzicht van metingen beschikbaar (alleen voor dieselgemalen), maar de resultaten van het RTC-Tools model worden vergeleken met het referentiemodel. Voor het hele jaar 2013 realiseert de optimalisatie op energiekosten een besparing van 150 k€, 80% (!) van de geschatte energie kosten volgens het referentiemodel.

	Referentie	Metingen	RTC-Tools
Pannerling (k€)	1.8		0.4
Kuijk (k€)	-	27	7
Beuningen (k€)	-		2
Kolff (k€)	183	195	26
Sum (k€)	185		35

Tabel 3.3 Totale energiekosten per gemaal

3.2 Analyse van de resultaten en waterstandsverloop

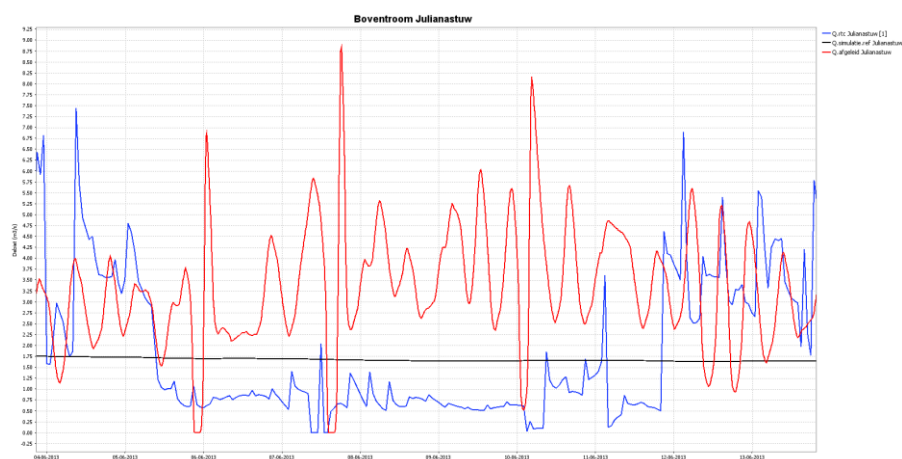
Opvallend is de verdeling van energieverbruik en -kosten tussen de vier hoofd gemalen die uit het RTC-Tools model komt. Zoals te zien in Figuur 4.2 zorgen de dieselgemalen (Kuijk en Kolff) voor 64% van het energieverbruik, maar de kosten daarvan zijn 94% over 2013.



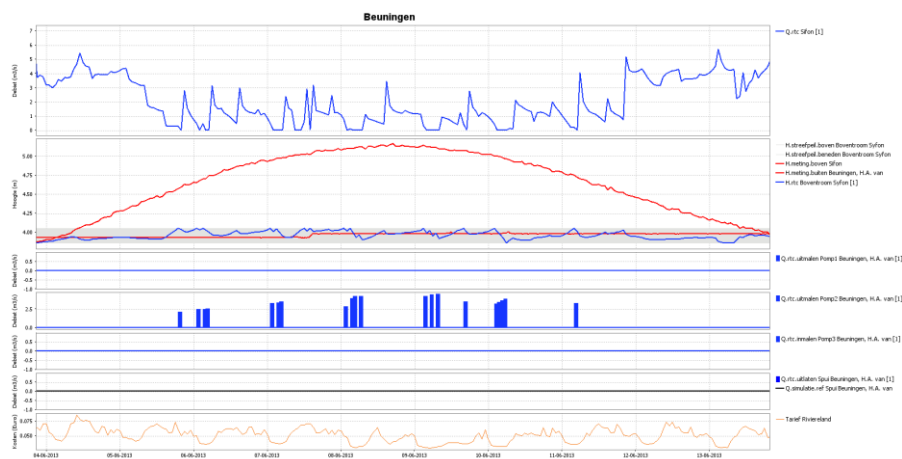
Figuur 3.2 Verdeling van energieverbruik en -kosten tussen de vier hoofd gemalen

Een groter gebruik van de elektrische gemalen in plaats van de diesel gemalen is ook terug te zien in de resultaten. In de periode tussen 4 en 14 juni 2013, tijdens een hoogwater situatie, suggereert de optimalisatie om minder water naar de Beneden Linge te sturen en meer gebruik maken van het Van Beuningengemaal, in periodes met lage elektriciteitsprijzen, in plaats van het Kolfgemaal.

