

Aan:	Kernteam
Van:	Ontwerpteam

Onderwerp:	Implicaties issues pomptechnologie	Bijlage(n):	
Kenmerk:	4073457	Status:	definitief
Datum:	05-08-2021		

Pompen in Getij Grevelingen – implicaties voor de doorlaat en het project

Versie 1.0, 05-08-2021

Boodschap

Doel van Project Getij Grevelingen is de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren. Dat doel wordt gedacht in te vullen door op het meer, met een aantal nuances, tweemaal daags een jaargemiddelde getijslag van 0,40 m (eis: jaargemiddeld >0,35m) te realiseren rond een middenstand van NAP-0,30 m. De oplossing moet deze prestatie leveren tot de zeespiegelrijzing 0,40 m bedraagt t.o.v. 1995. De gedachte tot nu toe is dat een doorlaatmiddel met een equivalent doorstroomoppervlak van 845 m² dit kan tot een zeespiegelrijzing van 0,17 m t.o.v. 1995 en dat die doorlaat na ombouw met pompen (conform het harde klimaatadaptatiepad) deze prestatie levert tot 0,40 m zeespiegelrijzing sinds 1995.

Deze oplossingsrichting houdt in dat een doorlaat met 845 m² equivalent doorstroomoppervlak wordt aangelegd, die al binnen 20 jaar na ingebruikname een kostbare ombouwoperatie krijgt. Het doorlaatmiddel wordt dan een gemaal met een capaciteit die grofweg een factor 10 groter is dan die van het gemaal in IJmuiden, nu het grootste gemaal van Europa.

Met het gemaal in IJmuiden houden we de voeten van een groot deel van Nederland droog, maar omwille van het betaalbaar houden van de rekening (energieverbruik en onderhoud), zetten we dat niet meer in dan strikt noodzakelijk. Op de Brouwersdam zouden we na ombouw tweemaal daags de getijslag van het meer naar zee pompen, met een debiet dat normaliter door de Rijn stroomt – en dat water vervolgens weer terug laten lopen naar het Grevelingenmeer.

Vanwege ernstige bedenkingen m.b.t. de maakbaarheid van de benodigde pompen, is extern advies ingewonnen en verzameld in [1]. Die rapportage geeft inzicht in de mogelijkheden én in de uitdagingen, die moeten worden opgelost of waar omheen moet worden gewerkt.

Technisch inhoudelijk is uit [1] af te leiden dat de voorgenomen ingreep bij het nu voor ogen staande gebruik, fysiek niet in staat zal zijn om de verlangde prestatie te leveren.

Pompen in de veronderstelde afmetingen kunnen de met spuiend pompen gepaard gaande piekdebieten niet leveren. Zelfs niet als technologische uitdagingen bij ontwerp en bouw worden overwonnen of omzeild (bijvoorbeeld een acceptabele vis- en zeezoogdiermortaliteit).

De bedachte pompen en het gebruik ervan (uitsluitend spuiend pompen) vormen dus geen technisch haalbare oplossing. In [1] is ook een wat kleiner gemaal (1.500 m³/s) geschetst dat niet spuiend pompt, en separaat van een (wat kleiner) doorlaatmiddel functioneert. Dat is nog steeds 5-6 keer groter dan het gemaal in IJmuiden en het zal relatief veel bedrijfsuren kennen: in tegenstelling tot gemaal IJmuiden dat vooral wordt ingezet in periodes met veel neerslag, zal zo'n gemaal op de Brouwersdam elk getij ingezet moeten worden. De hiervoor benodigde investerings- en operationele kosten worden als onhaalbaar beoordeeld. Een (veel) kleiner apart gemaal dat t.z.t. aanvullend op een groot doorlaatmiddel bijdraagt aan het peilbeheer kan onderdeel van een oplossing zijn, mits de economie ervan acceptabel blijkt.

Advies is dus af te zien van een klimaatadaptatiepad waarin een pompfunctie de hoofdrol heeft in het creëren van laagwater op het Grevelingenmeer. Een afzonderlijk gemaal kan bijdragen, maar moet in omvang en gebruik tot een minimum worden beperkt én op doelmatigheid en economie worden getoetst. Of zoals het in project Afsluitdijk wordt beschreven: 'spuien als het kan – pompen als het moet'.

Dit impliceert een nieuwe beschouwing op het peilbeheer op het Grevelingenmeer, waaraan richting gegeven kan worden door eerdere uitgangspunten (zoals tweemaal daags getij, middenstand op NAP-0,30 m) als variabele te beschouwen en te sturen op het weglaten of minimaliseren van de pompfunctie (bijvoorbeeld door deze qua capaciteit te begrenzen op 'maximaal 1Jmuiden').

NB: deze beschouwing is binnen de context van het realiseren van getij als oplossing voor de waterkwaliteit in het meer. Kwantificeren van het effect van getij (hoeveel getij is genoeg?) is ook nodig. Daarnaast is, ter rechtvaardiging van kostbare maatregelen om getij te realiseren, nodig dat deze worden vergeleken met andere (combinaties van) denkbare maatregelen die de waterkwaliteit kunnen verbeteren, of de combinatie van realiseren van getij en andere maatregelen. Ook van die maatregelen moeten de effecten gekwantificeerd worden, voor zover dat nog niet gedaan is, omwille van een compleet beeld voor een zorgvuldige afweging.

Toelichting

De boodschap op de vorige pagina's volgt uit bestuderen van diverse onderzoeksrapportages, op basis waarvan de tekst hierna is samengesteld en is te lezen als de managementsamenvatting daarvan.

Referenties

- [1] Capita Selecta m.b.t. pompen in het Doorlaatmiddel Brouwersdam, Van Berkel, 2021
- [2] Getij Grevelingen Haalbaarheidsscan hevel, 125962/21-011.187, Witteveen+Bos, 2021
- [3] Verbeterd VKA-Ontwerp doorlaatmiddel Brouwersdam rapportage OF2, RWS Ontwerpt, 2021
- [4] Optimalisatie van peilbeheer Getij Grevelingen door aansturing van het doorlaatmiddel in de Brouwersdam, Deltares, 2019
- [5] IRL/TRL pompturbines en gerelateerd projectrisico, RWS Ontwerpt, 2020
- [6] Technische review verbeterd VKA Getij Grevelingen, Horvat & Partners, 2021
- [7] Werkdocument Advies Getij Grevelingen – Nadere toelichting en onderbouwing Advies Getij Grevelingen, Jorissen et al, 2021
- [8] (BEDRIJFSVERTROUWELIJK) 20210616 Memo kostenraming doorlaatmiddel VKA+, Kostenpool RWS, 2021

Inleiding

Ter ondersteuning van de beeldvorming betreffende de toepassing van pomptechnologie in project Getij Grevelingen volgt hierna een doorkijk op de gevolgen van [1], waarin een toelichting is gegeven op de belangrijkste technisch-inhoudelijke aspecten van toepassing van pomptechnologie, gericht op project Getij Grevelingen. In voorliggende notitie wordt hierop voortgeborduurd, met een focus op de implicaties voor de te realiseren objecten en het gebruik ervan. In dit stadium van het project is van belang dat we werken met oplossingen die

- aantoonbaar en gekwantificeerd de projectdoelen dienen,
- technisch haalbaar zijn en
- uitzicht bieden op een acceptabele MKBA.

Doen we dat niet, dan is het risico dat we aan een niet doelmatige of zelfs niet-vergunbare oplossing werken, c.q. aan het eind van de planstudie vastlopen bij de Raad van State.

Er is al veel onderzoek gedaan naar het kwantificeren van de effecten van herintroductie van getij op het Grevelingenmeer en er wordt nog steeds onderzoek naar gedaan. Daar gaat deze notitie verder niet op in, wel worden enkele te onderzoeken aspecten benoemd als kans.

Deze notitie gaat in op de andere twee punten, specifiek met het oog op de inzet van pompen.

Leeswijzer

Om enig beeld te geven bij de benodigde afmetingen, wordt eerst ingegaan op debieten en afmetingen. Vervolgens wordt enige toelichting gegeven op de noodzaak van klimaatadaptatie en de rol van pomptechnologie daarin. Daarna komt de impact van verschillende aspecten van pomptechnologie en –inzet aan de orde. Ook wordt kort ingegaan op kosten.

Deze informatie wordt vervolgens in samenhang geduid, met een advies ten aanzien van het vervolg.

Een Rijn erbij

We streven ernaar de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren door introductie van tweemaal daags een getijslag van 0,4 m rond een middenstand van NAP-0,3 m, jaargemiddeld is een getijslag van minimaal 0,35 m het doel. Met verschillende nuances rond verlaagde hoogwaterstanden in het broedseizoen, enige ruimte om instroom en/of uitstroom te beperken als omstandigheden daartoe nopen, etc.

