

Evaluatie en verbetering sleepproeven

Door Roelf Pot

Datum: 14 januari 2015; versie 3.

Inleiding

Er ontstonden in 2013 allerlei twijfels en vragen over de sleepproeven naar aanleiding van resultaten die sterk afweken van eerdere jaren zonder duidelijke aanleiding. Uit een evaluatie van Floor Maitimo bleek dat er fouten in de metingen waren opgetreden in de jaren 2009-2011 waardoor sommige sloepen onevenredig bevoordeeld werden. Voor deze fouten is door Floor een correctie gereconstrueerd, maar daarmee was het vertrouwen in de methode niet hersteld. Dit vormde de aanleiding voor een grondige analyse van de sleepproeven en een poging tot verbetering ervan.

Ik heb op de FSN vergadering van 1-2-2014 mijn aanpak voorgesteld en ben beide weekenden van maart 2014 bij de sleepproeven aanwezig geweest om het proces zo goed mogelijk te proberen te doorzien. Ook heb ik alle bevindingen die al door anderen waren gedaan meegenomen. Dit leidde tot een lijst van bevindingen die stuk voor stuk werden onderzocht op de mate van invloed op het eindresultaat. Om de mate van invloed te kunnen vaststellen heb ik nieuwe software gemaakt.

Begin mei 2014 heb ik over mijn bevindingen voorgelegd aan een beperkt aantal mensen, waaronder Floor Maitimo. Tijdens het HT-weekend heb ik een zeer constructief overleg over dit verslag gehad met Floor, diverse aanvullingen gekregen en grosso modo instemming met de richting van de conclusies. Tussen augustus en december 2014 heb met verbeterde software nog een aantal zaken ontdekt. Ik heb daarover opnieuw met Floor gecorrespondeerd. Een tweede versie van het verslag is op 11 oktober met het FSN-bestuur besproken.

Deze evaluatie leidde uiteindelijk tot een aantal voorstellen voor verbetering van de procedure en de manier van berekenen.

De sleepproef

De sleepproef wordt uitgevoerd om de weerstand van een sloep te bepalen. Omdat de sloepen nogal verschillen in vorm en gewicht verschilt die weerstand enorm. De weerstand wordt uitgedrukt in een C_w -waarde. Omdat de C_w varieert met de snelheid wordt eigenlijk de C_w -kromme bepaald die het verband beschrijft tussen C_w en snelheid. Deze kromme wordt beschreven door een hyperbool-formule met twee constanten per sloep (A en B). Bij de uitslagberekening van wedstrijden worden deze A en B gebruikt om de C_w te berekenen voor de gemiddelde geroeide snelheid tijdens de wedstrijd. Vervolgens wordt daarmee berekend hoeveel vermogen de roeiers nodig moeten hebben gehad om die snelheid te bereiken. Zie ook bijlage 1.

In feite vindt tijdens de sleepproef het omgekeerde plaats van wat er tijdens een wedstrijd gebeurt: de sloep wordt met een bepaalde snelheid door het water getrokken, de kracht die daarvoor nodig is wordt gemeten. Daaruit is te berekenen wat de weerstand is die de sloep ondervindt bij die snelheid. Omdat die weerstand afhankelijk is van de snelheid wordt er bij verschillende snelheden gesleept. Er wordt op stilstaand water gesleept en met een standaard gewicht per roeier. Verder wordt het effect van wind van de gemeten weerstand afgetrokken: de C_w -kromme wordt vastgesteld voor windstil weer.

De bemanning van de sloep bepaalt van te voren voor welke snelheid wordt gesleept. Dat is de snelheid die het dichtst ligt bij de gemiddelde snelheid die men verwacht in een wedstrijd. Er wordt dan met die snelheid gesleept en met een snelheid die 10% lager ligt en 10% hoger. Uit de berekende Cw-waarden van die snelheden wordt een kromme berekend waarmee het verband tussen snelheid en Cw blijkt. In feite worden de waarden voor A en B tijdens de sleepproef bepaald. De Cw die ook wordt vastgesteld is die geldt voor de opgegeven snelheid, maar die volgt uit A en B.

Metten en rekenen

Tijdens de sleepproef worden in 6 perioden van 50 seconden metingen verricht. De eerste run van 50 seconden wordt met 90% van de opgegeven snelheid gesleept, de volgende met de opgegeven snelheid en de derde met 110% ervan; daarna wordt dit opnieuw gedaan in omgekeerde richting. Er wordt 1000 x per seconde gemeten: de vaarsnelheid, de trekkracht op de sleepkabel, de windsnelheid en de windrichting. De vaarsnelheid wordt in drievoud gemeten: met twee loggers en met dGPS (sinds 2014, sinds 2011 gewone GPS, daarvoor alleen loggers). Dit levert per sleep in totaal 1,8 miljoen meetwaarden op (50 seconden x 1000 metingen per seconde x 6 runs x 6 meetinstrumenten). Daarvan werden tot nu toe de tweede logger en de (d)GPS alleen ter controle gebruikt. De overige 1,2 miljoen meetwaarden worden gebruikt voor het berekenen van de Cw-kromme. Vooraf worden ook de lengte, breedte, hoogte en gewicht van de sloep gemeten.

Dat berekenen gebeurt globaal als volgt:

1. Van 300.000 waarnemingsmomenten wordt de Cw berekend, uit de trekkracht en de snelheid; gecorrigeerd naar het effect van wind dat wordt berekend uit de dwarsoppervlakte van de sloep en de tegenwind of meewind, afhankelijk van de windrichting.
2. Per run worden de 50.000 Cw-waarden en de gevaren snelheid gemiddeld tot 6 Cw-waarden bij verschillende snelheden.
3. Door deze 6 Cw-waarden wordt een kromme berekend.

De berekening wordt binnen een minuut na de laatste run uitgevoerd. De resultaten van die berekening worden beoordeeld:

1. liggen de 6 gemiddelde Cw-waarden redelijk goed op de kromme en zijn de waarden A en B niet te onwaarschijnlijk voor het type sloep?
2. wijkt de Cw bij de opgegeven snelheid niet te veel af van die van de vorige sleepproef, als althans de sloep niet ingrijpend is aangepast sindsdien?

Als een van beide oordelen reden geeft tot twijfel wordt de sleep helemaal overgedaan. Als de tweede keer geen andere resultaten oplevert of waarschijnlijker waarden oplevert dan geldt de laatste sleep als goed, levert de tweede sleep nog meer afwijkingen op dan geldt de eerste sleep als goed (dat laatste komt overigens vrijwel niet voor).

De software waarmee de berekeningen worden uitgevoerd dateert van 2003 en is geschreven in Fortran 77 door Floor Maitimo. Deze software leest de files met 1,2 miljoen meetwaarden en een hulpfile met o.a. de dwarsoppervlakte van de sloep, en resulteert in een gemiddelde Cw en snelheid per run, een A en een B-waarde, en enige statistieken. Met een Excel-spreadsheet wordt vervolgens de kromme en de 6 gemiddelden weergegeven in een diagram.

In 2014 is nieuwe software geschreven in Delphi XE5 waarmee in aanvang dezelfde berekeningen worden uitgevoerd, maar waarin veel meer opties mogelijk zijn, en waarmee ook grafieken meteen worden gepresenteerd, zowel van de Cw-kromme (met spreiding) als van alle metingen zelf.

Bevindingen

Deze evaluatie wordt per kwestie besproken, min of meer in de volgorde waarin ze werden geïnterviewd en geanalyseerd. Sommige conclusies ontstonden echter door het ontdekken van onderlinge relaties tussen verschillende kwesties. De verbeteringsvoorstellen worden in het volgende hoofdstuk samengevat, er wordt daarnaar verwezen in dit hoofdstuk als [verbetering X].

1. Over de zeer hoge frequentie van meten

Tijdens een run worden in 50 seconden 50.000 waarnemingen gedaan van snelheid, trekkracht, windsnelheid en windrichting. Dat is één meting per milliseconde.

- Is het zinvol om zo veel metingen te doen?
- Wat zijn de voor- en nadelen van zo'n hoge frequentie van waarnemen?

Er is bij enige tientallen metingen een deelmonster van waarnemingen onderzocht waarbij telkens de eerste van 100 opeenvolgende metingen is gebruikt. Deze deelmonsters bestaan dus per run uit 500 metingen met intervallen van 0,1 seconde. Dit levert dezelfde resultaten op als de gehele reeks van 50.000 metingen per run: de gemiddelden en de standaarddeviaties verschillen niet noemenswaardig en voor de C_w scheelt het minder dan 0,1. Meten met een lagere frequentie heeft dus geen effect op het sloepregister.

Waarom dezelfde uitkomsten?

Het signaal dat de sensoren afgeven verandert niet zo snel. De snelst veranderende waarden zijn die van de krachtopnemer en de windrichting; de krachtopnemer veranderde gemiddeld 0,02 tot 0,03 per 0,001 seconde (maximaal 0,1), dat is ongeveer 0,01% van de meetwaarde. Voor de windrichting geldt een vergelijkbaar gemiddelde. Het signaal van de snelheidsmetingen (zowel logger als dGPS) verandert hoogstens eens per 0,5 seconde (er kan dus worden gesteld dat er 500 keer achter elkaar dezelfde snelheid wordt geregistreerd).

De metingen die direct na elkaar worden gedaan zijn niet onafhankelijk van elkaar; de waarde van de meting wordt in hoge mate bepaald door de waarde ervoor. Zelfs de snelst schommelende meting veranderde in 100 metingen hoogstens 1% in waarde.

De hoge meetfrequentie geeft dus slechts een schijnnaauwkeurigheid.

De hoge meetfrequentie heeft als nadeel dat de grote aantallen getallen lastig zijn te verwerken in Excel (tot versie 2007 zelfs onmogelijk) en dus een niet-standaard analyse veel tijd en energie kost. De standaard berekeningen zijn in Fortran en Delphi geprogrammeerd, en kosten enkele seconden. Voor niet-standaard analyses van de data in Excel kan worden volstaan met steeds de 1^e van elke 100 metingen zonder kwaliteitsverlies, maar er is geen dringende reden (meer) om de meetfrequentie te verlagen omdat de gestandaardiseerde berekening ook met alle data snel genoeg gaat.

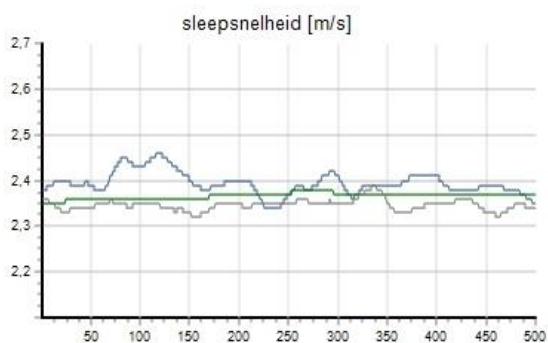
2. Schommelingen in de metingen binnen een run

De meetwaarden schommelen nogal binnen de runs. Met schommelen wordt hier bedoeld de variatie in waarden over de gehele run (50 seconden), meestal met een golflengte van minimaal één seconde.

- Wat voor effect heeft dat op de zuiverheid van de meting?
- Wat voor effect heeft dat op de betrouwbaarheid van de metingen?

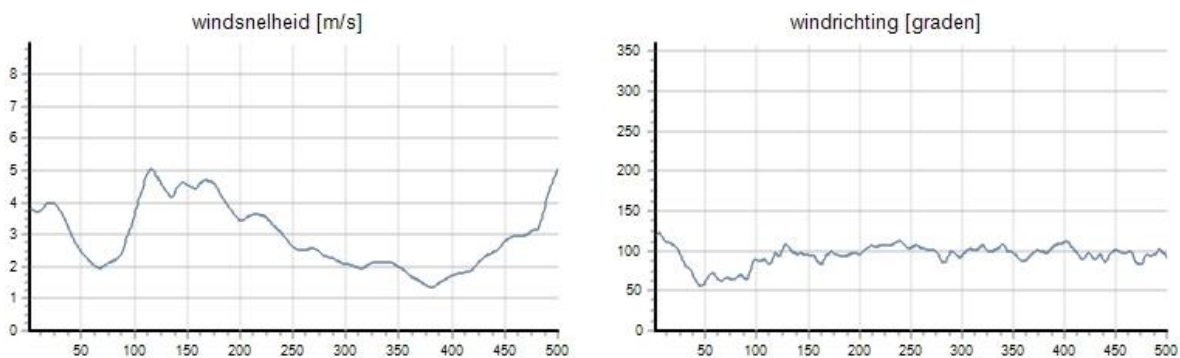
De schommelingen in de snelheid, zowel gemeten met de loggers als met dGPS, en de windsnelheid schommelen relatief weinig. De uitslag van de schommeling is doorgaans minder dan 5% van het gemiddelde, de standaarddeviaties liggen rond minder dan 1% van het gemiddelde.