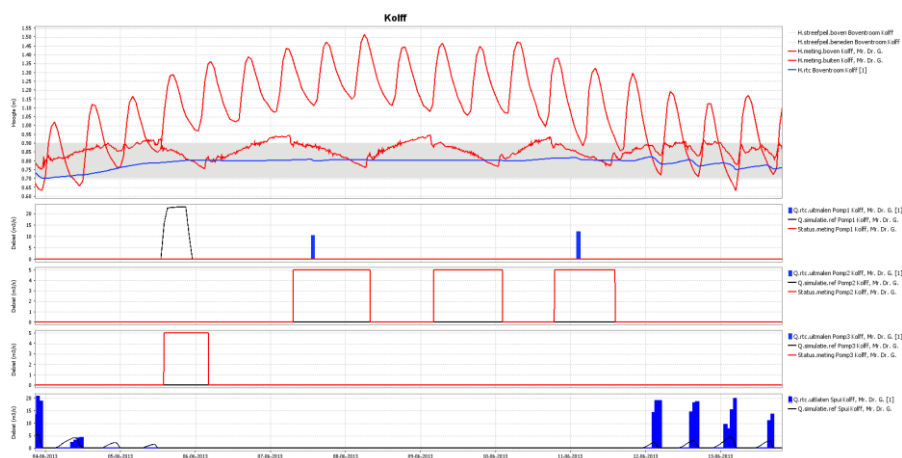
Dit is te zien in Figuur 4.3 waar het geoptimaliseerde debiet via de Julianastuw (blauw) lager is dan de berekening van het referentiemodel (rood). Als consequentie staat het van Beuningengemaal aan in de geoptimaliseerde situatie (blauw) in figuur 4.4, terwijl het Kolfgemaal bijna uit staat in een situatie met hoge buitenwaterstand (blauw). In de werkelijkheid, is in dezelfde periode Kolfgemaal gebruikt tegen een hoge buitenwaterstand, om de Beneden Linge op peil te houden, zoals te zien is in Figuur 4.5.



Figuur 3.3 *Debiet door Juliana stuw is lager in optimalisatie (blauw) dan in het referentiemodel (rood); periode 4 t/m 13 juni 2013*



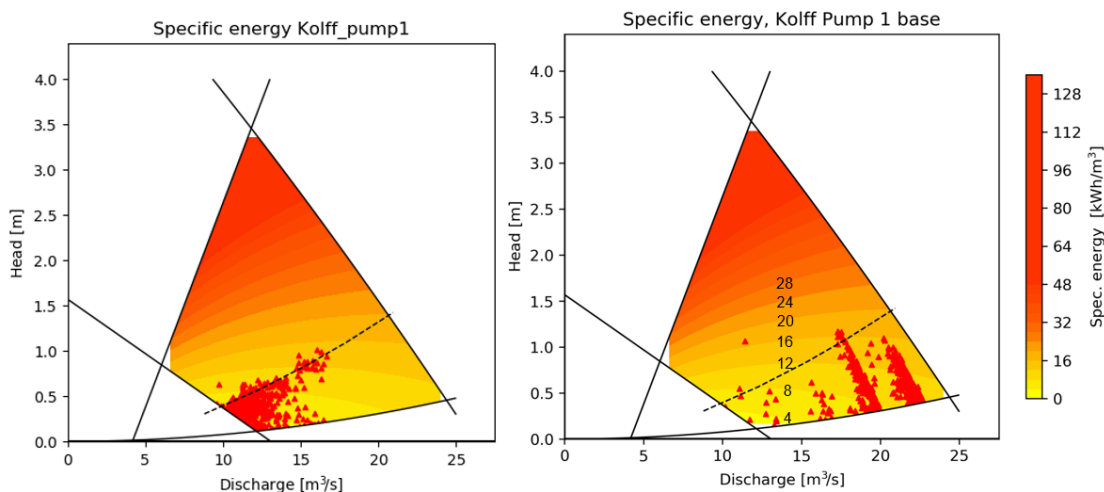
Figuur 3.4 *Derde t/m vijfde grafiek van boven, geoptimaliseerde debieten (blauw) bij Van Beuningengemaal; periode 4 t/m 13 juni 2013.*