Het Grevelingenmeer heeft rond deze middenstand een oppervlakte van ongeveer 105 km². Per getij, grofweg twee keer per etmaal, moet er dan $0,4 * 105$ miljoen = 42 miljoen m³ water door de Brouwersdam heen én weer.

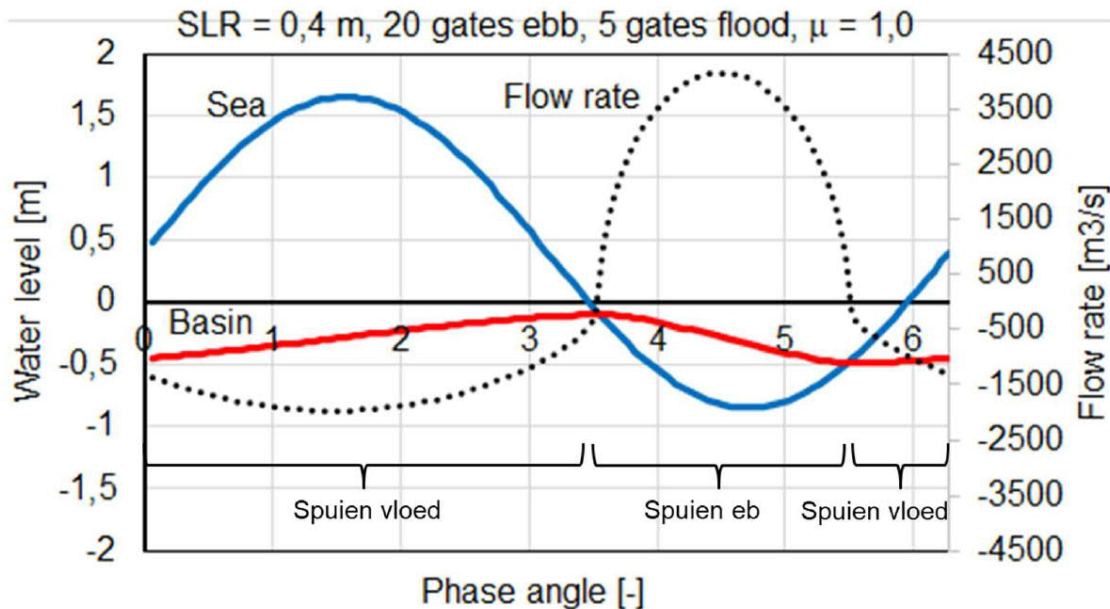
Dat kan in principe onder vrij verval, in de tijdvensters waarin de waterstand op zee dat toelaat. Zwaartekracht is gratis, altijd aanwezig en zeer betrouwbaar. Sinds mensenheugenis de eerstaangewezen manier om water af te voeren.

De middenstand op zee is momenteel (2021) orde NAP+0,1m en stijgt met de zeespiegelrijzing mee. De astronomische getijslag op zee (Brouwershavensche Gat) is orde 2-2,5m rond deze middenstand, op- en afwaaiing zorgen voor een (aanmerkelijk) ruimer bereik aan waterstanden.

Het verschil tussen de middenstanden op meer en zee leidt er onder meer toe dat de tijdvakken om laagwater op het Grevelingenmeer te creëren structureel ongeveer een uur korter zijn dan de tijdvakken om hoogwater om het Grevelingenmeer te maken, namelijk ruim 5,5 uur versus ruim 6,5 uur. Zeespiegelrijzing zorgt er bij onveranderd peilbeheer op het Grevelingenmeer voor dat de spuivensters richting zee korter worden én kleinere vervallen laten zien, terwijl hoogwater laten ontstaan steeds makkelijker wordt: de daarvoor beschikbare tijdvensters worden langer en de beschikbare vervallen nemen toe. Het getij op het meer wordt zo steeds 'schever': laagwater wordt in een steeds korter wordend tijdvak gemaakt, hoogwater ontstaat in een steeds langer wordend tijdvak. De faseverschuiving van het tij op het meer verandert niet principieel door zeespiegelrijzing: hoogwater op het meer treedt op bij gelijkwater over de Brouwersdam in afgaand tij op zee, enkele uren na hoogwater op zee. Laagwater op het meer treedt ook op bij gelijkwater over de Brouwersdam, maar dan bij opkomend tij op zee, enige tijd na laagwater op zee. Wel schuiven de momenten van hoog- en laagwater op het meer uiteraard mee met het optreden van de gelijkwaters. Zie figuur 1.

In 5,5 uur tijd 42 miljoen m³ water spuien naar zee, verlangt een gemiddeld debiet van $42E6 / (5,5 * 3600) = 2.100$ m³/s. Aan het begin en het eind van het venster (op gelijkwater over de Brouwersdam) zijn de stroomsnelheid en het debiet door de doorlaat nul. Het piekdebiet is circa 4.000 m³/s. Ter duiding, de jaargemiddelde afvoer van de Rijn is ongeveer 2.200 m³/s (<https://waterinfo.rws.nl>). Als het beschikbare tijdvenster korter wordt, stijgt de vereiste gemiddelde afvoer. Het piekdebiet per

koker daalt omdat het beschikbare verval afneemt. De vereiste doorstroomoppervlakte moet flink toenemen om het verschil op te vangen, het gesommeerde piekdebiet verandert nauwelijks. In figuur 1, waarin voor het maken van laagwater nog maar ongeveer 4 uur beschikbaar is, is het gemiddelde debiet toegenomen tot zo'n $42E6 / (4 * 3.600) = 2.900 \text{ m}^3/\text{s}$ en ligt de piek iets boven $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 1, overgenomen uit [1]: Indicatief in blauw een gestileerde getijkromme met 2,5m getij op zee rond een middenstand van NAP+0,5m, in rood de waterstand op het meer. Stroming uitsluitend onder vrij verval. De zwarte stippellijn toont het momentane, benodigde debiet. Op de x-as staat de fasehoek van het tij op zee in radialen, één radiaal komt overeen met ongeveer 2 klokuren. Merk op dat de zeespiegelrijzing (SLR) in dit plaatje vrij groot is (0,4m t.o.v. huidige middenpeil), en het tijdvak om laagwater te maken nog maar ongeveer 2 radialen duurt, dus zo'n 4 klokuren. Dat is aanmerkelijk korter dan de ruim 5,5 uur die er anno 2021 voor beschikbaar is.

Debieten afvoeren onder vrij verval verlangt een doorstroomoppervlak, dat groter wordt naarmate het verval kleiner is. Het equivalente oppervlak, het product van afvoercoëfficiënt en het aanwezige doorstroomoppervlak is een handige maat om oplossingen voor doorlaten onderling te vergelijken. In de verkenningsfase van het project is geconcludeerd dat het 845 m^2 moet bedragen, voor genoemd doelbereik. Bij een afvoercoëfficiënt van 1,1 (zoals aangehouden in het VKA) volstaan dan de 12 kokers van $8 \times 8 \text{ m}^2$ ($12 \times 8 \times 8 = 768 \text{ m}^2$ doorstroomoppervlak, $768 \times 1,1 = 845 \text{ m}^2$ equivalent doorstroomoppervlak) in het VKA. In het verbeterd VKA is de afvoercoëfficiënt opnieuw berekend en uitgekomen op een realistischere waarde van 0,94 [3], waardoor het aantal kokers t.o.v. het VKA moet toenemen tot $1,1/0,94 * 12 = 14$ en het equivalente doorstroomoppervlak dus zo'n 900 m^2 bedraagt (de 15^e koker in het VKA is er voor de broodnodige reservecapaciteit i.v.m. niet-beschikbaarheid en onzekerheden, VKA voorzag daar niet in). Voor een hevel, waarbij een afvoercoëfficiënt van zo'n 0,7 mag worden verwacht [2], is een doorstroomoppervlak van ongeveer $845/0,7 = 1.200 \text{ m}^2$ nodig, om bij dezelfde vervallen dezelfde debieten te leveren.

Dergelijke doorstroomoppervlakken impliceren grote werken. Zo meten de 25 spuikokers in de oorspronkelijke spuicomplexen Kornwerderzand en Den Oever samen, bij het beheerpeil NAP-0,20m (zomer), zo'n 1.300 m² doorstroomoppervlak (de afvoercoëfficiënt daar is ongeveer 1, dus het equivalente doorstroomoppervlak is daar van dezelfde orde). Op de Afsluitdijk is deze doorstroomoppervlakte verdeeld over 5 groepen van 5 spuikokers, elke groep staat op een vloer van ongeveer 88x50 m². In [2] is voor een hevel in de Brouwersdam een kleine 90 kokers met elk een kleine 14 m² doorstroomoppervlak voorzien, die samen een object vormen met een voetafdruk van zo'n 425x50 m².