Onderstaande figuur geeft de snelheid van slepen weer gedurende 50 seconden (schaal in eenheden van 0,1 sec) van een willekeurige proef in 2014; blauw: log1, grijs: log2, groen: dGPS.



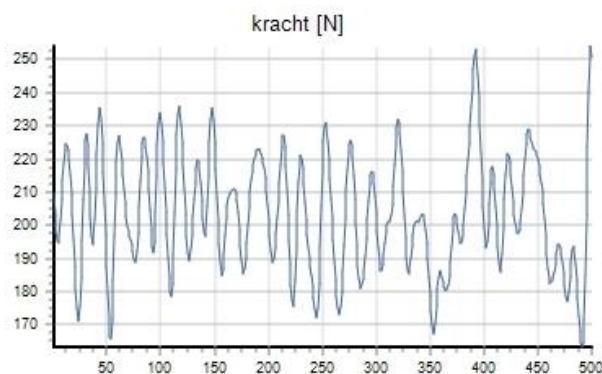
De schommeling van de windrichting is soms gering en soms veel groter. Dat is voornamelijk afhankelijk van de windsnelheid. Bij geringe windsnelheid kan de windrichting alle kanten uitschieten, maar het effect daarvan is dan heel gering omdat de windrichting alleen een corrigerend effect heeft op de weerstand door tegenwind. Bij weinig wind is de correctie klein en het effect van windrichting op de berekening van de C_w dus ook.

Windsnelheid en windrichting gemeten op de sleepconstructie tijdens dezelfde proef:



De schommeling van de meetwaarden van krachtopnemers is verontrustend groot, in de loop van de run schommelt deze tot wel 50% van het gemiddelde. De standaarddeviatie loopt meestal op tot rond 10% van het gemiddelde. Het 95%-betrouwbaarheidsinterval wordt daardoor ongeveer +/- 20% van het gemiddelde als we mogen aannemen dat de meting normaal verdeeld is. De kans dat de werkelijk trekkracht meer dan 20% afwijkt is dan dus 5% en dat gebeurt dan dus ook daadwerkelijk bij 1 op de 20 sleepproeven.

Kracht op de sleepkabel gemeten tijdens dezelfde proef:



Deze conclusie klopt echter niet helemaal omdat de verdeling van de metingen niet normaal is doordat ze niet onafhankelijk van elkaar zijn. Dat maakt dat de betrouwbaarheid aanzienlijk groter wordt als de schommelingen elkaar snel genoeg opvolgen om meerdere cycli binnen één meetperiode te krijgen (korte golflengte). De schommeling wordt dan binnen de meetperiode uitgemiddeld en de standaarddeviatie geeft een overdreven beeld van de onbetrouwbaarheid. Deze nuancering wordt bevestigd door Floor Maitimo in zijn email van 8 augustus 2014. Hij heeft via een modelberekening aangetoond dat de sleep zich als een massaveersysteem kan gedragen met een eigenfrequentie van ongeveer 0,5 tot 1 Hz (golflengte van 1 á 2 seconden). Dat betekent dat bij iedere verstoring van de constante sleepkracht op de sloep (wind, golfjes, bocht) het systeem zal gaan trillen met deze eigenfrequentie. Die schommeling is daarom geen meetfout of meeton nauwkeurigheid op zichzelf. Het probleem zit vooral in het goed verwerken van deze waarde in de berekeningen.

Een regelmatige schommeling met een golflengte van maximaal enkele seconden betekent dat deze binnen de run van 50 seconden grotendeels wordt uitgemiddeld. Alleen wanneer de schommeling bij het begin een piek en bij het eind een dal heeft, of andersom, zal dat een vertekende invloed hebben op het gemiddelde. Bij de krachtopnemer is de uitslag van de schommeling tot wel 50% van het gemiddelde. De maximale afwijking in het gemiddelde wordt berekend door dit percentage te delen door het aantal golfcycli in die periode. Dat is minimaal 25 en de afwijking zal dus maximaal ongeveer 2 % te laag of te hoog zijn. In de praktijk komen alle waarden tussen +2% en -2% in gelijke verhouding voor; 1 op de 8 sloepen zal daardoor dus een afwijking van meer dan 1,5% krijgen.

Door de grote uitslag komt ook de zuiverheid van het gemiddelde in het geding. De uitslag kan naar boven verder uitwijken dan naar onder omdat het tegen de minimale waarde 0 aanloopt. Als de trekkracht nog lager wordt komt de sleepkabel los te hangen en wordt de verdere afwijking niet meer geregistreerd. De verdeling is daardoor niet symmetrisch en het gemiddelde wordt te hoog berekend.

Een mogelijkheid om te onderzoeken of de zuiverheid in het geding is, is door het vergelijken van de gemiddelde met de mediaan. Bij een symmetrische verdeling zijn deze gelijk.

In de praktijk blijkt dat de mediaan meestal minder dan 1% hoger is dan het gemiddelde, maar bij sommige metingen loopt dat tot enkele procenten op. In zulke gevallen geeft de mediaan een betere schatting van de werkelijkheid dan het gemiddelde. Het gebruik van een mediaan heeft echter ook nadelen omdat uitschieters niet worden opgemerkt. Een mediaan geeft alleen een betere schatting als de schommeling heel regelmatig is.

De mediaanberekening kan daarom beter worden gebruikt als controle. Bij een te groot verschil tussen gemiddelde en de mediaan moet de meting als onbetrouwbaar worden gezien [zie verbetering 5b].

Oplossingen:

1. Alle effecten van de schommeling kunnen worden verkleind door oorzaak van de schommeling te verkleinen, met name door een 'schokdemper' in de sleepkabel te monteren. Dat gaat het ontstaan van resonantie tegen en voorkomt dus al te grote uitslagen in de schommelingen. Een 'veer' in de sleepkabel kan de schommeling dempen als hij optreedt, maar een 'veer' alleen helpt niet de resonantie te voorkomen en kan de uitslag van het massaveersysteem zelfs vergroten, waardoor het meetsignaal dezelfde problemen houdt [zie verbetering 3].

2. Het uitmiddelen van de schommeling kan sterk worden verbeterd door het begin en het eind van de meting zodanig af te kappen dat precies een geheel aantal cycli wordt gebruikt. Dan wordt de schommeling volledig binnen de run gecompenseerd en is er geen toevallige afwijking meer. Dit afkappen moet bij alle sensoren op hetzelfde moment. Het afkappunt kan daardoor het beste

worden afgeleid uit de waarde die de metingen combineert, dus uit de C_w -berekening: de afkappunten moeten dan liggen waar de C_w het gemiddelde bereikt. Bovendien moet het signaal aan het begin en het eind in dezelfde richting bewegen (dalen of stijgend) om een geheel aantal cycli te krijgen [zie verbetering 9b].

3. Het effect van de scheve verdeling kan worden opgevangen door de mediaan te gebruiken in plaats van het gemiddelde, maar dan geldt als voorwaarde dat de schommeling regelmatig moet zijn. Dit is overigens geen echte oplossing voor slepen waarbij de sleepkabel af en toe slap komt te hangen omdat dan nog veel grotere afwijkende kunnen worden verwacht. De mediaanberekening kan het beste als controlemiddel worden gebruikt: bij een te groot verschil tussen gemiddelde en mediaan moet de meting als onbetrouwbaar worden beschouwd [zie verbetering 5b].

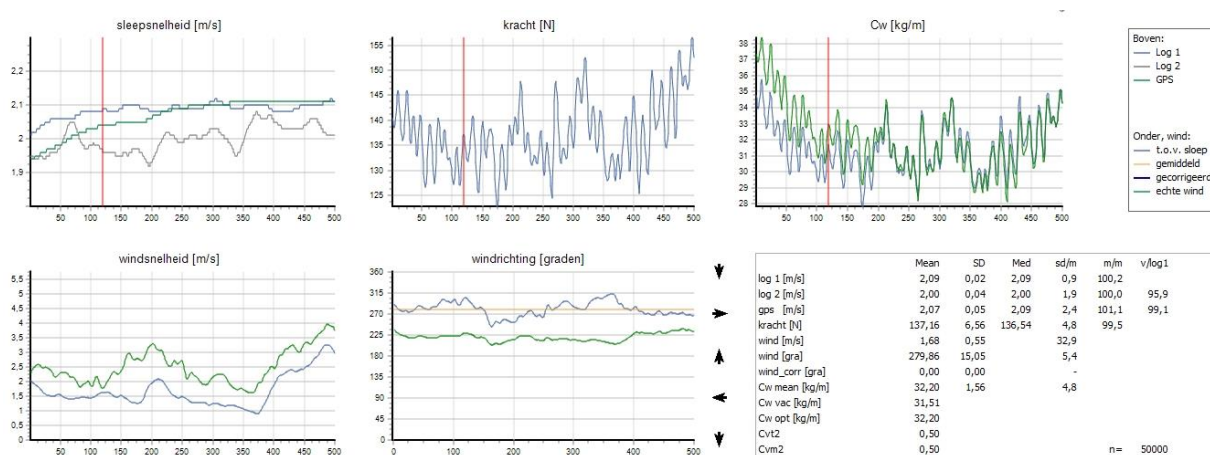
Als door toepassing van een schokdemper de schommeling sterk wordt verminderd dan zal de sleepkabel ook minder vaak en pas bij hardere wind en hogere golven af en toe slap komen te hangen. Daardoor zullen de sleepproeven minder snel moeten worden opgeschort.

3. Snelheids-afwijkingen tijdens een run

Het komt regelmatig voor dat aan het begin (meestal) of het eind de sleepsnelheid lager of hoger is dan gemiddeld. Als dat aan het begin is dan is dat omdat de meting al is begonnen voordat de vaarsnelheid stabiel was. Dit heeft flinke effecten op de berekeningen. Meestal is de trekkracht op de sleepkabel groter als de snelheid toeneemt. Dit geeft een onevenredig effect op de berekening. De oplossing kan worden gevonden door deze afwijkende stukken in de meting buiten beschouwing te laten. Dit is handwerk. Er moet bij elke run aan het verloop van de metingen worden beoordeeld of er een deel moet worden afgekapt. Dit moet aansluiten bij de andere redenen om af te kappen, waarbij de begin- en de eindwaarde hetzelfde worden gemaakt om het effect van grote uitslagen te neutraliseren.

Soms worden sterke trekkrachtafwijkingen gevonden zonder dat de snelheid veranderde. Dat is vermoedelijk het gevolg van het maken van een bocht door de sleepboot. Meestal wordt deze afwijking gevolgd door een afwijking naar de andere kant en wordt daarmee gecompenseerd zoals alle andere schommelingen worden geneutraliseerd. Als het aan het begin of eind gebeurt moet zo'n afwijking worden afgekapt.

Het voorbeeld hieronder heeft een licht oplopende snelheid in het begin (tot de rode lijn), met als gevolg een afnemende C_w . De C_w neemt tegen het eind ook weer toe als gevolg van een toename in de trekkracht. Dat zou het gevolg kunnen zijn van een stuurcorrectie van de sleepboot. De wind, die ook toeneemt (links onder), kan het niet zijn want er was alleen zijwind (midden onder).



4. Over de meting van de windrichting

Voor het berekenen van de luchtweerstand op de sloep wordt de windsnelheid én de windrichting gemeten ten opzichte van de sloep. Als de wind zuiver tegen is (de windhoek is dan 0 graden), dan is de windsnelheid ook de windsnelheid waarmee wordt gerekend; als de wind zuiver dwars is (90 of 270 graden) graden, dan is in de vaarrichting effectief windstilte en dus ook geen windweerstand.

Er is een rekenkundig probleem met de windrichting. Deze wordt in graden weergegeven, waarbij 0 hetzelfde betekent als 360. Dat betekent dat als de windrichting schommelt rond de 0 graden, de gemeten windrichting ook voortdurend van 0 naar 360 heen en weer springt. Als er even vaak net boven 0 als net onder 360 wordt gemeten, dan is het gemiddelde dus 180 graden. Dat is meewind in plaats van tegenwind, en dat leidt dus tot een verkeerde berekening van de invloed van de wind als met de gemiddelde windrichting wordt gerekend.