Figuur 3.5 Tweede t/m veerde grafiek van boven, geoptimaliseerd(blauw) en gemeten (rood) debieten bij kolfgemaal; periode 4 t/m 13 juni 2013

Figuur 4.4 laat ook mooi zien hoe elektrische gemalen in momenten van laag energie prijzen gebruikt kunnen worden.

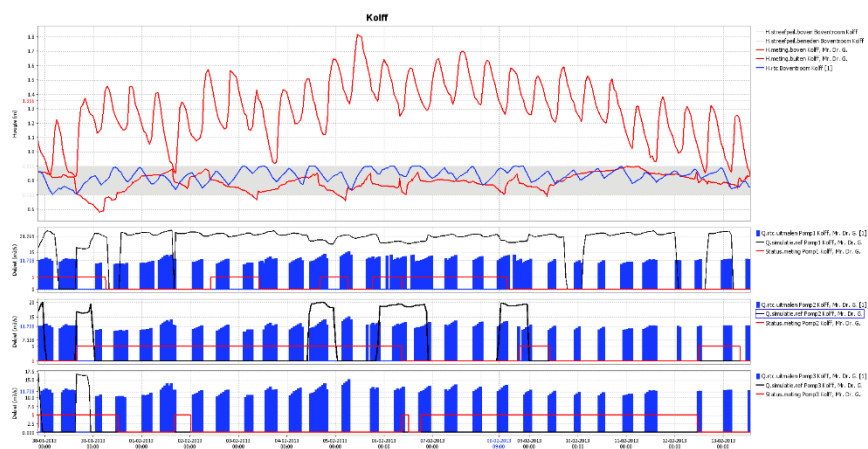
Naast een groter gebruik van elektrische gemalen, worden gemalen op een meer efficiënte manier gebruikt. In Figuur 4.6 is te zien hoe de optimalisatie (rechts) voor meer efficiënt werking van de pomp kiest dan het referentie model (rechts). In de optimalisatie wordt vaker gekozen voor werkpunten waar de specifieke energie lager is (gele achtergrond).



Figuur 3.6 Specifieke energie (kWh/m^3) voor pomp 1 van Kolfgemaal in alle pompinzet in 2013 voor het optimalisatiemodel (links) en het referentiemodel (rechts).

Een efficiënter gebruik van de pompen is ook in de waterstanden te zien. In Figuur 4.7 is te zien hoe de optimalisatie de lager getij momenten gebruikt om de pompen in te zetten (blauw) terwijl in werkelijkheid het Kolfgemaal voor langere periodes aan is gezet.

Voor de vispasseerbaarheid is het gunstig om de spuiperiodes door te laten lopen tot aan het moment dat de buitenwaterstand gelijk is geworden aan de polderwaterstand, omdat dan de vissen makkelijk de spui kunnen passeren. In alle optimalisaties wordt zoveel mogelijk gespuid, waarbij de spuiperiodes dus ook zo lang mogelijk zullen doorlopen. Hiermee wordt dus in de optimalisaties automatisch de vispasseerbaarheid gestimuleerd.