Zouden de hierboven vermelde hoeveelheden water moeten worden weggepompt, met de grootste horizontale bulbpompen ter wereld (IJmuiden) als uitgangspunt, dan gaat het om vele tientallen pompen in net zo veel maalgangen: met een opbrengst van 50 m³/s per pomp, zijn er 42 nodig voor het gemiddelde debiet, en 80 of meer voor het piekdebiet. Het gemaal in IJmuiden is het grootste gemaal van Europa, de 6 pompen daar hebben samen een capaciteit van 260 m³/s, goed voor slechts ongeveer een achtste van het gemiddelde debiet dat we de Brouwersdam willen laten passeren.

Een doorlaatmiddel voor de gemiddelde Rijnafvoer wordt hoe dan ook een groot stuk infrastructuur. Uitgevoerd als gemaal wordt de omvang ongekend, ongeveer een orde groter dan het gemaal IJmuiden.

De functionele levensduur verlangt een klimaatadaptatiestrategie

Eerder is besloten dat voor het project twee fasen worden gehanteerd. In fase 1 wordt de getijslag onder vrij verval gerealiseerd, tot de gemiddelde gerealiseerde getijslag (op jaarbasis) onder 0,35 m zakt. Naar verwachting [4] is dat al rond 2040, bij een zeespiegelrijzing van 17 cm sinds 1995. Voor daarna is een klimaatadaptatiestrategie nodig, met als doel om tot 40 cm zeespiegelrijzing sinds 1995, dat jaargemiddelde getij van minimaal 0,35 m te realiseren. Naar verwachting zal met fase 2 tot ergens tussen 2075 en 2100 kunnen worden volstaan. Waar zachte klimaatadaptatiepaden stoelen op meegroeien van het peilbeheer op het Grevelingenmeer met de zeespiegel, gaat harde adaptatie uit van handhaven van het peilbeheer van fase 1. De zachte adaptatiepaden komen er dan op neer dat vanaf naar verwachting 2040, de middenstand op het meer met de zeespiegelrijzing meestijgt (bij een verder niet veranderend doelbereik van het getij). De effecten die dat op en rond het meer geeft op onder andere natuur en infrastructuur, zullen dan gemitigeerd/gecompenseerd moeten worden, met bijbehorende consequenties (waaronder kosten). Voor de harde adaptatiepaden moeten eveneens kosten worden gemaakt, teneinde het peilbeheer van fase 1 te kunnen volhouden. Voor de harde klimaatadaptatiepaden kan worden gedacht aan:

1. Doorlaatcapaciteit vergroten door meer doorstroomoppervlak te bouwen: kokers (of andere doorlaatconstructies) bijbouwen.
2. Pompcapaciteit installeren (energie aan water toevoegen om debiet voldoende groot te houden). Dit kan op twee manieren:
 - a) In een apart gemaal;
 - b) Pompen inbouwen in kokers van de doorlaat van fase 1.

Ad 1: Meer doorstroomoppervlak maakt mogelijk dat bij een kleiner verval en in kortere tijd, toch voldoende water gespuid kan worden. Dit pad is in de verkenning afgevalen omdat 't op termijn onvoldoende soelaas zou bieden:

- De extra benodigde doorstroomoppervlakte neemt meer dan evenredig toe doordat én de tijdvensters én de vervallen kleiner worden. Op enig moment is er niet meer ruimte genoeg om de benodigde doorstroomoppervlakte in te kunnen passen.
- Ook zal steeds vaker gebeuren dat het laagwater op zee niet dieper is dan het laagwaterpeil op het meer.
- Daardoor zal steeds frequenter laagwater op het meer niet meer bereikt worden.

Ad 2: Pompcapaciteit vermindert de afhankelijkheid van natuurlijk verval. Maar kost uiteraard energie en kent de nodige complicaties. Voor laag verval zoals aan de Nederlandse kust liggen bulbpompen met horizontale as het meest voor de hand. De grootste ter wereld staan in Ijmuiden en hebben per stuk een capaciteit van ongeveer 50 m³/s, zoals hiervoor beschreven.

- a) Een apart gemaal geeft de mogelijkheid om met de doorlaat het vrije verval maximaal te benutten, als/zolang dat er is. En de ruimte om de te installeren pompcapaciteit en de inzet daarvan nauwkeurig te kiezen, om een zo (kosten)efficiënt mogelijke oplossing door te voeren.
- b) Doorlaatkokers ombouwen tot maalgang kan in principe ook en spaart de realisatie van een nieuw object uit (inclusief alles wat daarbij komt kijken). Het betekent wel dat er van meet af aan rekening mee moet worden gehouden, bepaald geen sinecure [3] én dat er pompen moeten zijn die toegepast kunnen en mogen worden, om een vergunbare oplossing te hebben.

Los van hoe en waar pompcapaciteit gerealiseerd wordt, zijn er enkele belangrijke keuzes te maken met betrekking tot het peilbeheer.

Bij inzetten van meer doorlaatcapaciteit wordt het getij op het Grevelingenmeer gedictieerd door het getij op zee, zoals dat ook in fase 1 het geval zal zijn: op gelijkwater over de Brouwersdam keert de stroomrichting door de doorlaat om. Een aantal kokers wordt rond dat moment in een paar minuten tijd geopend dan wel gesloten, om de voor de volgende fase benodigde opening in te stellen. Door zeespiegelstijging neemt het verschil tussen de middenstand op zee en de middenstand op het meer toe. Daardoor moet laagwater op het meer in een steeds korter tijdvenster worden gerealiseerd (de tijd tussen gelijkwater op afgaand tij en gelijkwater in opkomend tij wordt steeds korter) en ontstaat hoogwater in een steeds iets toenemend tijdvenster, omdat tussen gelijkwater in opkomend tij en gelijkwater op afgaand tij steeds meer tijd komt. Deze toenemende scheefte in de getijbeweging op het meer (figuur 1) heeft mogelijk effecten op natuur. Zijn die effecten niet acceptabel, dan kunnen die worden tegengegaan door schuiven toe te passen die ook onder verval te manipuleren zijn, in combinatie met toevoegen van vierkante meters doorlaattooppervlak. Die combinatie maakt mogelijk dat laagwater gehaald wordt in het steeds korter wordende tijdvenster waarin verval met de juiste richting beschikbaar is, waarna de laagwaterstand op het meer vastgehouden kan worden, alvorens schuiven te openen om hoogwater op het meer te creëren. Dit is een vorm van 'versnelde vloed' of 'pulserend peilbeheer', zoals benoemd in [1]. Daar is (vanwege de impact op geometrie en kosten) bij

het verbeterd VKA vooralsnog niet van uit gegaan [3], hoewel van pulserend peilbeheer wel wordt verwacht dat het gunstiger is voor het terugdringen van zuurstofloosheid [4].

Het klimaatadaptatiepad en de invulling daarvan maken onlosmakelijk deel uit van het project. Keuzes nu bepalen de oplossing in de toekomst.

Terzijde: indien scheefte in het getij op het meer acceptabel is, kan het vergróten van de scheefte ook een kans blijken. Want als acceptabel is dat peilbeheer op het meer wordt ingericht door minder vaak hoogwater te maken, en meer laagwaters op zee te benutten om één laagwater op het meer te creëren, dan wordt de houdbaarheid van een gegeven doorstroomoppervlakte beduidend langer. En dan is het aanpassen van het peilbeheer in deze zin, een klimaatadaptatiepad dat nog niet onderzocht is. Bijvoorbeeld één maal per dag hoogwater, met vervolgens twee spuiensters (en eventueel ook inzet van pompen) om laag water te laten ontstaan.

Kiezen voor pompen stelt ons voor keuzes en uitdagingen

Bij het inzetten van pompcapaciteit neemt het aantal vrijheidsgraden toe, maar ook het aantal technologische uitdagingen.