Gelukkig is hierin voorzien, door niet de windrichting te middelen, maar het de afzonderlijke meetwaarden te rekenen. Er wordt dus voor alle 50000 metingen per run éérst de mate van tegenwind berekend, door de cosinus van de windrichting te berekenen, en daarmee wordt gerekend. De berekende windweerstand wordt daarna pas gemiddeld en dan maakt het niet uit of de getalswaarde van de windhoek heen en weer springt, de waarde waarmee gerekend wordt blijft (ongeveer) hetzelfde : $\cos(360) = \cos(0) = 1$, $\cos(359) = \cos(361) = \cos(1) = \cos(-1) = 0,9998$, etc.

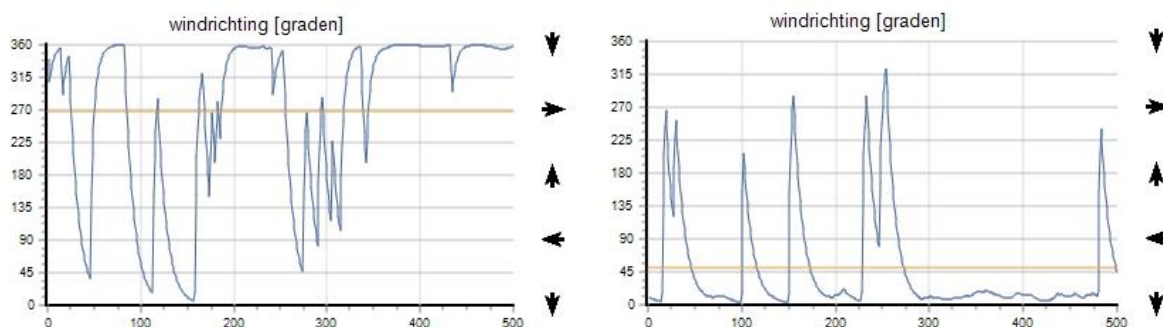
Hoewel schommeling van de windrichting rond 0 graden op zichzelf geen probleem is, is er echter toch een probleem uit onverwachte hoek.

De meetwaarden worden niet als zodanig opgeslagen, maar het voortschrijdend gemiddelde ervan. Hierbij wordt de gemeten waarde gemiddeld met een aantal waarden eraan voorafgaand. Dat wordt ook wel demping genoemd en wordt toegepast om springerigheid van het signaal te voorkomen: het bevordert de leesbaarheid van de waarde tijdens het meten.

Om de leesbaarheid op het beeldscherm tijdens het meten te bevorderen wordt het signaal gedempt. De meetwaarden worden niet als zodanig weergegeven, maar het voortschrijdend gemiddelde ervan. Hierbij wordt de gemeten waarde gemiddeld met een aantal waarden eraan voorafgaand. Dat vermindert de springerigheid van het signaal aanzienlijk.

Normaliter zou dat geen probleem moeten zijn, maar in dit geval gaat het fout omdat dat voortschrijdende gemiddelde ook wordt toegepast op waarden die tussen 360 en 0 heen en weer springen en dat de berekening van de windweerstand gebaseerd is op dat voortschrijdend gemiddelde in plaats van de originele metingen.

Hier een voorbeeld van een meting met precies tegenwind waarin het heel fout gaat:



in de linker figuur liggen de metingen net onder 360 graden, maar voortdurend schiet de windvaan voorbij de 0; de waarde zou dan meteen naar 0 moeten springen, maar doet dat niet. In plaats

daarvan verloopt de waarde geleidelijk. Zodra de waarde weer onder de 0 komt en dus weer naar 360 gaat, begint de waarde (opnieuw) geleidelijk op te lopen. In de rechter figuur gebeurt hetzelfde, maar dan met een waarde die meestal net boven de 0 ligt en af en toe naar 360 schiet.

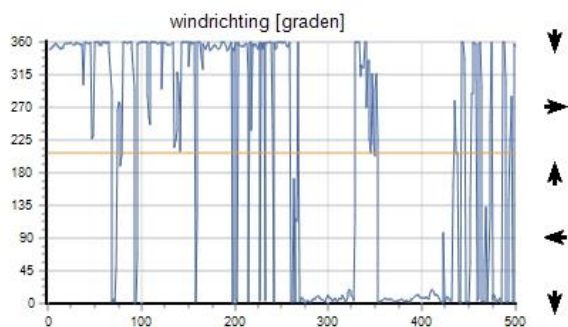
Alle waarden tijdens zo'n 'verloop' geven een verkeerde waarde voor windweerstand.

De oranje lijn is het gemiddelde, die wordt dus niet gebruikt gelukkig, maar geeft wel een indruk hoe vaak het fout gaat: in de linker figuur gaat het in grofweg de helft van de metingen echt fout en wordt met zijwind of meewind gerekend in plaats van tegenwind; in minstens nog eens een kwart wordt er met minder tegenwind gerekend dan er werkelijk was.

In omgekeerde vaarrichting met meewind gaat het goed:



Deze demping blijkt alleen toegepast te zijn sinds 2012. Ter vergelijking, een sleepproof uit 2010 waarbij ook sprake was van precies tegenwind:



De verspringing gaat hier veel sneller, maar ook hier liggen er nog waarden halverwege. Deze vormen In dit extreem springerige voorbeeld ligt toch nog 16% van de waarden tussen 20 en 340 graden (9% ligt tussen 90 en 270 graden, waarbij sprake is van meewind).

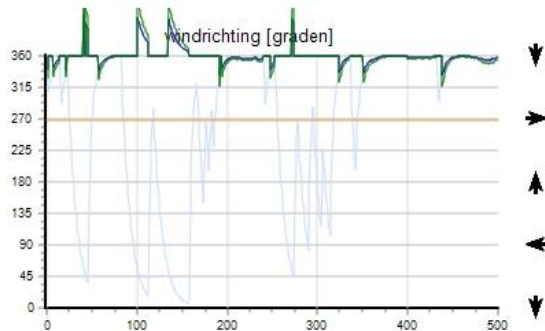
Oplossingen:

Er zijn twee oplossingen om dit probleem in het vervolg te vermijden:

1. Geen demping op het signaal toepassen dat wordt opgeslagen in de meetfile. Als de uitlezing van de monitor tijdens de sleepproof en gedempt signaal moet hebben, dan moet de demping alleen daarop worden toegepast. Dat kan nog wel een lichte afwijking geven, zoals in het voorbeeld uit 2010, maar dat is softwarematig eenvoudig weg te filteren door alle zeer snelle veranderingen te beschouwen als verspringing tussen 0 en 360 en om te zetten naar 0 [zie verbetering 4].
2. De schaal aanpassen bij tegenwind: -180 tot +180 in plaats van 0 tot 360. Dat moet dan waarschijnlijk steeds handmatig en bij elke keer wijzigen van vaarrichting worden aangepast en lijkt te omslachtig.

Voor de metingen met demping is ook een softwarematige oplossing gemaakt die het grootste deel van de afwijking weghaalt, door voor alle zeer snel veranderende waarden te veronderstellen dat de

windvaan daar van 0 naar 360 schiet of andersom. Daar wordt de waarde in 360 omgezet. Deze methode is niet perfect: de relatief langzaam veranderende laatste stukjes van een uitschieter kunnen niet worden aangepast, omdat anders 'normale schommelingen' ook verdwijnen. Hieronder een voorbeeld hoe de windrichting uit de eerste figuur kan worden gecorrigeerd. Deze correctie leidt tot een veel betrouwbaardere berekening van de windweerstand, maar is alleen nodig als oude gegevens (met demping) moeten worden her-berekend [zie verbetering 4b].



5. Over de snelheidsmeting

De problemen met de sleepproeven zijn, zoals al in de inleiding is gesteld, begonnen met de snelheidsmetingen die niet leken te kloppen. Op grond van vergelijkingen tussen de jaren heeft Floor Maitimo toen correcties voorgesteld voor de jaren 2009, 2010, en 2011. Uit de metingen in 2014 komen vergelijkbare waarden voor de sloepen die in deze jaren zijn gesleept na correctie. Daaruit kan worden geconcludeerd dat de correcties (gemiddeld) juist waren. Toch zit er ook daarin nog een flinke spreiding. Er moet dus worden geconcludeerd dat er méér aan de hand was. Uit de andere bevindingen van deze evaluatie blijkt een deel van die overige oorzaken te verklaren, maar niet alles.

Bij de opstarten van de sleepproeven in 2014 bleken er grote problemen met de loggers te zijn. Beide aanvankelijk geplaatste loggers bleken zeer instabiel en een verschillend signaal te geven. Ook verschilde het signaal duidelijk van de snelheid die de dGPS aangaf. Er is toen besloten twee andere loggers te gebruiken en die zijn 's nachts nog uit Rotterdam opgehaald. Het bleek dat één van deze wel een stabiel signaal gaf dat sterk overeenkwam met het dGPS signaal. Het andere gaf een systematisch lagere waarde en was als controle nauwelijks bruikbaar. De dGPS fungeerde als enige controle en dat is in principe genoeg, maar kwetsbaar.

Nu blijkt dat de log die is gebruikt voor de berekening uiteindelijk óók een systematische afwijking van de dGPS vertoonde van ongeveer 0,5% (te hoge snelheid). Dat lijkt niet veel, en het valt tijdens het uitvoeren van de slepen ook helemaal niet op, maar het resulteert in afwijkingen in de wedstrijduitslagen die bij de snellere sloepen op kan lopen tot 1,5 Watt lager vermogen. Bij langzamere sloepen is dat verschil kleiner.

In 2014 is steeds pas begonnen met meten als bleek dat de logger (min of meer) hetzelfde signaal gaf als de dGPS. In 2011 t/m 2013 was die mogelijkheid er niet omdat er alleen een gewone GPS aan boord was en het signaal daarvan te veel slingert voor een betrouwbare vergelijking. Vóór 2011 was de mogelijkheid er sowieso niet omdat er nog niet werd gemeten met GPS.

De *gemiddelde* snelheid gemeten met een gewone GPS is redelijk zuiver en een vergelijking tussen de gemiddelde GPS snelheid en de log in 2011 t/m 2013 is dus wel mogelijk. Het blijkt dat in 2011 de GPS gemiddeld ongeveer 6% hogere snelheid aangaf dan de logger waarop de berekening werd gebaseerd. Dat komt volkomen overeen met de schatting van Floor Maitimo die uitkwam op 6,0%.

In 2012 en 2013 waren de gemiddelden van de GPS-snelheid ongeveer gelijk aan de logger-snelheid. Dat komt ook overeen met de indruk dat die jaren de loggers wel de goede snelheid aangaven.

Omdat de juiste snelheid heel belangrijk is voor het vaststellen van een correcte Cw-waarde lijkt het wellicht beter om de berekening uiteindelijk te baseren op de dGPS-snelheid omdat die altijd zuiver is. Uit de metingen van 2014 blijkt echter dat er een traagheid in de stabiliteit van de dGPS zit die tot wel 10 seconden kan oplopen. Dat kan het effect van demping zijn, maar kan ook de traagheid van het GPS signaal zelf zijn. Een GPS kan hoogstens 1 x per seconde zijn positie berekenen en vermoedelijk meestal nog minder frequent.

Er is echter *nóg* een verschil tussen loggers en dGPS waar rekening mee moet worden gehouden!

Een belangrijk verschil tussen logger-snelheid en dGPS-snelheid is dat de loggers meten ten opzichte van het water en de dGPS ten opzichte van de bodem. Er wordt weliswaar op stilstaand water gesleept, maar door wind in de lengtelichting over het kanaal kan wel stuwings-stroming ontstaan die kan oplopen tot boven 0,1 m/s. Dat blijkt ook duidelijk uit de metingen waar de dGPS snelheid in de ene richting hoger was dan de logger-snelheid en in de andere richting lager. Door de snelheden in beide richtingen samen te middelen wordt dit verschil door stroming geneutraliseerd.

Oplossing:

Een tussenoplossing om de dGPS te gebruiken als ijking is om bij elke run de logger-waarde te corrigeren naar het gemiddelde verschil tussen dGPS en log. Deze ijking kan alleen worden toegepast op het gemiddelde verschil over alle runs samen [zie verbetering 2].