Figuur 3.7 Werking van de pompen van de Kolfgemaal in situatie met hoog opvoerhoogte

Tenslotte, in periodes wanneer de buitenwaterstanden bij Pannerling hoger zijn dan in de Linge, wordt bij vrij verval meer water ingelaten om de peilen in de Boven Linge aan de bovenkant van de bandbreedte te houden. Met deze buffering in de Boven Linge, wordt in de periodes wanneer de buitenwaterstanden bij Pannerling lager zijn dan in de Linge minder ingepompt bij Pannerling. Dit is in de resultaten te zien in de periode tussen half februari 2013 tot half maart 2013.

4 Leerpunten uit de workshop

Op 10 oktober 2018 is een workshop gehouden bij waterschap Rivierenland om de resultaten van de JIP Slim Malen Pilot te presenteren en te bediscussiëren. In deze discussie lag vooral de focus op de analyse van de resultaten en ervaring opdoen met het RTC-Tools model. Ook werd kort gepresenteerd wat er nog nodig is om de kennis en tools, die in de pilot ontwikkeld is, operationeel te maken.

Tijdens de workshop kwamen de resultaten over de mogelijke besparingen bij Rivierenland heel erg naar boven en werd veel hierover gediscussieerd. De consensus is dat de resultaten veelbelovend zijn, ook zijn er op dit moment vrij veel aannames die waarschijnlijk in de praktijk de winst wat zullen drukken. Verschillende elementen werd tijdens de workshop genoemd die in een operationele sturing systeem meer aandacht moeten krijgen:

- Welke zijn de consequenties om de pompen vaker aan en uit te zetten, en welke zijn hier de extra kosten? (start/stopkosten, onderhoud, etc.)
- Welke zijn de consequenties voor de pompen om dichtbij de cavitatie lijn te werken (nu werken op volle kracht, in RTC-Tools draaien de pompen regelmatig tegen de rand van het toegelaten werkgebied)?
- Er moet scherper naar de definitie van de bandbreedte gekeken worden, om praktische redenen, maar ook in relatie met het peilbesluit van het waterschap. Bijvoorbeeld is soms een minimum waterstand nodig om water voor de achterliggende gebieden te kunnen inlaten.
- Andere doelen in het systeem, bijvoorbeeld scheepvaart. Kunnen we ook anticiperen op veranderingen in de stuw hoogte door scheepvaart? Op dit moment zorgen ze voor een “golf” in het systeem.
- Hoe kan het effect van de wind meegenomen worden in het sturingsmodel?

Ook is er gepraat over de relatief kort voorspel horizon van 12 uren. Het model heeft op dit moment veel sturingsvariabelen om de gebiedsbrede optimalisatie van het Linge stroomgebied te kunnen bepalen. Dit zorgt voor veel complexiteit en een relatief kortere tijdhorizon. Er moet goed gekeken worden naar de toegevoegde waarde van een langere tijdhorizon en naar de mogelijkheden voor het versimpelen van het model. Bijvoorbeeld, de linearisering van sommige model componenten, en het gebruiken van lineaire solvers, zou een langere tijdhorizon mogelijk kunnen maken. Getij voorspellingen zijn in ieder geval vrij zeker, en waarschijnlijk belangrijk voor nog betere resultaten.

In de praktijk wordt op dit moment het Van Beuningengemaal niet veel gebruikt omdat er geen lokale regeling draait. Dit gemaal kan alleen handmatig aan- of uitgezet worden, en is daardoor niet buiten kantoortijden te gebruiken. De resultaten van deze studie laten zien dat minder kosten te verwachten zijn als het Van Beuningengemaal meer gebruikt kan worden. De opzet van een lokale regeling voor het Van Beuningengemaal is zeker een aanrader.

Tenslotte werd ook gevraagd wanneer we het jaar 2018 zouden kunnen doorrekenen. Het leek de deelnemers van de workshop een zeer interessant jaar vanwege de droogte. Modelmatig zijn de tools hier wel klaar voor, het hangt ervan af wanneer de watervraag resultaten klaar kunnen zijn (uit het gebruikte grondwater model MORIA).