1. Aantal te plaatsen pompen versus de capaciteit per pomp
2. Spuiend pompen
3. Doorstroming tegen de pomprichting in
4. Vrijloop
5. Wijze van integratie pompfunctie in peilbeheer
6. N-1 principe
7. Vis- en zeezoogdiermortaliteit

Ad 1 - Aantal te plaatsen pompen versus de capaciteit per pomp

Hoewel het aantal te plaatsen pompen eenvoudig volgt uit het totale benodigde debiet, gedeeld door de capaciteit per pomp, zit daar veel aan vast: het gaat om kostbare, hoogwaardige techniek, zowel in aanschaf als in gebruik (energiekosten en onderhoud). Zoals eerder benoemd zijn de te verplaatsen hoeveelheden water enorm. Wordt dan, zoals tot nu toe het uitgangspunt is, gekozen voor het plaatsen van een pomp in een koker in de doorlaat, dan valt er onmiddellijk veel doorlaatcapaciteit weg, namelijk de capaciteit van die koker onder vrij verval (al het water dat door de koker gaat, gaat door de pomp die, als die niet aangedreven wordt, een hydraulische weerstand vormt). En hoewel de totale doorlaatcapaciteit van alle kokers samen niet meer voldoende was (immers de aanleiding om over te stappen op het toevoegen van pompcapaciteit), levert elke koker in die situatie nog steeds een wezenlijke bijdrage aan de totale afvoer. Zou nu één koker (van de voorgenomen 12 in het VKA) worden voorzien van een pomp, dan moet die dus het capaciteitstekort van de totale doorlaat leveren, plus de net vóór installatie nog aanwezige doorlaatcapaciteit van die ene koker. Naarmate meer kokers worden voorzien van pompen, kan het capaciteitstekort over meer pompen worden verdeeld. Hoe meer pompen, hoe kleiner de toeslag per pomp voor dit capaciteitstekort. Voorzien we

alle kokers van een pomp, dan is de te installeren capaciteit per pomp het kleinst en moeten ze samen het benodigde totale debiet leveren. Een gemiddeld debiet van nu zo'n 2.100 m³/s, verdeeld over 12 kokers, betekent zo'n 175 m³/s gemiddeld. Dat is dan een onderschatting van de situatie op het moment dat er pompen ingebouwd worden, omdat het beschikbare tijdvenster (van gelijkwater op afgaand tij tot gelijkwater in opkomend tij) dan korter zal zijn dan nu. Stel dat het op het moment van ombouwen nog zo'n 5 uur is, dan is het gemiddeld vereiste debiet opgelopen tot ruim 2.300 m³/s, oftewel zo'n 200 m³/s per pomp. Dus een 4 maal zo grote capaciteit als de grootste pomp die we in deze vorm kennen. In [5] is beschreven dat een dergelijke schaa sprong een zorgvuldig ontwikkelpad verlangt, zonder dat vooraf kan worden gesteld dat die technologisch haalbaar is én economisch aantrekkelijk (of tenminste acceptabel). [1] Toont dat bij een waaierdiameter van ongeveer 8 m en een toerental van 40 RPM (omwentelingen per minuut) een debiet in de orde van 200 m³/s haalbaar lijkt vanuit hydro-dynamisch oogpunt, bij opschalen van pomp 7 die voor IJmuiden in ontwikkeling is (als uitwissel-reserve voor pompen 5 en 6). Wel moet de as van een dergelijke pomp dan dieper worden aangelegd dan verondersteld in het verbeterd VKA [3], namelijk op zo'n NAP-9,5m i.p.v. de veronderstelde circa NAP-8m. Dit heeft consequenties voor de realisatie van een doorlaat die anticipeert op inbouw van pompen met zulke afmetingen, die nog niet in het verbeterd VKA verwerkt zijn.

Ook laat [1] zien dat het toerental niet straffeloos kan worden verhoogd, teneinde het debiet verder te vergroten: de combinatie van diepteligging en toerental is cruciaal om luchtaanzuiging en cavitatie te voorkomen. Een groter toerental vereist een grotere aanlegdiepte. Dat grotere toerental levert ook grotere spanningen in de pomponderdelen op (waarbij grenzen aan wat fysiek nog mogelijk is gerespecteerd moeten worden) en heeft negatieve gevolgen voor vis- en zeezoogdiermortaliteit.

Hieruit volgt dat een pomp met een waaierdiameter van ongeveer 8m en een capaciteit van ongeveer 200m³/s mogelijk lijkt, mits uit verdere ontwikkeling geen showstoppers blijken. Worden dan minstens 12 kokers omgebouwd, dan staat er een object dat voldoet voor het gemiddeld benodigde debiet. Waarbij wel de belangrijke kanttekening moet worden gemaakt dat de kokers nog zo'n anderhalve meter dieper moeten worden aangelegd, dan nu is voorzien in [3].

Voor nog grotere afvoeren zijn meer/grotere/dieper opgestelde pompen nodig, het toerental verder opvoeren ligt niet voor de hand.

Zouden de pompen zoals ze in IJmuiden opgesteld staan worden toegepast, dan zijn er zo'n 40-80 stuks van nodig, in even zoveel kokers.

Ad 2 - Spuiend pompen

Vanwege de keuze om de schuiven in de doorlaat uitsluitend te manipuleren rond gelijkwater over de Brouwersdam, is voor het creëren van laagwater op het meer alleen het spuienvenster beschikbaar. Als in dat tijdvak ook wordt gepompt, dan pompt de pomp dus met het verval mee, in plaats van (zoals gebruikelijk) tegen het verval in. Met het verval mee pompen noemen we spuiend pompen, ook wel gravity assisted pumping. Hydrodynamisch is dat mogelijk maar in de praktijk wordt deze bedrijfstoestand meestal vermeden, vanwege complicaties in het pompontwerp en -bedrijf. Vooral het risico van cavitatie ligt op de loer, naast de risico's van instabiliteit in de waterstroom (zie ad 4) [1, 5]. Om dit te beheersen moet de pomp niet alleen voldoende diep onder water staan opgesteld, maar ook moet gedurende het pompbedrijf continu en gegarandeerd, voldoende energie aan de

waterstroom worden toegevoegd. Dit verlangt grondige aandacht, bovenop die voor de schaalprong ad 1.

Te IJmuiden worden de pompen overigens wél gestart met de stroom mee, maar bij een zeer gering verval (0,2m) én in opkomend tij. Spuiend pompen duurt dus maar kort en gaat over in pompbedrijf zoals we dat van oudsher kennen. Gemaal IJmuiden maalt niet over laagwater uit, zoals we dat voor de Brouwersdam voorzien, de pompen worden slechts iets eerder gestart dan 'normaal'. Spuien met de naast het gemaal gelegen spuisluis gaat zo tamelijk rimpelloos over in uitmalen als het tij opkomt en de elektriciteitsrekening valt iets gunstiger uit.

Op het Grevelingenmeer leidt deze keuze voor peilbeheer ertoe dat voor het maken van laagwater maar weinig tijd beschikbaar is (nu ongeveer 5,5 uur per cyclus, afnemend met zeespiegelstijging), én spuiend pompen betekent per definitie dat er op elk moment gedurende het bedrijf, méér debiet wordt uitgemalen dan er onder vrij verval stromen zou. Dat impliceert dat spuiend pompen machines vereist die, in de waterstroom behorend bij het maximale verval naar zee, dus op het piekdebiet onder vrij verval, nog daadwerkelijk pompen. Onder Ad 1 is al benoemd dat [1] uiteenzet dat pompen van 8m waaierdiameter bij 40 RPM en een diepteligging die nog wat dieper moet zijn dan in het verbeterd VKA, geschikt lijken voor zo'n 200 m³/s. Bij een meter verval naar zee, stroomt er in het VKA zo'n 315 m³/s door een koker met doorstroomoppervlak 8*8 m² bij een afvoercoëfficiënt van 1,1. Dat kan niet met de beoogde pompen. Voor het verbeterd VKA is de uitkomst iets gunstiger, omdat daarin een de afvoercoëfficiënt is berekend op 0,94. Dan moet een pomp bij een meter verval naar zee dus méér opbrengst leveren dan $315 * 0,94 / 1,1 = 269$ m³/s, nog altijd ruim een derde meer dan de circa 200 m³/s die haalbaar lijkt. Dat kan alleen met (een combinatie van) een grotere waaiër dan 8m, een hoger toerental dan 40 RPM, een diepere opstelling dan de as op NAP-9,5m.

Nota bene: een verval van een meter naar zee is geen dagelijkse omstandigheid als de zeespiegel zover is gestegen dat we in fase 2 zijn beland. Maar wel een situatie die door afwaaiing op zee i.c.m. opwaaiing tegen de Brouwersdam aan de meerzijde, nog frequent zal optreden [2]. In die omstandigheden kunnen doorlaatkokers met pompen erin dus niet worden ingezet. Doordat alleen op gelijkwater kokers worden geopend of gesloten, impliceert dit dat als verwacht wordt dat gedurende een laagwater op zee een dergelijk verval zal optreden, dat héle laagwatervenster moet worden overgeslagen. Dat grijpt direct in op de momentane én jaargemiddelde prestatie van de doorlaat. En dat terwijl juist die condities met veel afwaaiing op zee, een doorlaat onder vrij verval nog goed laten presteren.

Daarnaast is de vraag wat er met de pompen gebeurt als de optredende op- en afwaaiing iets groter blijken dan bedacht bij de voorspelling. De pompen worden dan zwaarder belast dan waarvoor ze zijn bedoeld en dat vormt een exploitatierisico.

Dit impliceert dat zowel de technische uitwerking van het VKA, als het verbeterd VKA, na inbouwen van de beoogde pompen, geen comfortabele oplossing biedt voor het peilbeheer: met uitsluitend spuiend pompen in deze opstelling is het doelbereik voor getij op het Grevelingenmeer niet gegarandeerd.