6. Rekenkundige optimalisatie

In de laatste stap van de berekening worden de omstroom-coëfficiënten voor luchtweerstand zodanig aangepast dat de punten zo dicht mogelijk bij de kromme liggen. De reden om dat te doen is door Floor Maitimo beschreven in zijn stuk dat op de website van de FSN is gepubliceerd.

Er is echter één veronderstelling die moet gelden: de berekening van de omstroom-coëfficiënten voor luchtweerstand is helemaal gebaseerd op het uitgangspunt dat dit de enig overgebleven onbekenden zijn.

Zoals hierboven is gebleken is dat niet het geval en dat leidt ertoe dat deze optimalisatie vrijwel altijd de maximaal mogelijk aanpassing geeft. Bij de meeste runs krijgen de omstroom-coëfficiënten voor luchtweerstand daardoor de waarde 0 of 1. Dat zijn eigenlijk onrealistische waarden, want deze coëfficiënten geven aan in welke mate de sloep in de wind gestroomlijnd is. Een omstroom-coëfficiënten met de waarde 1 betekent dat er helemaal geen stroomlijn is, alsof de sloep plat van voren is. Een waarde van 0 betekent eigenlijk dat er helemaal geen weerstand is. Waarden tussen 0,30 en 0,70 zijn realistischer.

De extreme aanpassingen komen tot stand omdat alle variatie in de metingen die nog niet was verklaard wordt toegeschreven aan onjuiste omstroom-coëfficiënten (standaard wordt begonnen met 0,5); terwijl er in werkelijkheid nog meer verklaringen zijn.

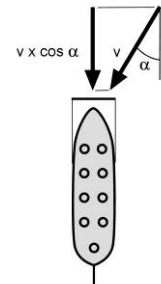
Het blijkt ook dat de aanpassingen van de omstroom-coëfficiënten alle andere correctie, zoals het afkappen van onregelmatige delen uit de meting, volledig teniet doet.

Het lijkt erop dat deze vorm van optimalisatie zijn doel voorbij schiet omdat het niet zozeer compenseert voor de werkelijk omstroomweerstand, maar voor alle resterende variatie; ook die volgens een geheel ander rekenkundig principe invloed hebben op het resultaat.

Oplossing: aanpassing van de omstroom-coëfficiënten beperken tot waarden tussen 0,30 en 0,70 en andere problemen op een meer daarop toegeruste manier oplossen [zie verbetering 6a].

7. Berekening weerstand door tegenwind (en meewind)

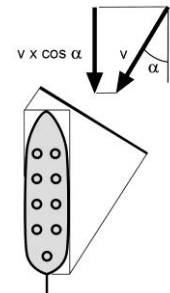
Bij bestudering van een aantal slepen met variërende windrichtingen, van recht tegen de wind in en schuine wind van voren, bleek dat de omstroom- coëfficiënten (zie vorige bevinding over rekenkundige optimalisatie) vooral hoge waarden kregen bij *schuine* tegenwind. De weerstand leek dan dus groter dan in eerste instantie werd berekend. Dat komt doordat de flank van de sloep bij schuine zijwind ook wind vangt en het weerstand-gevende oppervlak dus groter is. Daarnaast ontstaat een zijwaartse druk en daardoor zelfs de weerstand in het water kan toenemen. De tegenwind werd tot nu toe alleen berekend op basis van het oppervlakte op dwarsdoorsnede van de sloep (breedte x hoogte tov waterlijn +0,5 m² voor de voorste roeiers die de wind vangen) en het gedeelte van de wind dat recht van voren komt (windsnelheid x cos(windhoek)). De windhoek is de windrichting ten opzichte van recht tegen zoals die wordt gemeten op de sleeparm (0 = recht tegen).



In werkelijkheid is het effect van schuine tegenwind vaak groter dan rechte tegenwind, maar zou kleiner zijn op basis van deze berekening. Dit verschil werd in de optimalisatie verrekend, en leverde dus een kunstmatig hoge omstroom-coëfficiënten op die ook voor elke run anders moet zijn (wat ook inderdaad zo werd berekend). Een betere manier is het om de weerstand van de tegenwind te berekenen op basis van het oppervlakte van de sloep dwars op de windrichting. Daar moet dan ook de lengte van de sloep in worden meegenomen om het zijoppervlak te kunnen berekenen. Het licht overigens ook voor de hand dat de zijkant de wind beter geleid en dus minder weerstand geeft per m² oppervlakte.

Oplissing:

Het oppervlak dat wind vangt werd dwars op de sloep berekend als : hoogte x breedte +0,5. Als dat dwars op de windrichting moet worden, dan komt de windhoek erbij om de mate van waarin de sloep wind van voren vangt te berekenen: (hoogte x breedte +0,5) x cos (windhoek) , en daarnaast komt het zijoppervlak van de sloep erbij, ook weer met de windhoek: oppervlak = (hoogte x lengte +0,125 x aantal roeiers) x sin (windhoek). De zijkant geleidt de wind beter dan de voorkant waardoor die een eigen omstroomcoëfficiënt moet krijgen [zie verbetering 6b].

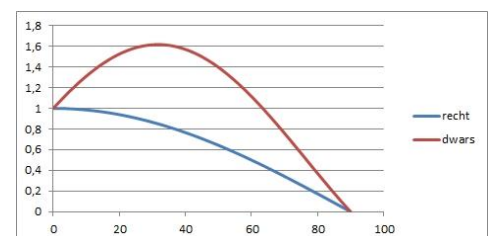


Software-aanpassing:

Deze aanpassing zou in de oude software lastig zijn. Daarin moest de oppervlakte op dwarsdoorsnee apart uit het sloepregister worden berekend en als aparte invoer voor de berekening worden opgegeven, als één getal. De nieuwe software leest zelf direct een bestand met alle maten uit het sloepregister, bijgewerkt met de metingen die vlak voor de sleep worden gedaan. Deze berekening kan daarom voor alle 50000 metingen afzonderlijk worden gedaan met de daarbij gemeten windrichting en windsnelheid zonder extra handelingen.

Testen:

Testen met een groot aantal slepen van verschillende sloepen wezen uit dat die dwars-omstroom-coëfficiënt ongeveer 0,2 moet zijn en dat de punten per sleep veel gemakkelijker op de kromme komen te liggen dan eerst. De invloed die de tegenwind dan heeft bij verschillende windhoeken is in de diagram weergegeven (rood, in blauw de oorspronkelijke berekening).



Optimalisatie van de omstroom-coëfficiënten voor tegen- en meewind (zie vorige punt) heeft dan nog maar weinig extra effect omdat de resterende variantie al bijna verdwenen is. Het blijkt zelfs dat de berekening om tot beter omstroom-coëfficiënten te komen, na deze schuine-wind berekening in een instabiel proces terecht komt; dat duidt erop dat er geen duidelijke richting is waarin optimalisatie mogelijk is. Er komt uiteindelijk ook nauwelijks een andere Cw uit.

8. Berekening van de waarde B.

Voor de berekening van de waarde voor B wordt de helling van de kromme door de meetpunten als uitgangspunt genomen. Omdat de echte snelheid-weerstandskromme in het meetgebied wat vlakker loopt dan de best passende hyperbool zullen ook meetwaarden bij de verschillende snelheden minder uit elkaar liggen dan verwacht en dus de helling relatief gering. Een kleinere helling levert een hogere B op. De echte weerstandskromme wordt dan binnen het meetbereik waarmee geroeid wordt beter benaderd.

Sommige sloepen worden aangemeld voor een roeisnelheid waarbij de echte kromme vrijwel vlak is in het meetgebied. Dat gebeurt met name bij sloepen die om te beginnen al een vrij hoge snelheid kunnen halen (licht, slank, lang), maar waarbij men juist een relatief lage snelheid opgeeft, zoals voor een onvolledige bezetting of voor een damesploeg. Dit leidt er soms toe dat een zeer onrealistische B-waarde (boven 10 m/s) wordt berekend. Normale waarden liggen op hoogstens 2 à 3 x de roeisnelheid.

Door de hierboven genoemde variatie in metingen komt het voor dat de helling die wordt berekend zelfs negatief is (dalende bij toenemende snelheid). In zo'n geval kan de B-waarde helemaal niet worden gevonden en stopt het Fortran programma (zowel CW4 als CW5) zonder resultaat.

De oplossing die wordt gekozen tijdens de sleepproeven als de B-waarde te hoog wordt of niet kan worden berekend, is dat er nog een keer wordt overgesleept, maar dan met 8 runs, waarbij de extra runs op roeisnelheid+20% worden gesleept. Er blijkt dan in de praktijk wel altijd een stijgende helling te worden gevonden (snelheid +20% geeft altijd voldoende méér weerstand).

Uit allerlei tests met het beïnvloeden van deze variatie (afkappen van onregelmatigheden, uitzonderen van complete runs) blijkt overigens dat de Cw-waarde bij de opgegeven roeisnelheid steeds ongeveer hetzelfde is bij sterk variërende A en B-waarden. Het is vooral de helling die varieert. Dat is voor de uitslagen bij races dus alleen van belang als men met een duidelijk andere snelheid blijkt te varen dan de opgegeven snelheid bij de sleepproef. Bij een lage B-waarde neemt de berekende Cw bij een hogere snelheid sneller toe dan bij een hoge B-waarde, en dus ook het berekende vermogen. Sloepen met een te lage B-waarde (door die extra run op +20%) én een te laag opgegeven roeisnelheid hebben daar dus (onterecht) voordeel bij in de uitslagberekening.

Discussie:

Slepen met altijd een extra run op roeisnelheid +20% lijkt op het eerste gezicht een oplossing. Niet alleen zorgt dat ervoor dat minder vaak een sleep overgedaan moet worden, maar het is ook betrouwbaarder voor het vaststellen van de B-waarde van alle andere sloepen.

Slepen op -10, 0, +10 en +20% betekent echter dat de roeisnelheid waarop wordt geijkt 5% hoger ligt dan men opgeeft, en dat is in alle gevallen discutabel, ook als noodmaatregel zoals die al werd toegepast. Dat kan eventueel worden verwerkt in de procedure:

1. De A-waarde zou altijd wel moeten worden berekend uit alleen de snelheden -10, 0 en +10%.

2. De B-waarde kunnen worden berekend uit alle runs, dus inclusief eventueel een run met +20%.

Dat maakt de procedure van de berekening echter wel complexer en ook langduriger (altijd 8 runs in plaats van 6).

Conclusie: er zitten te veel haken en ogen aan de extra runs met roeisnelheid +20%. Sterker nog: ze zouden helemaal niet moeten worden uitgevoerd [zie verbetering 7].

Mogelijke oplossing:

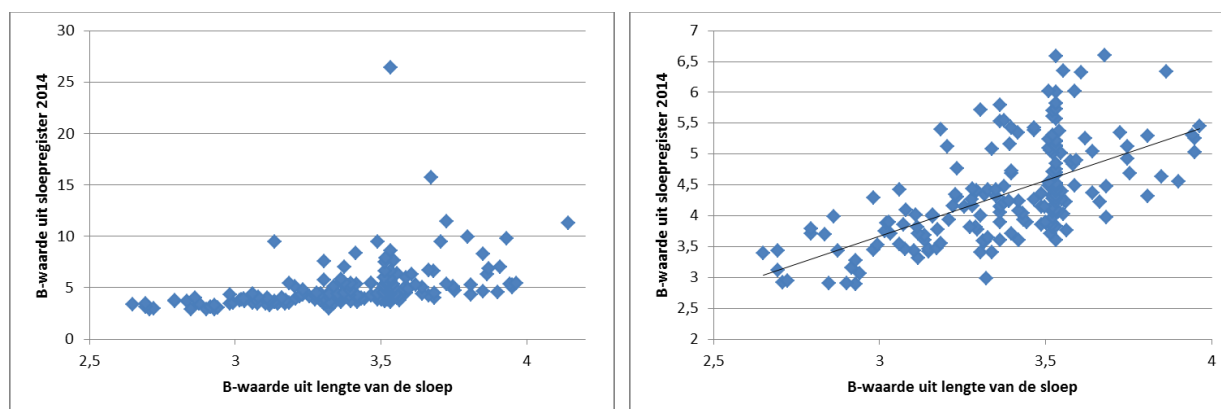
Er is een andere manier om de B-waarde vast te stellen: uit de lengte van de sloep. Die berekening is (vooral bij sloepen met een lage weerstand) veel betrouwbaarder omdat er niet hoeft te worden vertrouwd op het klein beetje helling in het deel van de kromme dat de minste helling vertoont.