Samengevat waren de belangrijkste discussiepunten:

- Aannames van de studie en aandachtspunten voor toekomstige ontwikkeling
- Mogelijkheden voor het verlengen van de tijdhorizon
- Lokale regeling voor het Van Beuningengemaal
- Sturing op jaar 2018.

De workshop werd gesloten met een klassikale praktijksessie, waar verschillende scenario's van buitenwaterstanden werden gedraaid om te laten zien hoe het model reageert op de randvoorwaarden.

De consensus is dat Rivierenland veel kan profiteren van een BOS systeem gebaseerd op RTC-Tools, in termen van kosten maar ook energie (en CO₂) besparing.

5 Conclusies en aanbevelingen

In de pilot Slim Malen voor Rivierenland is er naar minimalisatie van energiekosten voor het stroomgebied van de Linge gekeken. Zowel het cumulatieve energieverbruik als de cumulatieve kosten vallen lager uit dan in de referentiesituatie, die nauwkeurig genoeg de historische situatie representeert. In het stroomgebied van de Linge kan het gebruik van RTC-Tools leiden tot besparing van 74% in energieverbruik en tot 80% in kosten. Deze besparingen zijn mogelijk door het gebied integraal, energie en kostenefficiënt te sturen. In de praktijk kunnen de volgend aanbevelingen gemaakt worden:

- Meer gebruik maken van elektrische gemalen. In dit verband is het belangrijk dat voor het Van Beuningengemaal een lokale regeling ontworpen wordt;
- Malen met laagtij, en dus met lagere pompopvoerhoogtes;
- Malen bij lage elektriciteitsprijzen;
- Malen op hoge efficiëntie van de pompen;
- Gebruik van buffering van water in de boven Lingen om meer water via vrij verval in te laten bij Pannerling.

Wel dient hier genoteerd te worden dat de pilot op dit moment gebruik maakt van vrij veel aannames die waarschijnlijk in de praktijk de winst wat zullen drukken. Er wordt aanbevolen om deze aannames te verfijnen bij verdere implementatie, om de getallen over de besparing op energiegebruik en -kosten dichterbij de realiteit te brengen.

Tijdens deze pilot is niet in detail naar opties voor vispasseerbaarheid van het Kolffgemaal gekeken. Doordat in de optimalisaties zoveel mogelijk gespuid wordt en de spuiperiode doorloopt tot aan de waterkentering, wordt de vispasseerbaarheid automatisch gestimuleerd.

Een aanbeveling voordat op operationele aansturing overgegaan wordt is om een onderzoek uit te voeren waarin voorspellingen gebruikt worden voor de optimalisatie en eventueel randapparatuur ook wordt meegenomen. Hiermee kan een realistischer beeld gevormd worden van de potentie van MPC sturing in het stroomgebied van de Linge.

In deze pilot lag de nadruk om het minimaliseren van de energiekosten. RTC Tools biedt de mogelijkheid om op verschillende doelen met prioriteit te kunnen optimaliseren; zie bijvoorbeeld de pilot van Zuiderzeeland met optimalisaties op energiekosten, CO₂ uitstoot en energieverbruik, maar ook andere doelfuncties zijn mogelijk. Aanbeveling hierin is om een optimalisatiestrategie te kiezen op basis van beleidsdoelstellingen van het waterschap.

Als onderdeel van Slim Malen is het RTC-tools product door Deltares uitgebreid met onder andere randvoorwaarden voor de opvoerhoogte en het werkgebied van de pompen. In de pilot is duidelijk aangetoond dat deze uitbreiding werkt en geschikt is om toe te passen in de praktijk.

6 Literatuur

Regelstrategie Kolffgemaal - Functioneel ontwerp voor een lokale anticiperende regeling, M. Verhoek, KJ van Heeringen, Deltares, 2016.

De potentie van de meet- en regeltechniek op de rivier de Linge, J.W. Bronkhorst, Afstudeeronderzoek TU Delft, 2010