Misschien kan om deze problematiek heen worden gewerkt, maar dat is voornamelijk niet uitgezocht: Als in de kokers benedenstrooms van de pomp een regelbare hydraulische weerstand wordt gebouwd die zó groot is, dat de pompen niet meer de lage buitenwaterstand 'voelen', dan kunnen ze in hun normale gebruiksgebied worden gehouden en worden ze belast zoals dat de bedoeling is. In project Afsluitdijk wordt iets soortgelijks gerealiseerd met een regelbare stuw in de afstroming van de gemalen. Het is echter een complexe maatregel, waarin het verbeterd VKA niet voorziet en waarvan nog staat te bezien of die in de beschikbare ruimte is in te passen en wat of de overige consequenties zijn.

In een volgende ontwerpronde zal hier aandacht aan moeten worden besteed, als de pompfunctionaliteit tenminste centraal blijft staan in de klimaatadaptatie.

Merk op dat bij een apart gemaal, aanvullend op een doorlaat, dit probleem zeer waarschijnlijk als vanzelf verdwijnt: in de situatie met grote vervallen naar zee, zal inzet van het gemaal niet nodig zijn, aangezien de doorlaat dan beter presteert dan bij normale vervallen naar zee.

Ook om deze reden wordt aangeraden om andere vormen van peilbeheer te onderzoeken, in samenhang met de effecten daarvan. Het belang van grondig, kwantitatief inzicht in de samenhang tussen de (technische uitwerking van de) ingreep en de effecten op de omgeving is zeer groot.

Ad 3 - Doorstroming tegen de pomprichting in

Indien kokers worden omgebouwd tot maalgang om te kunnen helpen bij het creëren van laagwater, maar óók geschikt moeten blijven om te kunnen bijdragen aan het creëren van hoogwater, dan moeten de pompen in beide richtingen doorstroombaar zijn. Omdat het bij het beoogde gebruik gaat om uitmalen naar zee en doorlaten met regeneratief remmen (zie ad 4) richting meer, wordt de machine in beide bedrijfstoestanden in dezelfde richting belast, waardoor het niet nodig lijkt uit te gaan van verstelbare waaierbladen (en/of leidschoepen). Wel zal er bij de vormgeving van de waaier aandacht aan moeten worden besteed [1].

Merk op dat regeneratief remmen bij extreem verval naar zee ook zou kunnen helpen tegen overtoeren in die situaties (zie onder ad 2). Dat zou echter inhouden dat de pompwaaier in de andere richting wordt belast, wat leidt tot complicaties in het ontwerp van de lagering en (zeer waarschijnlijk) verstelbare waaierbladen en/of leidschoepen noodzakelijke maakt. Dit staat haaks op het streven naar een zo eenvoudig mogelijke machine (om de kosten van ontwikkeling en bouw ervan te beheersen).

Een andere denkrichting kan zijn om de pompen uitneembaar te maken op een wijze die toestaat dat ze uit de waterstroom worden gehesen als onder vrij verval water stromen moet, en in de waterstroom staan als de pomp moet werken. Dit impliceert hijswerken om deze grote en zware machines (een paar honderd ton per stuk) vlot in en uit te hijsen, gefaciliteerd in de civiele constructie. Dat kan alleen met permanente opstellingen, vergelijkbaar met de wijze waarop hefdeuren of hefbruggen worden bewogen. Daarin is voornamelijk niet voorzien, ook niet in het verbeterd VKA. Ter vergelijking: de pompen in IJmuiden wegen orde 100 ton per stuk, maar worden alleen voor onderhoud uitgenomen met behulp van een portaalkraan of met mobiele kranen. De hefdeuren in de Beatrixsluizen wegen ongeveer 160 ton per stuk, en worden met een uitgebalanceerde kabelaanrijving dagelijks enkele tientallen keren over ongeveer 15 m omhoog en

omlaag gereden in telkens een paar minuten tijd, in grote hefportalen die de contragewichten, omloopwielen en de aandrijvingen herbergen. Voor de Brouwersdam moet worden gedacht aan wat grotere gewichten (orde 200-300 ton) en bruto-afmetingen ter grootte van een huizenblok van 3 eengezinswoningen (een pomp zou zo'n 15m lang, 8m breed en 8m hoog worden, [5]). De impact van per pomp een tweetal of viertal heftorens van voldoende afmeting moeten inpassen is heel groot, zowel ruimtelijk als in kosten. En de hijsvoorziening zal niet de t.b.v. onderhoud voorziene portaalkraan vervangen, die blijft nodig. Het verbeterd VKA gaat daarom uit van in twee richtingen doorstroombare pompen, die alleen voor onderhoud uitgenomen worden met een portaalkraan.

Ad 4 - Vrijloop

Vrijloop van de pompwaaiers moet beslist worden vermeden [1]. Het risico van schade aan de pompen ten gevolge van hydrodynamische instabiliteit in de waterstroom is te groot. Ze leiden tot grote en snelle variaties in de belasting op de waaier en andere onderdelen van de pomp, met grote schadekans. Om deze instabiliteit te vermijden, móet de waaier worden belast als de koker waarin de pomp staat, gebruikt wordt voor het verplaatsen van water. Dat betekent dat deze óf aangedreven, óf regeneratief geremd moet worden (mechanisch remmen met trommel- of schijfremmen kan niet omdat uren aaneen slippend remmen niet kan), met de aan zekerheid grenzende waarschijnlijkheid dat e.e.a. ook daadwerkelijk gebeurt. Dit resulteert in een extreem strenge eis aan de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de machine en de bijbehorende installaties/voorzieningen (beslis- en besturingstechniek, voeding, koppelvlak met hoogspanning), waarbij het waterbeheer dan de energieconsumptie (tijdens pompen) én de energieafgifte (tijdens regeneratief remmen) dicteert. Het is niet op voorhand zeker dat aan dergelijke eisen voldaan kan worden. Daarnaast impliceert dit een relatief hoog aantal bedrijfsuren (inzet in zowel de eb als de vloedfase) per tijdseenheid, waardoor in kalendertijd uitgedrukt, de onderhoudsintervallen relatief kort zullen zijn t.o.v. wat gebruikelijk is.

Regeneratief remmen komt in wezen neer op turbineren: er wordt energie aan de waterstroom onttrokken die wordt omgezet in elektriciteit die in het net gevoed wordt. Dat maakt niet dat er een getijdecentrale wordt gerealiseerd: een energiecentrale wordt in/op/nee/afgeschakeld op basis van de momentane vraag naar elektriciteit, in samenhang met alle andere productiefaciliteiten. Consumptie en productie van elektriciteit moeten (binnen nauwe marges) in evenwicht zijn, het elektriciteitsnet buffert (vooralsnog) niet. Het netbeheer moet dus inspelen op de energieafgifte van de regeneratief remmende pompen. In plaats van een energiecentrale, is de doorlaat met pompen een (grote) elektriciteitsverbruiker, die ook een bedrijfsfase 'regeneratief remmen' zal krijgen en dan elektriciteit levert aan het net, maar dus niet bestuurd wordt vanuit netbeheer. In feite fungeert het object dan zoals vele (kleine) opwekkers van wind- en zonne-energie die terugleveren op het net als de omstandigheden daar naar zijn. Dit stelt de netbeheerder voor uitdagingen.

Terzijde: regeneratief remmen levert in principe relatief weinig elektriciteit op, het gaat er slechts om dat de waaier correct wordt belast. Ook dát is een fundamenteel verschil met een getijdecentrale, die juist zoveel mogelijk elektriciteit moet opleveren.

Ad 5 - Wijze van integratie pompfunctie in peilbeheer

Het VKA (en het verbeterd VKA) gaan uit van in twee richtingen doorstroombare pompen in de doorlaatkokers en van manipulaties (van schuiven) op gelijkwater in afgaand en opkomend tij [3]. Pompen in kokers die in bedrijf zijn, moeten aangedreven dan wel geremd worden [1].

De mogelijkheden van het concept 'spuiend pompen' om laagwater op het Grevelingenmeer te maken zijn gebonden aan fysieke grenzen [1]. En wel zodanig dat uitsluitend spuiend pompen op grote belemmeringen stuit en wellicht zelfs geen realistische oplossing vormt. In [1] is géén voorbeeld opgenomen waarin uitsluitend tussen gelijkwater op afgaand tij en het daaropvolgende gelijkwater in opkomend tij, laagwater wordt gecreëerd met behulp van pompen. Er worden enkel voorbeelden met pompen in het doorlaatmiddel gepresenteerd die spuiend én regulier pompen.