De formule daarvoor is in principe: $B = \sqrt{\text{lengte} \cdot g / 2\pi}$ $\{g = 9,8 \text{ en } \pi = 3,14\}$

Met deze formule worden B-waarden verkregen die veel dichter bij elkaar liggen dan de huidige en gelijke B-waarden voor sloepen van gelijke lengte. De waarden liggen ook lager dan de huidige, tussen 3 (sloeplengte 6 m) en 4 (sloeplengte 10 m).

De formule geldt voor een ideale situatie en heeft in de praktijk nog een extra correctiefactor nodig. Dat komt doordat de echte kromme in het bereik van de roeisnelheid vlakker ligt dan een hyperbool met een aldus berekende B-waarde. Om dat te compenseren moet de B iets hoger liggen. Hoeveel dat is valt te benaderen door de huidige B-waarden te vergelijken met de berekende B-waarde. De uitschieters van de B-waarden naar boven kunne daarbij beter buiten beschouwing worden gelaten omdat deze vermoedelijk zo hoog zijn door de betrouwbaarheidsproblemen. Als we de hoogste 10% van de B-waarden negeren, dan is een relatief goed verband te vinden: de B-waarde die uit de lengte berekend is moet dan nog met 1,3 worden vermenigvuldigd om gemiddeld op de waarde te komen die in het sloepregister van 2014 is opgenomen.

In de figuur links zijn de waarden van alle sloepen opgenomen, in de figuur rechts exclusief de 10% hoogste waarden uit het sloepregister.



Discussie.

Het is heel goed mogelijk om de B-waarde op deze manier te berekenen in plaats van door de extrapolatie zoals die nu plaatsvindt. Dat levert bij ongeveer 10% van de sloepen een duidelijk betrouwbaardere B-waarde op en dus een betrouwbaardere berekening van de Cw-waarde bij snelheden die duidelijk afwijken van de opgegeven roeisnelheid.

De relatie tussen berekende B-waarde en de gemeten waarde vertoont echter ook bij de betrouwbaardere 90% toch flinke spreiding. Het is heel goed mogelijk dat dat veroorzaakt wordt door verschillende rompvormen en dus niet genegeerd mag worden.

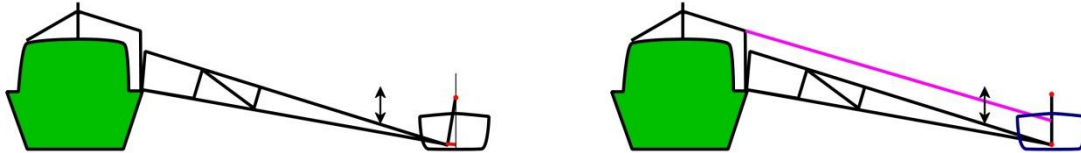
Conclusie:

Al met al lijkt het het beste om de B-waarde wel uit de sleepproef af te leiden, maar er een bovengrens aan te stellen op 2x of 3x de theoretisch berekende waarde; dat voorkomt ook absurd hoge waarden, maar voorkomt ook dat sloepen die écht een meer dan gemiddeld afgevlakte kromme hebben een te lage B-waarde krijgen [zie verbetering 6c].

De berekende B-waarde kan tijdens de beoordeling of een sleepproef goed is verlopen ook nog een belangrijke rol spelen: te grote afwijkingen wijzen op fouten bij de proef [zie verbetering 5b].

9. Recht sturen

De sleepproef wordt zo gestandaardiseerd mogelijk uitgevoerd. Daar hoort bij dat er recht gestuurd wordt. Er is een bakken boven het sleepoog waar de stuurman zich op kan richten om recht sturen mogelijk te maken. Tot 2014 bewoog dat bakken stug mee met de sleepboom als deze in hoogte versteld werd om de sleeplijn horizontaal te maken (figuur links). Het richtpunt kwam daardoor schuiner staan naarmate het sleepoog lager aan de sloep zat. Sinds 2014 wordt dat bakken rechtop gehouden door een parallellogram-constructie waardoor het zich altijd daadwerkelijk recht voor het sleepoog bevindt (figuur rechts). [verbetering 1a]



Er zijn sloepen met het sleepoog vlak boven de waterlijn. Het effect kan zijn geweest dat de stuurman bij dergelijke sloepen is misleid en systematisch scheef stuurde. Dat zou hogere Cw-waarden kunnen verklaren in eerdere jaren. De vraag is hoe groot dit effect is.

Op 7 maart is Dikkertje en op 8 maart is Zuyderzee bewust scheef gesleept als extra proef. De richting van sturen week daarbij op de sleepboom ongeveer 0,75 meter (schatting) af van de rechte lijn. Deze sleepproeven zijn op dezelfde manier berekend als de normale recht gestuurde sleepproeven, maar door de beperkte tijd die hiervoor was met slechts 3 runs in dezelfde richting. De berekende Cw-waarde bleek bij scheef slepen flink hoger te liggen. Bij Dikkertje was dat 10%, bij Zuyderzee zelfs 40% ! Dat grote verschil tussen beide sloepen is goed te verklaren. Dikkertje is een vrij zware plompe sloep terwijl de Zuyderzee veel slanker is met een steiler onderwaterschip. Dikkertje roept daarom bij dwars slepen minder extra weerstand op dan Zuyderzee.

In deze proef is extreem scheef gestuurd, maar er mag worden verondersteld dat er sleepproeven zijn gedaan waarbij tot wel 20-30 cm is scheef gestuurd. Het effect op de Cw komt dan vermoedelijk voor sommige sloepen in de buurt van 5-10%.

10. Trimmen

De sleepproef wordt zo gestandaardiseerd mogelijk uitgevoerd. Daarbij hoort een standaard gewicht van de bemanning, maar ook een evenredige verdeling van het gewicht van de bemanning over de sloep. De gangbare opvatting is dat door het gewicht meer voorin of achterin te leggen de weerstand wordt beïnvloed. Om die reden mag na de sleepproef de verdeling van het gewicht over de sloep niet meer worden veranderd. De vraag is echter hoe groot het effect van die gewichtsverdeling (trimmen) eigenlijk is.

Op 7 maart is Dikkertje en op 8 maart is Zuyderzee bewust met het gewicht zo veel mogelijk achterin gesleept als extra proef. Aan de ligging in het water van de sloepen was dit zeer duidelijk te zien. De Zuyderzee kwam daarbij aan de voorkant tot wel 20 cm uit het water en het roer stak evenzeer dieper.

Deze sleepproeven zijn op dezelfde manier berekend als de normale recht gestuurde sleepproeven, maar door de beperkte tijd die hiervoor was met slechts 3 runs in dezelfde richting. De berekende Cw-waarde bleek hierbij bij Dikkertje 5% lager en bij de Zuyderzee 7% hoger dan bij de normale runs. Dat het effect zo tegengesteld is, is zeer verwonderlijk en leidt tot de conclusie dat er meer proeven moeten worden gedaan om een beeld te krijgen wat er precies gebeurt. Overigens kan ook een rol

spelen dat slechts in één richting is geslept, waardoor de aftrek van de luchtweerstand niet goed te berekenen was.

De mate van uittrimmen is in deze proef extreem. Er zijn hier 4 roeiers over zeker 2 doften naar achteren verplaatst. Dat is grofweg 350 kilogram over bijna 3 meter, afgerond 1000 kgm. Dat komt overeen met het verplaatsen van 200 kg ballast over 5 meter afstand. Als er al wordt getrimd dan gebeurt dat waarschijnlijk met hoogstens met 10% daarvan. Het effect op de Cw komt dan in de buurt van 1%, althans als er een rechtlijnig verband is tussen de mate van trimmen en het effect op de weerstand.

11. Niet complete berekening direct na afloop.

Direct na afloop werd alleen een voorlopige berekening gedaan van de A en B-waarden met Cw-waarde bij de opgegeven roeisnelheid. Deze werd vergeleken met de waarden die in het sloepregister bekend waren. Verder werd gekeken of de 6 gemiddelden waaruit de kromme werd berekend niet te veel van deze kromme afweken. Er werd me een standaard dwarsoppervlak gerekend van 2,228 m². Later werden alle berekeningen opnieuw gedaan met de dwarsoppervlakte van de sloep zelf. Dat levert altijd een lichte aanpassing op.

Met de software die werd gebruikt was niet beter mogelijk omdat er maar één dwarsoppervlak kan worden ingevoerd en deze steeds eerst apart moest worden berekend. Dat was omslachtig. Verder werd alleen grafiek gemaakt met de kromme en de 6 gemiddelde waarden waaruit deze was uitgerekend. Er kon handmatig worden vergeleken met de Cw-waarde uit eerdere jaren. Het overbrengen van de resultaten naar het sloepregister was handwerk.

Het is beter om meteen met de echte dwarsoppervlakte van de sloep rekenen, dat maakt een betere vergelijking met eerdere jaren mogelijk en dus een betere afweging of deze overeenkomt. Dat is met de nieuwe software goed te doen omdat daarin de juist gemeten afmetingen van de sloep eenvoudig zijn in te voeren. Ook kan daar een exportfile worden gemaakt die meteen de juiste gegevens voor het sloepregister in de goed opmaak aanmaakt. [verbetering 5d en 5e]

12. Watertemperatuur tijdens het slepen

Verschillen tussen jaren kunnen optreden als de temperatuur van water verschilt. De sleepproeven worden in het voorjaar uitgevoerd en de watertemperatuur is dan bezig te stijgen van ca 5 graden naar ca 10 graden (gegevens Wetterskip Fryslân).

Omdat de weerstand in water volgens de wet Bernouille recht evenredig is met de dichtheid moet daar wellicht rekening mee worden gehouden. De dichtheid van water bij verschillende temperaturen is:

T (°C)	ρ (kg/m ³)
+20	998.2071
+15	999.1026
+10	999.7026
+4	999.9720
0	999.8395

bron:
Lide, D. R. (Ed.) (1990). CRC Handbook of Chemistry and Physics (70th Edn.). Boca Raton (FL):CRC Press

Hieruit blijkt dat de dichtheid van water bij 4 graden slechts 0,026 % zwaarder is dan water van 10 graden. Dat is veel te klein om een rol van betekenis te kunnen spelen.

Verbeteringsvoorstellen

Tussen [] staan verwijzing naar de bevindingen waarop deze voorstellen zijn gebaseerd.

1. Aanpassingen aan de sleepboom waardoor scheefsturen wordt voorkomen [bevinding 9]
 - a. In 2014 is reeds een aanpassing gemaakt waardoor het richtbaken altijd rechtop blijft en precies boven de sleepkabel staat en de stuur recht kan richten zonder de sleepkabel te hoeven zien
 - b. Er worden voelers geplaatst op de sleepboom die, zodra de sleepkabel scheef staat een lamp laat branden als waarschuwing voor de stuur
 - c. De windmeter ook met de constructie uit punt a overeind houden.
2. De snelheidsmetingen permanent ijken aan het dGPS signaal [bevinding 5]
 - a. Snelheid per sleep (6 runs) corrigeren met gemiddelde dGPS /log over alle runs samen (beide vaarrichtingen hierbij betrekken om eventuele waterstroming uit te middelen)
3. Mechanische demping van de sleepkabel inbouwen [bevinding 2]
 - a. Veer: risico op versterking resonantie, sterkte per sloep afstemming op gewicht ervan
 - b. Schokdemper: risico op daling van de krachtmeting (verwaarloosbaar?)
 - c. Testen tijdens eerstvolgende sleepweekend welke aanpassing optimaal is.
4. Geen demping van het signaal van de windrichting meer toepassen [bevinding 4]
 - a. Eventueel demping handhaven voor monitor, maar dan ongedempte signaal opslaan
 - b. Springerigheid van het windrichtingssignaal software-matig oplossen
5. Nieuwe software toepassen
 - a. De berekening identiek aan de oude software toepassen, maar met verbeteringen (zie hierna)
 - b. Betere en snellere (binnen enkele seconden) foutcontrole: veel meer inzicht in afwijkingen, groter aantal objectieve criteria om een run of een sleep af te keuren
 - Vergelijking mediaan met gemiddelde
 - Onregelmatigheden in de runs objectiveren
 - Verschil tussen berekende en theoretische B-waarde
 - Vergelijking met sleepresultaat uit voorgaande jaren inbouwen
 - c. Mogelijkheid tot herstel van fouten zonder de sleep over te hoeven doen (zie hierna)
 - d. Berekeningen meteen volledig uitvoeren [bevinding 11]
 - e. Resultaten meteen exporteren naar sloepregister [bevinding 11]
6. Berekening aanpassen
 - a. Optimalisatie voor omstroomweerstand beperken [bevinding 6]
 - b. Dwarswind bij tegenwind-berekening betrekken [bevinding 7]
 - c. B-waarde maximaliseren op 2 x de theoretisch berekende waarde [bevinding 8]
7. Altijd 6 runs (roeisnelheid, -10% en +10%; heen- en terugsleep); geen extra run maken met +20% [bevinding 8]
8. Wanneer een of meer runs worden afgekeurd, in principe alleen deze runs overdoen. Bij twijfel meerdere runs overdoen of 'moeilijke' dubbel uitvoeren [bevinding 12].
9. Filteren en combineren van runs (met nieuwe software mogelijk)
 - a. Delen van elke run waarin een afwijking is te constateren buitensluiten [bevinding 3]
 - b. Begin en/of eind van een meting afkappen tot waar begin- en eindwaarde gelijk zijn [bevinding 2]
 - c. Minimaal 20 seconden overhouden, anders de run afkeuren
 - d. Runs die zijn overgedaan combineren met die uit de eerste sleep tot een complete set van 6 correcte runs

Betrouwbaarheidstoets

De beste manier om de betrouwbaarheid van de meetmethode te testen is het meerdere keren herhalen ervan met dezelfde sloep onder dezelfde omstandigheden. Die test is mogelijk doordat er een aantal sloepen meerdere keren zijn gesleept. Van enkele zijn meerdere metingen gedaan die volgens de gehanteerde criteria als geslaagd werden beschouwd en dus direct met elkaar kunnen worden vergeleken. Andere sloepen zijn twee keer gesleept omdat de eerste sleep mislukt was. Zo'n mislukte sleepproef is echter niet helemaal onbruikbaar.

Er zijn ook een aantal sloepen gemaakt waarbij alleen de meetinstrumenten werden getest en er niet zo nauw werd gekeken of de proef zelf helemaal goed verliep. Deze zijn niet gebruikt in deze betrouwbaarheidstoets.

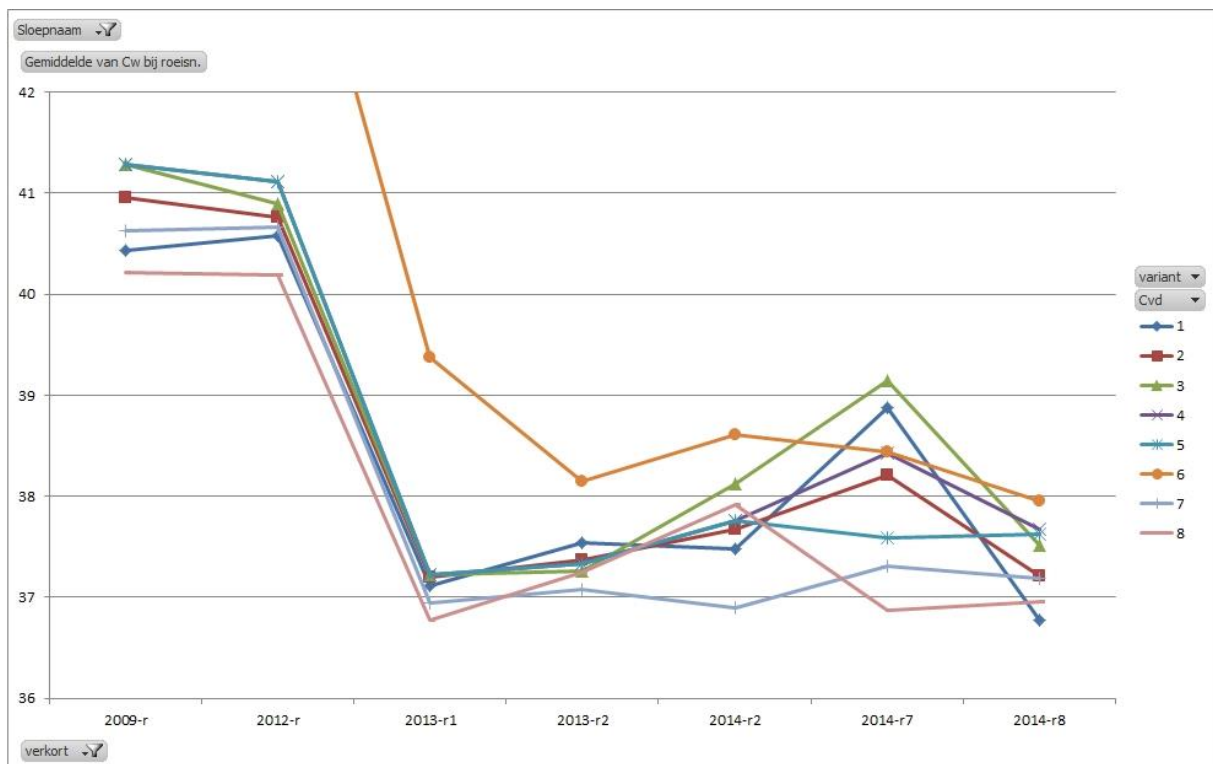
Er zijn ook een paar vergelijkingen gemaakt tussen sleepproeven in verschillende jaren, en allemaal op dezelfde manier berekend en met een Cw voor dezelfde roeisnelheid.

Razende Snol

De Razende Snol is in 2014 maar liefst 4 keer gesleept. De eerste keer zijn er diverse fouten gemaakt, waaronder één run met de verkeerde snelheid van sloepen. Er werd tijdens de eerste beoordeling al meteen geconcludeerd dat dat over moest. Die eerste sleep is daarom uit deze vergelijking weggelaten omdat er te veel mee mis was. Dan blijven er drie sloepen over die alle drie als normale sleep kunnen worden beschouwd en dus gelijke resultaten zouden moeten geven.

Verder zijn de data van 2009, 2012 en 2013 opnieuw doorgerekend en hiermee vergeleken.

Onderstaande figuur geeft de Cw bij een 8-tal verschillende combinaties van opties, allemaal bij dezelfde roeisnelheid (2,6 m/s).

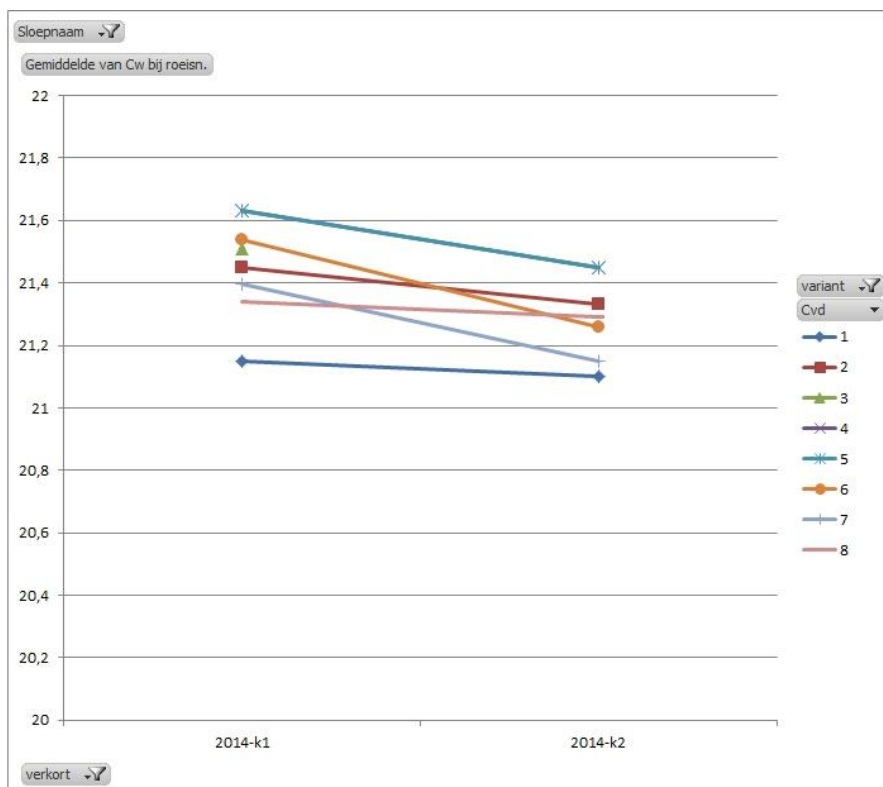


Het verschil tussen 2009 en 2012 is minimaal, maar 2013 en 2014 geeft een duidelijk lagere Cw, dat is het effect van aanpassingen aan de sloep.

Variante 1 is de manier zoals tot nu toe steeds is gewerkt. Wat opvalt is dat er tussen de sleepproeven in 2014 (2014-r2, 2014-r7, 2014-r8) wel erg veel verschil is.

Bij variant 2 is de optimalisatie voor omstroom-coëfficiënten beperkt en de herhaalbaarheid is meteen stuk groter. De meest constante combinatie van optie is bij variant 7. Dat is zonder optimalisatie voor omstroom-coëfficiënten, met verwijderen van onregelmatig begin of eind, met windvaancorrectie bij 0°, met dwarse tegenwindberekening. De tweede in constantie is variant 5, dat is als 7, maar dan met rechte tegenwindberekening. Correctie met dGPS (variant 6) erbij geeft ook een constante beeld, maar met een hogere Cw. De waarden voor 2012 en 2013 zijn bij deze variant minder betrouwbaar omdat met gewone GPS is gewerkt.

Kaag 1



Kaag 1 is over-gesleept met extra runs op 20% hogere snelheid omdat de B-waarde niet te berekenen was wegens een te vlak verloop van de Cw-kromme. De extra runs zijn bij deze vergelijking weggelaten en de B-waarde is berekend op basis van de lengte van de sloep x2. De Cw-waarde bij de roeisnelheid (2,6 m/s) blijkt bij alle opties goed herhaalbaar: maximaal 0,2 verschil. Het grootste verschil tussen de opties is tussen de oorspronkelijke manier van berekenen (variant 1) en die met alleen afkappen van onregelmatige delen en windvaancorrectie rond 0° (variant 5). Maar ook het beperken van de omstroom-optimalisatie (optie 2) levert al vrijwel dezelfde waarden op.

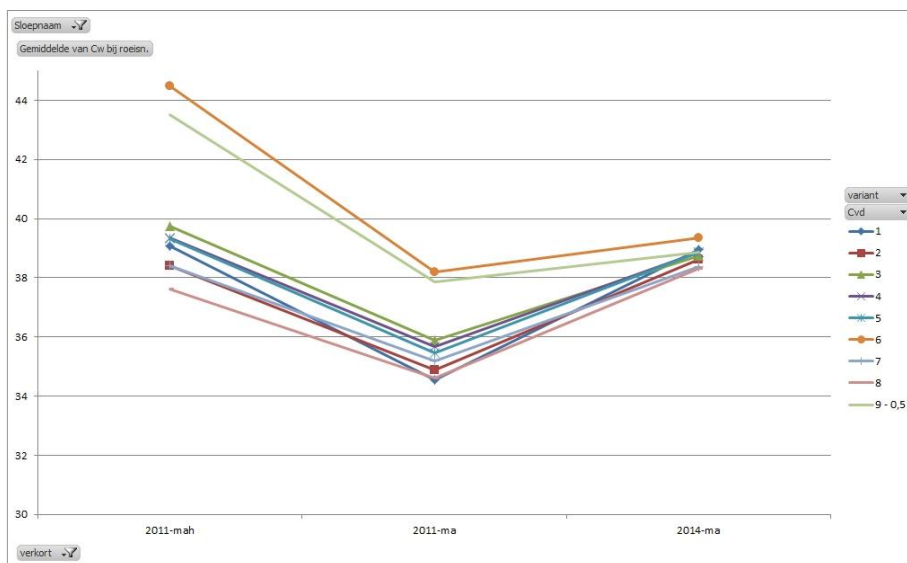
Mare Australis

Van de Mare Australis is in 2014 alleen een proef gedaan met dames, in 2011 ook met heren. In de figuur staan van links naar rechts de waarden voor heren 2011, dames 2011 en dames 2014. De berekeningen zijn hier gedaan met dezelfde roeisnelheid (2,1 m/s) Dat de de Cw-waarden voor heren zijn hoger dan voor dames komt doordat er bij de sleep met heren 8x 20 kg meer aan boord was. De sloep weegt leeg 777 kg, dus dat scheelt flink. Voor de berekeningen in 2011 is de gereconstrueerde correctie van 6% op de snelheidsmeting toegepast.