Dit betekent dat het (verbeterd) VKA op dit punt moet worden aangepast: de tot gemaal omgebouwde doorlaat zal schuifmanipulaties laten zien op momenten die niet samenvallen met gelijkwater, en dus in verval en/of stroming plaatsvinden. In de gepresenteerde voorbeelden gaat het om vervallen in beide richtingen die structureel wel een paar meter groot kunnen zijn (bijvoorbeeld als het hoogwaterpeil op het meer bereikt wordt op een moment waarop de waterstand op zee in afgaand tij nog circa anderhalve meter boven NAP is). Daarop kunnen schuiven wel worden gebouwd, maar dat is voor het (verbeterd) VKA niet het uitgangspunt geweest en in het verbeterd VKA slechts voor incidentele gevallen acceptabel [3].

't Is wel mogelijk om met behulp van de pomp in een koker de stroomsnelheid naar nul te brengen, waardoor de schuif alsnog in min of meer stilstaand water kan worden gesloten (met regelbare leidschoepen bijvoorbeeld). Evenzo is het in principe mogelijk om met een pomp de vervalbelasting over een schuif tot nul terug te brengen, zodat die in gelijkwater kan worden geopend. Dit is echter een behoorlijk complexe interactie, waarvan vooralsnog niet duidelijk is of die praktisch haalbaar is en dan ook voldoende betrouwbaar wordt gevonden voor regulier gebruik. Daarnaast zijn eventueel hiervoor benodigde aanvullende installaties (zoals regelbare leidschoepen) én de daarvoor benodigde ruimte in de kokers vooralsnog niet voorzien.

Dit kan (in een volgende fase) nader worden bekeken en afgewogen tegen schuiftypen die geschikt zijn voor reguliere toepassing in verval/stroming.

De pompfunctie kan ook op een andere wijze worden geïntegreerd in het peilbeheer, namelijk in een apart gemaal. Dit impliceert een fundamentele verandering t.o.v. het (verbeterd) VKA, maar wel een die de pomppogave enorm reduceert: in plaats van standaard voor laagwater de gehele getijschijf te verpompen, kan de pompfunctie worden beperkt tot de omvang die zinnig is, c.q. dat deel van de opgave waarvoor andere wijzen van capaciteitsvergroting (doorlaatooppervlak bijbouwen bijvoorbeeld) niet meer aantrekkelijk zijn. Merk op dat het hoe dan ook al snel om een groot of zeer groot gemaal gaat: om in bijvoorbeeld 4 uur tijd 1 cm water van het Grevelingenmeer af te pompen, is een capaciteit nodig van $(105 \text{ km}^2 * 0,01 \text{ m}) / (4 \text{ uur} * 3.600 \text{ s/uur}) = 73 \text{ m}^3/\text{s}$. Met een 'Gemaal IJmuiden' zou in die tijd dus $260/73 = 3,6$ cm water van het Grevelingenmeer kunnen worden afgemalen, amper 10% van de verlangde getijslag.

Ook hier geldt weer dat als het voor pompen beschikbare tijdvenster kan worden vergroot (bijvoorbeeld bij toepassing van pulserend peilbeheer/versnelde vloed), meer resultaat kan worden geboekt zonder de capaciteit van de pomp te vergroten.

Op deze plaats mag niet onvermeld blijven dat het introduceren van pompfunctionaliteit, maar ook het introduceren van de mogelijkheid schuiven buiten gelijkwater te openen of te sluiten, het peilbeheer bevordert, omdat de resultaten veel minder zullen worden beïnvloed door voorspelfouten. De in te stellen opening wordt (ruim) vooraf bepaald o.b.v. een verwachting ten aanzien van de waterstand op zee én de lokale waterstanden op cruciale plekken op het Grevelingenmeer, als gevolg daarvan. Die verwachting zit er altijd meer of minder naast, de voorspelfout. Het peilbeheer dicteert hoe die moet worden benaderd: hoogwater op het meer mag niet hoger worden dan een bepaald peil, en laagwater mag niet lager worden dan een bepaald peil. Op basis van een meetreeks uit het verleden (met waterstand én wind) berekenen wat dan de ingestelde oppervlakken zouden zijn geweest, is dan nog wel te doen. Maar voorspellen welke opening moet worden ingesteld bij een waterstandsverloop dat onder invloed van lokale wind én windvelden ver op zee een behoorlijke grilligheid vertoont, kan niet geheel accuraat. In het operationele bereik van de doorlaat rekening houden met voorspelfouten in de orde van 1-2 decimeter voor de waterstand op zee, lijkt op voorhand niet overdreven veilig. Een hoogwaterpeil op het meer niet mogen overschrijden en een laagwaterpeil niet mogen onderschrijden betekent dat rekening houden met een voorspelfout ertoe leidt dat gestuurd moet worden op meerpeilen die lager zijn dan het maximaal toegestane hoogwaterpeil, respectievelijk hoger dan het toegestane laagwaterpeil. Hierdoor zullen die grenspeilen op het meer in een mogelijk substantieel deel van de tijd niet worden gehaald. Daardoor zal de gemiddelde gerealiseerde getijslag dus lager uitpakken dan de bedoeling is. Pompcapaciteit en/of de mogelijkheid schuiven buiten gelijkwater te manipuleren, bieden de mogelijkheid om de waterstroom nog bij te sturen, gaandeweg het maken van hoog- of laagwater. Daardoor kan met een kleinere voorspelfout, scherper aan de wind worden gezeild in het nastreven van de peilbeheerdoelen.

Ad 6 - N-1 principe

Het N-1 principe staat voor de mogelijkheid om de vereiste prestatie op systeemniveau te leveren, terwijl een deel van de oplossing buiten bedrijf is (wegens storing of onderhoud). Naarmate meer machines parallel opgesteld staan, is de impact van buiten bedrijf zijn van één exemplaar kleiner, maar de kans dát er een buiten bedrijf is, neemt toe. Niet alleen doordat er altijd wel ergens onderhoud gaande is, als er maar genoeg machines staan opgesteld, maar ook doordat gedeelde faaloorzaken (common cause failure, CCF) bij falen van één machine, hetzelfde probleem op de andere machines impliceren (bekende CCF-oorzaken zijn bijvoorbeeld ontwerp- en productiefouten, niet toereikende inspectie- en onderhoudsprotocollen, de monteur die onbewust telkens dezelfde vergissing begaat).

Hoewel het voor de principiële discussie niet uitmaakt of over een maalgang wordt gesproken (met schuiven of afsluiters en een pomp) of over een doorlaatkoker (met een of enkele schuiven), is gevoelsmatig al helder dat een maalgang met daarin een complexe machine (een pomp) en een paar schuiven, méér onderhoud behoeft én storingsgevoeliger is dan een koker met alleen een paar

schuiven. Voor een object met daarin pompen zal dus eerder een exemplaar extra moeten worden voorzien om de downtime voldoende te kunnen beheersen, dan in een object zonder pompen. En in een object met véél pompen wordt deze behoefte nog sterker. Daar komt bovenop dat de schaa sprong in de pompen tot een grotere onderhoudsbehoefte kan leiden. Wellicht is noodzakelijk dat de systeemprestatie moet kunnen worden geleverd met méér dan één pomp buiten bedrijf.

Ter illustratie, een probleem dat in een van de nieuwe pompen op IJmuiden werd geconstateerd en tot maandenlange buitenbedrijfstelling leidde, bleek óók in de andere nieuwe pomp aanwezig en leidde ertoe dat de tweede nieuwe pomp preventief buiten bedrijf werd gesteld, terwijl die eerste nog niet hersteld was. Voor deze pompen was geen reserve beschikbaar, waardoor de capaciteit van het gemaal reduceerde tot de oorspronkelijke 160 m³/s van de oude 4 pompen. Om het gemis op te kunnen vangen, zijn tijdelijk maar liefst 31 noodpompen geplaatst (zie figuur 2). Een tiental is beschikbaar gemaakt uit de crisisbestrijding van RWS, de rest is uit de markt betrokken. Eerder werd pomp 7 voor IJmuiden al benoemd, deze is in ontwikkeling en moet als reserve gaan dienen om herhaling van dit voorbeeld te voorkomen.

Zo'n tijdelijke oplossing als in IJmuiden is voor een vergelijkbare situatie met een paar duizend kubieke meter per seconde pompcapaciteit op de Brouwersdam nauwelijks denkbaar. Zóveel materieel op korte termijn voor hele lange duur (reparatietijd van alle pompen) tegen een redelijk tarief betrekken uit een markt met een eindige omvang, is op voorhand nagenoeg ondenkbaar. En de ruimtelijke inpassing van zo iets, praktisch ondoenlijk.

Reservecapaciteit om storingen en onderhoud op te vangen, moet binnen het object beschikbaar worden gemaakt, óf er moet worden geaccepteerd dat er misschien wel een half jaar lang helemaal geen getij mogelijk is.



Figuur 2: impressie van de opstelling van 10 van in totaal 31 noodpompen in IJmuiden, links aanzuigzijde en rechts de uitstroom.

Ad 7 - Vis- en zeezoogdiermortaliteit

Uit [1] volgt dat de voorziene pompen bij de huidige stand van de techniek een te hoge vismortaliteit zullen laten zien, ongeveer 10% versus de vereiste circa 1%. De te verwachten zeezoogdiermortaliteit zal zelfs 1.000-5.000 maal hoger zijn dan de gehanteerde eis van 0,01%. Vanwege toerental en afmetingen van de pompwaaier enerzijds en de lengte van zeehond of dolfijn anderzijds, is de

botskans vrijwel 1 en de kans op (dodelijk) letsel gegeven de botsing, in de orde van tientallen procenten. Hoewel de vismortaliteit geen showstopper lijkt, is zo een grote overschrijding van zeezoogdiermortaliteit dat zonder meer (zie figuur 3). Zelfs een uiterst kleine zeezoogdier- en vismortaliteit is al een moeilijk te verteren eigenschap van een machine die in de eerste plaats wordt voorzien om natuurwaarden te verbeteren – en een uitdaging in de publiekscommunicatie.

De enige bewezen techniek om zeezoogdieren uit draaiende pompen te houden, is het plaatsen van grofvuilroosters op een locatie waar stroomsnelheden dusdanig laag zijn, dat ze weg kunnen zwemmen. Met de 15 kokers van $8 \times 8 \text{ m}^2$ in het verbeterd VKA, staat er in de in- en uitstroomopeningen bij een piekdebiet van circa $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$, een stroomsnelheid van $4.000/(15 \times 8 \times 8) = 4,2 \text{ m/s}$, oftewel 15 km/u . En nog de helft daarvan op het gemiddelde debiet. Dit zijn stroomsnelheden waar een gezonde, volwassen bruinvis of zeehond wel even tegenop kan sprinten ($>20 \text{ km/u}$), maar daarbij moet bedacht worden dat zowel zeehonden als bruinvissen orde 5 km/u zwemmen als ze afstanden afleggen. Bij de locatiekeuze van de grofvuilroosters zal hiermee (in nader vast te stellen mate) rekening gehouden moeten worden. Wellicht is het nodig om grofvuilroosters op locaties te zetten waar de stroomsnelheid niet meer dan $1-1,5 \text{ m/s}$ bedraagt. Dus op een locatie voldoende ver bij de doorlaat vandaan, waar de natte doorsnede zó groot is dat de stroomsnelheid van het water voldoende laag is. Het meestromende natte oppervlak moet dan een factor 3-4 groter zijn dan $15 \times 8 \times 8 = 960 \text{ m}^2$, dus zo'n $3.000-3.500 \text{ m}^2$. In het verbeterde VKA [3] is een zo grote natte doorsnede pas tegen de uiteinden van de fuikwanden aanwezig. Dat is op zo'n $70-80 \text{ m}$ vanaf de rand van de doorlaat: daar pas is de ruimte tussen de damwanden groot genoeg. Met de zware hydraulische condities die zullen moeten worden doorstaan (stroming, golven, storm) worden grofvuilroosters dan kunstwerken van aanzienlijke afmetingen, waarin het verbeterd VKA vooralsnog niet voorziet.

Merk op dat een grofvuilrooster op zo'n locatie een drenkeling of recreant geen soelaas biedt: mensen zijn dermate slechte zwemmers dat ze zelfs tegen een zo geringe stroming kansloos zijn. De mondiale zwemtop haalt in een sprint nog geen 10 km/u en houdt dat geen minuut vol. Een mens zal in zo'n situatie door de stroming tegen het rooster worden gedrukt en stikken of verdrinken.



Figuur 3: zeehonden(kadavers) na vermoed contact met schepsschroef in straalbuis, goed vergelijkbaar met te verwachten schadebeeld op een zeezoogdier in een pompwaaier van een nauw omsloten bulbpomp [1].

Tevens zorgen grofvuilroosters voor twee praktische bezwaren. Ten eerste vervuilen ze snel. Hoewel dat veel rommel uit de pomp houdt, betekent het ook dat ze makkelijk verstopt raken. Dat wordt normaliter beheerst met (automatische) schoonmaakinstallaties, met alle bijkomende problematiek van dien (overigens ook met het voordeel dat aangroei wordt voorkomen). Ten tweede geeft een

grofvuilrooster per definitie een extra weerstand in de stroming in de orde van een of enkele decimeters waterkolom drukhoogte (bij een schoon rooster – navenant meer als het vervuild is). Dit beïnvloedt het pompbedrijf duidelijk negatief, zeker in situaties als op de Brouwersdam, waar het verval regulier varieert van -1 tot +2,5 m en een extra weerstand van een of enkele decimeters drukhoogte al snel significant is. Met kokers met pompen die in twee richtingen worden doorstroomd, zijn beide zijden een inlaatzijde. En dus zal zowel aan zee- als aan meerzijde een grofvuilrooster met bijkomende voorzieningen geplaatst moeten worden als er pompen worden ingebouwd (zeehonden laten zich al regelmatig zien in het Grevelingenmeer). Gevolg is dat meer doorstroomoppervlak en/of meer energieverbruik nodig is voor hetzelfde debiet, vergeleken met een situatie zonder grofvuilrooster.

Merk op dat bij ombouw van minder dan alle kokers, nog steeds aan beide zijden van de gehele doorlaat een rooster nodig is, of een rooster over het omgebouwde deel van de doorlaat plus een scheiding in de aanstroming tussen de omgebouwde en de niet-omgebouwde kokers.

Deze opsomming laat zien dat de beoogde technische uitwerking van het VKA, ook in verbeterde vorm, niet de benodigde prestatie zal leveren, maar nog de nodige technische ontwikkeling verlangt én nog aanvullende maatregelen behoeft.

De conclusie dat naar een andere invulling moet worden gezocht lijkt daarmee onvermijdelijk.

Kosten

Omdat (noodgedwongen, de beschikbare doorlooptijd was te kort om de wenselijke of zelfs benodigde volgordelijkheid aan te kunnen houden) een aantal aspecten parallel aan elkaar moest worden uitgewerkt, konden in [1] niet alle ontwikkelingen in [3] worden meegenomen, en kon ook de ontwikkeling van het verbeterd VKA als weergegeven in [3] maar beperkt profiteren van de inzichten van [1].

Zo werd hiervoor al aangestipt dat de as van de pomp circa anderhalve meter dieper moet worden aangelegd dan verondersteld in het verbeterd VKA, nog meer indien per koker meer dan circa 200 m³/s moet worden verpompt. Dat heeft aanzienlijke consequenties: een dieper opgestelde as verlangt een dieper aangelegde doorlaatkoker. In de uitgewerkte bouwmethode verlangt dat een bouwkuip waarin de vloer ook zoveel dieper is aangelegd. Die wordt dan zwaarder belast met opwaartse waterdruk en moet bijgevolg sterker (dikker en/of zwaarder verankerd) worden ontworpen en gerealiseerd. De wanden van de dieper uitgegraven bouwkuip (meer grondwerk) krijgen een grotere kerende hoogte en moeten dus sterker worden uitgevoerd (zwaarder profiel, zwaardere verankering). En dat kan allemaal nog enigszins ongunstiger uitpakken omdat een drooggezette koker (voor ombouw naar maalgang, of voor onderhoud) dan ook zwaarder zal worden belast dan nu voorzien, waardoor de afmetingen van de betonconstructie wellicht nog iets moeten toenemen, waardoor het object als geheel groter wordt. Waarvoor dan vanzelfsprekend een nóg wat grotere en diepere bouwkuip nodig is. Tevens zal de bodemverdediging met de vloer van de doorlaatkokers mee omlaag moeten (meer grondwerk), waardoor de fuikwanden een grotere kerende hoogte krijgen (en dus sterker moeten worden uitgevoerd). Een dergelijk pakket aanpassingen zal de realisatie navenant kostbaarder maken, dan al voorzien in het verbeterd VKA.

Op een hoger abstractieniveau biedt [1] het inzicht dat laagwater maken met uitsluitend spuiend pompen, géén realistische oplossing is, althans niet in de voorgenomen hoeveelheid en afmetingen. Wordt desondanks vastgehouden aan de 15 kokers van 8*8 m² in het verbeterd VKA, dan kan het openen en sluiten van kokers niet meer uitsluitend op gelijkwater plaatsvinden (om de tijdvensters zó te kunnen kiezen dat de haalbare capaciteit voldoet voor de te halen getijslag). Openen en sluiten moet dan dús in verval en/of stroming kunnen. Daarin is in het verbeterd VKA niet voorzien.