Het verschil tussen 2011 en 2014 voor de dames bij de standaard reken-methode is verontrustend hoog, maar ook alle andere varianten op twee na geven flinke verschillen. Bij de varianten 6 en 7 is de snelheid gecorrigeerd op basis van GPS en dan blijkt dat het verschil ineens helemaal niet zo groot is.

Dit is een van de voorbeelden waarbij de standaard correctie van 6% voor 2011 weliswaar gemiddeld correct is, maar er in sommige gevallen toch tot enkele procenten naast zit. Die had bij deze meting 3,9 % moeten zijn. Dit soort afwijkingen is bij nog een paar sloepen gevonden, soms ten nadele, soms te voordele van de sloep in de uitslag-berekeningen.

Het verschil tussen de andere varianten is niet zo groot, alleen een klein beetje in hoogte, variant 1 (de oorspronkelijke berekening met volledige optimalisatie voor omstroom-coëfficiënten) geeft een veel groter verschil tussen 2011 en 2014 dan de andere.



Conclusies

In het algemeen kan wel gesteld worden dat:

- De verschillen bij sommige combinaties van verbeteringen in de berekeningen duidelijk kleiner worden dan in de tot nu toe standaard gebruikte berekening.
- Herhalingsmetingen nooit helemaal precies hetzelfde resultaat geven, maar dat het verschil bij de optimale combinatie van verbeteringen hoogstens 2 % is, en meestal kleiner.
- De verbetering bij de ene sloep in een ander aspect zit dan bij de andere, bijvoorbeeld omdat de ene sloep bij geen enkele run exact tegen de wind in is gesleept en de andere wel, waardoor bij de eerste een windvaancorrectie geen verschil maakt en bij de tweede wel.
- De dGPS correctie voor de loggers veel betrouwbaarheidswinst geeft, direct gevolgd door het meenemen van het effect van dwarswind op de tegenwindberekening, en het niet meer volledig toepassen van de optimalisatie van de omstroom-coëfficiënten; beperking van de optimalisatie tot binnen zekere grenzen (0,3 – 0,7) is wel betrouwbaar, zeker in combinatie met andere verbeteringen.
- De verschillen waarschijnlijk nog kleiner worden als er meer goede, echte herhalingen worden uitgevoerd, zoals met de Razende Snol.

Bijlage 1. De handicap-berekening

Roeisloepen zijn allemaal verschillend qua vorm, lengte, gewicht, materiaal, onderwaterafwerking, glad of overnaads, aantal roeiers, locatie van de doften, roeren, etc. Dat leidt ertoe dat de sloepen heel verschillende snelheden bereiken bij een zelfde inspanning van de roeiers. Ondanks deze verschillen worden er toch wedstrijden gehouden.

Om een zo eerlijk mogelijke uitslag te bepalen worden de prestaties met elkaar vergeleken door de eigenschappen van de sloepen te verrekenen met de bereikte snelheid. De berekening leidt tot een prestatie die wordt uitgedrukt als het vermogen (in Watt) per roeier. De bemanning met het hoogste gemiddelde vermogen heeft de beste prestatie geleverd en wint de wedstrijd.

Om dat vermogen (P) te berekenen worden drie gegevens gebruikt: de gemiddelde vaarsnelheid in de wedstrijd (v), de sloepweerstand bij die vaarsnelheid (Cw) en het aantal roeiers in de sloep (n).

$$P = v^3 * Cw / n$$

De roeisnelheid wordt berekend door de roeiafstand van de wedstrijd te delen door de roeitijd van de ploeg:

$$v = \text{roeitijd} / \text{afstand}$$

Dat de roeisnelheid tot de derde macht wordt gebruikt komt door de volgende fysische wetten:

$$P = v * F \quad \text{Vermogen is snelheid keer kracht (basiswet)}$$

$$F = v^2 * r \quad \text{Kracht is snelheid in het kwadraat keer weerstand (uit de stromingsleer)}$$

De kracht in de tweede formule wordt ingevuld in de eerste.

Het aantal roeiers in een wedstrijd is eveneens duidelijk. Het derde gegeven, de vaarweerstand bij de roeisnelheid (Cw), is de moeilijkst te bepalen grootte.

Weerstand

De weerstand is snelheidsafhankelijk omdat bij toenemende snelheid de sloep steeds meer golfweerstand ondervindt, dat is de weerstand door de boegwolf die langs de sloep ontstaat. Deze toename is exponentieel; bij een bepaalde snelheid, de rompsnelheid, wordt deze weerstand zo snel groter dat snelheidsverhoging nauwelijks meer mogelijk is.

Bij lagere snelheid wordt de weerstand voornamelijk bepaald door de frictie. Dat is de weerstand die ontstaat doordat de sloep bij beweging water verplaatst. Naarmate een sloep zwaarder is, is de waterverplaatsing groter en daarmee ook de weerstand. Ook de dichtheid van het water (zout water heeft een hogere dichtheid van zoet water) en de temperatuur (water heeft zijn hoogste dichtheid bij 4 °C) heeft invloed op de weerstand die frictie oproept.

Het verband tussen de snelheid en de weerstand is complex en laat zich in theorie pas redelijk goed beschrijven met een zevende-graads polynoom-functie (hierna 'echte' kromme genoemd). In de praktijk volstaat echter een benadering met een gewone (tweede-graads) hyperbool-functie, zolang deze functie wordt toegepast op het snelheidstraject waarmee daadwerkelijk wordt geroeid.

$$Cw = A / (1 - (v / B)^2)$$

waarbij: v is snelheid, A en B zijn sloep-specifieke constanten.

De waarden A en B zijn voor elke sloep in het sloepregister vastgelegd, evenals een 'standaard' waarde voor Cw. Dat is de waarde die geldt voor de, eveneens vermelde, roeisnelheid waarbij de A en B-waarden zijn vastgesteld in de sleepproef.

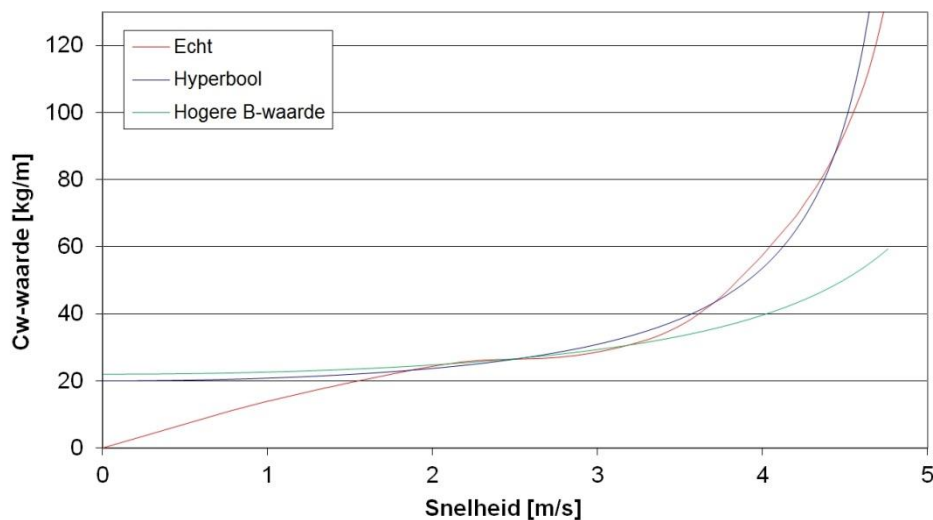
Voor de uitslagberekening van een wedstrijd wordt dus eerst de weerstandcoëfficiënt (Cw) berekend uit de gerealiseerde snelheid (v) en de vaste waarde A en B die voor de sloep gelden. Daarna wordt

het vermogen berekend uit de zelfde snelheid, in het kwadraat, de zojuist berekende C_w en het aantal roeiers.

Hyperbool en 'echte' kromme

Een hyperbool die het gehele gebied van 0 tot 5 m/s beschrijft en zo dicht mogelijk bij de echte curve komt is meestal steiler dan de echte kromme in het snelheidsbereik waarin daadwerkelijk wordt geroeid. Daarom wordt de kromme zo berekend dat de steilheid in het meetgebied overeenkomt; dat leidt tot een hogere B-waarde, maar maakt de benadering buiten het meetgebied ongeschikt.

In onderstaande figuur zijn de drie krommen weergegeven (de 'echte' kromme is een schets).



De waarde van A (C_w bij snelheid =0) wordt vooral bepaald door de frictie-weerstand die vooral afhankelijk is van de hoeveelheid waterverplaatsing en dus van het gewicht van de sloep. Behalve het volume van de waterverplaatsing wordt weerstand ook bepaald door de weg die het water aflegt. Een sloep met een slanke vorm geleidt het water met veel minder energieverlies rond de romp en geeft daardoor minder weerstand. Ook de gladheid van de romp speelt een rol: een gladdere romp roept minder wervelingen op waardoor het water dichters langs de romp kan stromen en geeft daarom minder weerstand. Over de mate waarin deze verschillende factoren een rol spelen is veel discussie en onduidelijkheid.

De waarde van B (snelheid waarbij C_w oneindig groot wordt) wordt bepaald door de rompsnelheid van de sloep. Omdat deze weerstand vooral wordt veroorzaakt door de boegwolk die ontstaat langs de gehele lengte van de sloep, is de rompsnelheid vooral afhankelijk van de lengte van de sloep.

De waarden voor A en B zijn sloep-specifiek en worden voor windstil weer vastgesteld, in zoet water van een temperatuur tussen 4 en 10 graden. Als er geroeid wordt op zout water of bij hogere temperatuur gelden de A en B waarden dus niet meer, maar de afwijkingen hebben dan op alle sloepen hetzelfde effect en beïnvloed de volgorde van de uitslag niet.

Wind en golfslag

Wind en golfslag worden niet meegenomen in de berekening van de weerstand. Tegenwind levert behalve waterweerstand ook meer luchtweerstand en dat leidt tot lagere roeisnelheid. Omdat alleen de waterweerstand wordt meegenomen kan dat in de uitslagberekening tot een aanzienlijk lager vermogen leiden. Sommige sloepen hebben meer last van tegenwind dan andere, maar training in het omgaan met wind en golven kan minstens zo veel invloed hebben op de prestatie!

Stroming

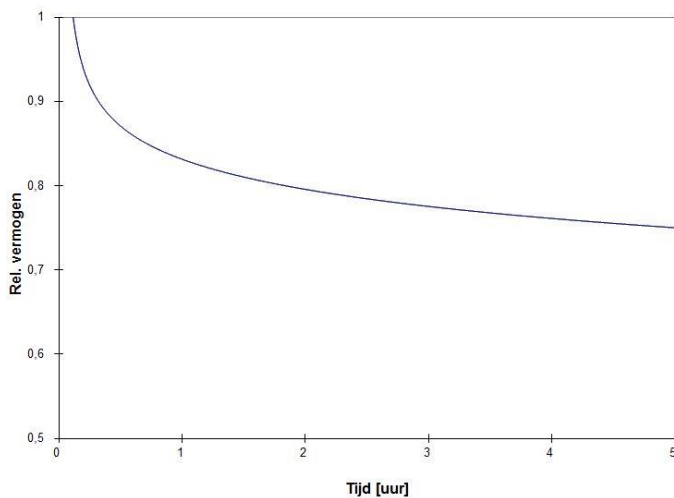
Stroming zit ook niet in de handicap-berekening, maar wordt bij wedstrijden waarbij die stroming varieert tijdens de wedstrijd (zoals op het Wad) wél verrekend. Dat gebeurt door voor iedere sloep de afgelegde afstand ten opzichte van het water vast te stellen. De afstand die het water aflegde in dezelfde tijd als er geroeid werd wordt van de roeiafstand afgetrokken (of opgeteld bij tegenstroom). Daarvoor is het nodig de stroming te meten op een aantal strategische punten en daarmee de stroomsnelheid voor elk moment en op elke plek in de route te berekenen. De stroomsnelheden kunnen ook uit een voorspellingsmodel van Rijkswaterstaat worden betrokken, maar dat zijn gemiddelden en zijn minder betrouwbaar.

In werkelijkheid kan de sloep echter veel meer voordeel van stroming krijgen door slim te sturen. Dat voordeel wordt als onderdeel van de prestatie beschouwd.