Als vermeld zijn in [1] niet de laatste inzichten verwerkt die in het verbeterd VKA zitten. Daaronder ook de uitkomsten van de raming van het verbeterd VKA [8]. Bijgevolg zijn getallen uit de verkenning gebruikt. Voorbeelden van verschillen tussen het VKA en het verbeterd VKA met flinke kostenimpact, volgend uit het rekening houden met inbouw van pompen, zijn aanpassingen van de geometrie van de betonconstructie, de portaalkraan, de portaalkraanlift en de onderhoudshal voor de pompen. Wezenlijke kostenbesparingen laat het verbeterd VKA t.o.v. het VKA niet zien.

De bedragen in [1] vormen dus een aanzienlijke onderschatting, ze houden geen rekening met wegens inbouw van pompen kostenverhogende aspecten tussen het verbeterd VKA en het VKA.

Dit nog los van de impact van review/toetsing op de bedragen zoals ze tijdens de verkenning tot stand zijn gekomen.

Verder is van belang te onderkennen dat het verbeterd VKA en dus ook de kostenraming daarvan, niet voorziet in alle aspecten met impact op de geometrie (en daaruit voortvloeiend op de kosten), aangereikt in [1]. Ook dat drijft de investeringskosten nog op.

Wat kan er dan met pompen, zonder grote onzekerheden en risico's?

Uitgaande van bestaande pompen en al gerealiseerde prestaties, kan met pompen met waaiers van orde 4 m middellijn en met capaciteit van orde 50 m³/s, opgesteld in een apart object dat uitsluitend gebruikt wordt wanneer spuien onder vrij verval niet voldoende is om laagwater op het Grevelingenmeer te realiseren, met grofvuilroosters aan alleen de Grevelingenmeerzijde, een gemaal worden gerealiseerd dat in de juiste behoefte voorziet, naast de functionaliteit van de doorlaat, die zo lang mogelijk en zoveel mogelijk uitgenut moet worden.

Nader onderzoek naar pomptechnologie is dan nog steeds nodig om tot een pomp te komen met een voldoende lage vismortaliteit, maar dit wordt op voorhand realistisch geacht.

Gegeven de problematiek van pompen 5 en 6 op IJmuiden en de lopende ontwikkeling van pomp 7, is het TRL/IRL van dergelijke pompen beslist nog niet de maximale 9, maar eerder 6-8, afhankelijk van het beschouwde aspect.

Mogelijke of wenselijke winst van ontwikkelingen in pomptechnologie kan ook zijn dat grotere pompen kunnen worden toegepast en/of dat (heel) misschien zonder grofvuilrooster kan worden gewerkt.

Steeds moet daarbij worden beschouwd of een oplossing met een gemaal (kosten)effectief is t.o.v. andere mogelijkheden (zachte klimaatadaptatie i.c.m. effectmitigatie en/of harde adaptatie door realiseren van meer doorstroomoppervlak en/of andere maatregelen die wel de projectdoelen dienen, maar niet via een getijslag). Op voorhand is allerminst zeker dat realiseren van een pompfunctionaliteit een kosteneffectieve maatregel is. Zowel [7] als [6] wijzen hier ook op.

Wat betekent dit ten aanzien van het verbeterd VKA?

Voor een verder verbeterd VKA met een kokeroplossing ligt dan voor de hand om niet langer rekening te houden met de inbouwbaarheid van pompen: als er pompen komen, dan dus in een apart gemaal. Voor de doorlaat (kokeroplossing) heeft dat belangrijke aanpassingen tot gevolg:

- De doorlaatkokers kunnen aanzienlijk korter;
- De oplossing met vulblokken kan vervallen waardoor het ontwerp van wanden, vloeren en plafonds een stuk gunstiger wordt;
- De portaalkraan voor uitwisselen van de pompen kan inclusief bijbehorende voorzieningen vervallen;
- De mogelijkheid tot droogzetten van de kokers kan worden heroverwogen, daar deze vooral voortvloeit uit de ombouwoperatie en het onderhoud dat de kokers na ombouw behoeven.

In het kielzog van loslaten van de inbouwbaarheid van pompen, vervalt echter ook de noodzaak om een doorlaat met verdronken kokers te bouwen. Dit opent de mogelijkheid om studie te doen naar een doorlaat met vrije waterspiegel en een aanmerkelijk minder diepe ligging, waardoor een compactere doorlaat op een minder complexe/kostbare wijze gebouwd kan worden. Deze kans is ook in [6] benoemd.

Waarop zou nader onderzoek zoal moeten worden gericht?

In [6] en [7] wordt gepleit voor een bredere blik, die ook dieper inzicht moet opleveren. Ook in voorliggende notitie worden de nodige kansen en kanttekeningen benoemd. Sommige zijn slechts relevant voor een specifieke oplossingsrichting, andere zijn van meer universeel belang.

De opsomming hieronder pretendeert geen volledigheid, is niet geprioriteerd en ook niet bewust geordend. Ze delen vooral een duidelijk verband met de inzet van pompen.

- Er is studie nodig naar de inpassing van een apart gemaal, ten behoeve van een verantwoorde keuze tussen al dan niet integreren in de doorlaat. Waar zou een gemaal het meest effectief ingezet kunnen worden, waar is dat ongewenst/onmogelijk vanuit andere invalshoeken, wat is de invloed van de locatiekeuze op het ontwerp van de doorlaat en aanpalende voorzieningen (zoals de aan- en afstroomgeulen)? Dergelijke vragen moeten worden beantwoord om scenario's met pompen verantwoord op tafel te kunnen houden (of ze van tafel te halen). Inzicht in de kwantitatieve samenhang van omvang en impact zijn daarbij onontbeerlijk. Is een gemaal van de omvang van IJmuiden, of nog vele malen groter, überhaupt een optie?
- Studie naar de toelaatbaarheid van een zeer scheef verval op het meer, waarbij de waterstand dus in een paar uur van opkomt en laagwater maken wellicht meerdere getijcycli op zee bestrijkt, is zeer wenselijk om de houdbaarheid van een doorlaat zónder pompen zo lang mogelijk te maken, en zo de installatie van pompcapaciteit zo lang mogelijk uit te stellen. En als die uiteindelijk onvermijdelijk blijkt, zo beperkt mogelijk te houden. Als bijvoorbeeld een enkeldaags getij volstaat ('just enough' als bedoeld in [7]) en qua effecten acceptabel is,

is dat een mogelijke adaptatiestrategie die nog niet verkende mogelijkheden biedt. Als de scheefte begrensd moet worden, wat impliceert dat dan voor het gebruik, en dus het ontwerp, van de te realiseren werken?

- Loslaten van de inbouwmogelijkheid van pompen opent de mogelijkheid van een doorlaat met vrije waterspiegel en aanmerkelijk minder diepe ligging, waardoor een compactere doorlaat op een minder complexe/kostbare wijze gebouwd kan worden. Waar dit toe kan leiden, moet nog worden uitgezocht.
- Er moet aandacht worden besteed aan oplossingen die expliciet geschikt zijn om te openen in verval en te sluiten in stroming en verval. In situaties zónder pompen is onafhankelijk van gelijkwater kunnen opereren wenselijk en wellicht noodzakelijk: de operatie kan dan vrijwel ongevoelig worden voor voorspelfouten, waardoor het doelbereik significant beter wordt benaderd. In [4] is beargumenteerd dat inlaten starten onder verval, het tegengaan van zuurstofloosheid bevordert. Inzicht in een kwantitatief verband is gewenst en kan onderwerp van nader onderzoek zijn. In situaties mét pompen is het nodig om regulier gebruik van de pompen in het peilbeheer mogelijk te maken, zowel in een apart gemaal als in een omgebouwde doorlaat: tegen positief verval in de laatste centimeters uitslaan, gevolgd door een versnelde vloed met een doorlaat die onder verval wordt geopend. En die al dan niet nog in stroming wordt gesloten, met als optie de eerste centimeters met pompen in normaal gebruik af te malen, alvorens met de doorlaat de bulk van het water onder vrij verval naar zee stroomt. Inzicht in de kansen en kosten is nodig voor een goede afweging.
- Niet vergeten mag worden dat áls blijkt dat inzet van pompen gewenst of zelfs noodzakelijk is, er een ontwikkeltraject moet worden opgestart om tijdig uitzicht te hebben op een object met maakbare pompen die gebruikt kunnen worden tegen acceptabele kosten, bij een acceptabele impact. Zonder dit uitzicht is het risico van een niet-vergunbare oplossing, bij gebleken wens dan wel noodzaak, zeer groot. Aspecten die dan beslist beschouwd moeten worden naast de constructie van de pompen zelf en de eisen die de pompen aan hun omgeving stellen (en de geometrie van het object waarin ze worden geplaatst, dicteren), zijn bijvoorbeeld de vis- en zeezoogdiermortaliteit, het energieverbruik, de onderhoudsbehoefte en de onderhoudbaarheid.