Uitputtingscorrectie

Er is nog één extra factor die wordt gebruikt in de uitslagberekening, en dat is een correctie voor uitputting. Roeiers van een sloep die een relatief hoge snelheid kan bereiken hoeven hun inspanning minder lang vol te houden dan roeiers van sloepen die langzamer varen bij dezelfde inspanning. Dat betekent dat ze bij hetzelfde vermogen toch een geringere prestatie leveren, omdat ze het minder lang hoeven vol te houden.

Uit de sportfysica is van een aantal duursporten redelijk goed bekend hoe het geleverde vermogen van sporters afneemt naarmate ze hun inspanning langer volhouden. Voor het sloeproeien is dat nooit gemeten, maar er is wel een ijkkurve afgeleid uit ijkkurven die geldt voor vergelijkbare sporten (zoals wielrennen).



In deze curve is te zien dat het vermogen na zo'n 10 minuten snel daalt en dat gaat nog een half uur zo door, maar na een tijdje wordt de daling snel minder. Na 2 uur is het relatief vermogen nog 79,6% en na 3 uur 77,5%. De hier gegeven figuur is overigens een benadering die in het eerste deel (half uur) niet geldig is, maar de berekening wordt voor zulke korte roeitijden ook niet gebruikt.

Voor elke sloep wordt de uitputting gedeeld door de uitputting van de snelste sloep en dat levert een correctiefactor op voor het eerder berekende vermogen. Concreet voorbeeld: als de snelste sloep na 2 uur al binnen was, krijgt een sloep die 3 uur onderweg is geweest er $79,6/77,5 = 2,7\%$ vermogen bij.

Bijlage 2. De sleepproef

Met een sleepproef wordt de waarden A en B van de sloep vastgesteld. Deze zijn geldig voor een gegeven aantal roeiers, dames óf heren, en voor een gangbare roeisnelheid.

In theorie kan de C_w worden vastgesteld aan de hand van de afmetingen, de vorm en het gewicht van de sloep, maar dat is een bijzonder ingewikkelde en niet al te betrouwbare methode. In de zeilsport wordt dit weltoegepast, maar dan wel binnen een groot aantal regels waaraan de romp tenminste moet voldoen. De boten zijn in principe dus allemaal min of meer gelijk. Het blijkt dan dat binnen die regels met allerlei ingrepen de weerstand verlaagd kan worden. Het slim uittrimmen van de boot is dan onderdeel van de 'prestatie'. Door de grote verschillen tussen de sloepen is een dergelijke benadering eigenlijk onmogelijk eerlijk te maken, dus is er gekozen om de weerstand van elke sloep vast te stellen door deze echt te meten met een sleepproef.

Om die vaarweerstand te kunnen bepalen moet elke sloep met de roeibezetting op de doften in de juiste range van de roeisnelheid worden gesleept. Die range is de roeisnelheid van de sloep (kan per ploeg verschillen) plus of min 10%. De roeisnelheid van een ploeg in een sloep moet door de ploeg zelf worden bepaald.

De waarden voor A en B worden voor standaardomstandigheden vastgesteld. Dat betekent:

- windstil weer
- geen golven of stroming
- standaard gewicht voor bemanning (heren 95 kg/roeier, dames 75 kg/roeier)
- lege sloep, schoon onderwaterschip

De feitelijke luchtweerstand tijdens de sleepproef ligt anders als het waait. De extra luchtweerstand door wind wordt berekend uit het dwarsoppervlak van de sloep (grootste breedte x boeghoogte + 0,5 m² voor de roeiers), de gemeten windsnelheid en windrichting, en een standaard weerstandscoefficiënt voor lucht. Deze luchtweerstand wordt afgetrokken van de echt gemeten weerstand (of bijgeteld bij wind-mee) en vervolgens wordt er weer de luchtweerstand bij windstil weer bij opgeteld.

Opstelling

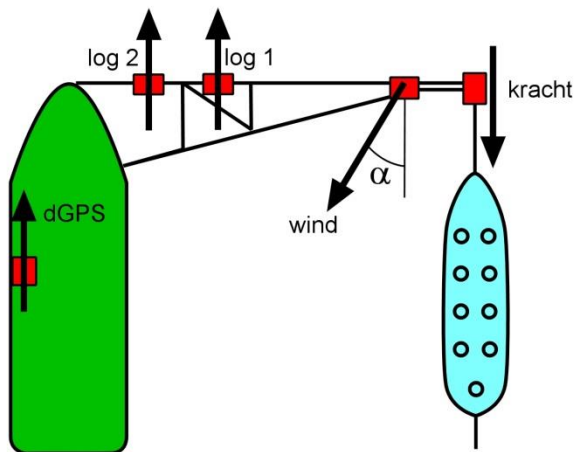
Er wordt gesleept met een motorschip waarop een sleepboom is gemonteerd die het slepen naast het motorschip mogelijk maakt. Naast het schip slepen voorkomt dat de golven en stroming die het schip veroorzaakt invloed hebben op de metingen.

De sleepboom is in hoogte verstelbaar om de kabel waaraan gesleept wordt horizontaal te kunnen stellen, afhankelijk van de hoogte boven water van het sleepoog aan de sloep. Horizontaal slepen is nodig om verticale krachten te vermijden.

Er zitten aan de sleepboom verschillende meetinstrumenten:

- een krachtopnemer die de trekkracht van de sleeplijn meet
- twee loggers die de snelheid ten opzichte van het water meten
- een windvaan die de windrichting meet
- een cup-windsnelheidsmeter

Aan bord van het schip is verder een dGPS aanwezig voor snelheidsmeting t.o.v. de bodem



Log 1 en 2

De loggers zijn gemonteerd op enige afstand van elkaar, voldoende ver van het schip om buiten de invloed van eventuele werveling te komen en steken enkele decimeters diep.

Tot 2011 werden mechanische loggers met een propeller gebruikt, sinds 2012 worden loggers gebruikt zonder bewegende onderdelen die zijn gebaseerd op het meten van het Doppler effect. De loggers zijn vooraf geijkt, maar worden in tweevoud gebruikt om de betrouwbaarheid te controleren. De berekeningen worden gebaseerd op log1. Als log2 meer dan 0,01 m/s afwijkt wordt de opstelling herzien.

GPS / dGPS

Een GPS (Global Positioning System) -ontvanger is een instrument dat een nauwkeurige positie op aarde berekent aan de hand van signalen die worden uitgezonden door satellieten. Door herhaaldelijk te meten en te vergelijken met het tijdsverloop wordt de snelheid berekend. Het verschil tussen GPS en dGPS is de nauwkeurigheid van meten. Een GPS die niet beweegt geeft toch een beweging aan in willekeurige richtingen met snelheid die kan oplopen tot wel 0,2 m/s. Deze onnauwkeurigheid wordt veroorzaakt door onvoorspelbare storing van het satelliet signaal in de ionosfeer. dGPS corrigeert voor die storing doordat het ook een signaal krijgt van een vast GPS-station in de buurt dat, omdat het 'weet' dat het niet beweegt, terugrekent wat de afwijking is. Een dGPS is daardoor minstens 10 keer, vaak tot wel 100 keer zo nauwkeurig. Beide berekenen hoogstens 1 x per seconde hun positie en dus ook de snelheid van bewegen.

In de jaren 2011-2013 werd GPS gebruikt als extra snelheidscontrole. Vanaf 2014 wordt dGPS gebruikt. Er is een voorstel om dGPS in het vervolg te gebruiken voor continue ijking van log1.

Krachtopnemer

De krachtopnemer is een piezo-electrische drukmeter volgens hetzelfde principe als een elektronische weegschaal. Deze wordt eenvoudig dagelijks of vaker indien nodig geijkt door er een bekend gewicht aan te hangen.

Windmeting

Op de sleepboom is een gecombineerde windvaan met draaiende cup-windmeter gemonteerd. De windrichting is 0 bij zuivere tegenwind. De windsnelheid en windrichting worden gemeten op de varende constructie zodat deze de waarden hebben zoals ze worden ervaren tijdens de sleepproof.

Bemanning

Er wordt niet met het eigen team in de sloep gesleept, maar met een zorgvuldig samengestelde groep mensen die gemiddeld 95 kg (heren) of 75 kg (dames) wegen en die zo verdeeld worden over de roeibanken dat het zwaartepunt precies in het midden tussen de roeiers komt te liggen.

De sloepen stellen daarvoor hun roeiers tijdens het slepen beschikbaar aan de persoon die de selectie maakt. Alle roeiers worden daartoe gewogen met de kleren aan zoals ze die dragen tijdens het slepen (dus inclusief dikke winterjassen indien nodig).

Als het niet lukt een groep samen stellen met het juiste gewicht dan wordt dat met losse gewichten aangevuld.

De bemanning zit op de plek waar normaal geroeid wordt ne beweegt tijdens het slepen niet.

Als stuurman wordt een lid van de sleepcommissie aangewezen.

Er wordt eventueel gesleept met een afwijkend aantal roeiers, bijvoorbeeld 8 in en sloep 10 dollen.

Dat levert een sloepregister-vermelding op met A en B waarden die gelden voor een wedstrijd waarbij met dat afwijkende aantal roeiers wordt geroeid. Er wordt dan tevens vermeld op welke bank geen roeiers zitten en de sloepregister-vermelding is alleen geldig als tijdens de wedstrijd daadwerkelijk op deze bank geen roeiers zitten.

Slepen met dames of met heren worden als aparte proeven beschouwd en geven ook afzonderlijke sloepregister-vermeldingen op.

Sleepsnelheid

Elke sloep bepaalt van te voren bij welke snelheid de sleepproef wordt uitgevoerd. Dat is in principe de snelheid waarmee men denkt een wedstrijd daadwerkelijk te kunnen roeien. Meestal is dat gebaseerd op ervaring van vorige jaren.

Er wordt gesleept op de opgegeven snelheid en met 10% langzamer en 10% sneller.

[Vanaf 2015:] Als blijkt dat het slepen een Cw-waarde geeft die onrealistisch is, dan wordt de sleep afgekeurd en wordt opnieuw gesleept bij een realistische snelheid. Onrealistische is bijvoorbeeld een snelheid die een Cw oplevert die leidt tot een berekend vermogen van meer dan 100 Watt.

Runs

Er worden 6 meetreeksen opgenomen. De eerste drie bij 90%, 100% en 110% van de opgegeven snelheid in de één richting, daarna drie met dezelfde snelheden in de tegengestelde richting.

Bij elke run wordt gedurende 50 seconden elke milliseconde van elk meetinstrument een meetwaarde opgeslagen.

Eerste analyse

Direct na de laatste meting worden de metingen beoordeeld. Er wordt gekeken

- of er geen storingen waren
- of de resultaten betrouwbaar lijken
- of de berekende Cw niet te veel afwijkt van die van een eerder keer, of van een vergelijkbare sloep als de sloep nog nooit eerder is gesleept
- of de berekende Cw weliswaar afwijkt van een eerder keer, of van een vergelijkbare sloep; maar dat dat te verklaren is uit (ver)ander(d) lengte en gewicht.

Als tenminste één van deze controles reden is voor twijfels, dan wordt de sleep nog een keer over gedaan en wordt de betrouwbaarste van de twee (of eventueel drie) slepen gebruikt voor de definitieve berekening.

De sloep wacht na afloop van de sleep op deze beoordeling op goedkeuring voordat ze afgekoppeld wordt en een volgende sloep aangekoppeld.

Opmetingen en keuring

Voordat de sloep te water wordt gelaten voor de sleepproef wordt beoordeeld of de sloep aan alle eisen voldoet en wordt de sloep opgemeten en gewogen. Beoordeeld wordt of de sloep schoon en leeg is, met een normaal schoongemaakt onderwaterschip en zonder afwijkende onderdelen.

Eventueel wordt de sloep alsnog schoongemaakt en worden losse onderdelen verwijderd.

De hoogte wordt gemeten ten opzichte van de waterlijn, de breedte wordt gemeten in het midden op dolhoogte en de lengte wordt over de grootste afstand in het midden gemeten, exclusief roer.

Het leeg gewicht (ook exclusief riemen) wordt gemeten met elektronische unsters aan de kraan tijdens het te water laten.

De resultaten worden vergeleken met de die van een vorig keer. Bij sterke afwijkingen wordt eventueel opnieuw gemeten. De meetgegevens worden doorgegeven aan de mensen die de eerste beoordeling van de sleepproef maken, direct na het slepen.