

Sleepproef

Roelf Pot, februari 2017

Met een sleepproef wordt de C_w -kromme van de sloep vastgesteld. Deze is geldig voor de bemanning en voor de roeisnelheid (+/-10%) waarmee gesleept is. De sleepproef wordt georganiseerd door de sleep- en keurcommissie (SKC) met hulp van een groot aantal vrijwilligers.

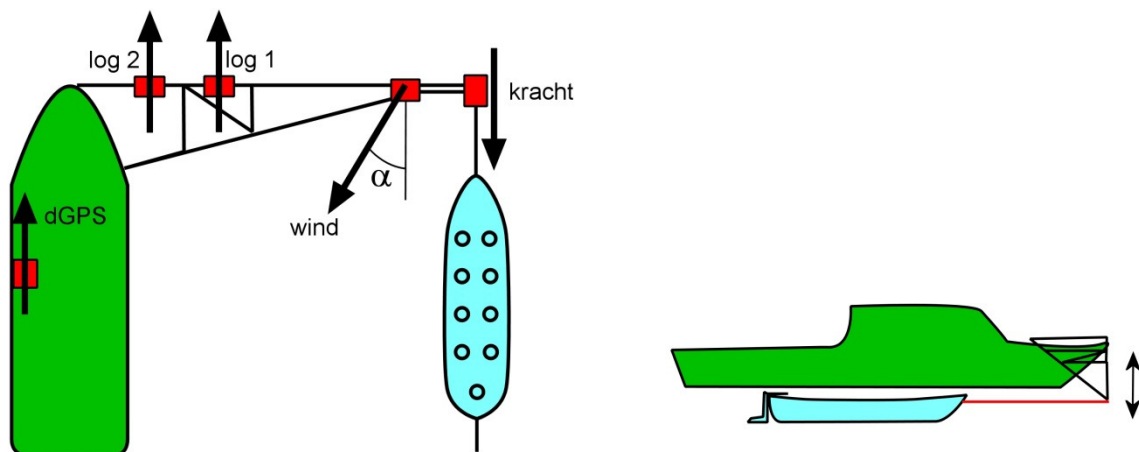
Opstelling

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.

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



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.

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 (even diep als de gemiddelde sloep).

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 een snelheid die kan oplopen tot wel 0,2 m/s. Deze onnauwkeurigheid wordt veroorzaakt door onvoorspelbare storing van het satelliet signaal. Differential GPS (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 voor 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 wordt in graden gemeten, daarbij is 0 graden zuivere tegenwind. De windsnelheid en windrichting worden gemeten op de varende constructie zodat deze de waarden hebben zoals ze worden ervaren tijdens de sleepproef.

Sleepsnelheid

Elke sloep geeft bij aanmelding aan bij welke snelheid de sleepproef moet worden 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. De SKC toetst de opgegeven snelheid aan de hand van bekende gegevens en kan daarvan afwijken, in overleg met de contactpersoon voor de sloep, als de opgegeven snelheid niet realistisch wordt geacht. Als er geen sleepsnelheid wordt opgegeven dan stelt de SKC een sleepsnelheid vast aan de hand van bekende gegevens.

In principe wordt een opgegeven snelheid realistisch geacht als daarvoor, op basis van de bekende Cw-kromme of die van een vergelijkbare sloep, een vermogen van tussen 70 en 90 Watt nodig is (Heren) of tussen 40 en 55 Watt (Dames). Een hogere snelheid wordt naar beneden bijgesteld. Een lagere snelheid wordt naar boven bijgesteld als de sloep het afgelopen jaar ook daadwerkelijk sneller heeft geroeid.

Een lagere snelheid wordt wel geaccepteerd als de sloep het afgelopen jaar deze snelheid in werkelijkheid heeft geroeid en de contactpersoon duidelijk maakt dat de komende jaren ook geen hogere snelheid mag worden verwacht.

Een verbouwing van de sloep waardoor een lagere of hogere snelheid mag worden verwacht kan ook een reden zijn om de opgegeven snelheid te accepteren.

Als bij het slepen blijkt dat de opgegeven snelheid niet realistisch is, dan wordt de sleep afgekeurd en wordt opnieuw gesleept bij een realistische snelheid.

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

Bemanning

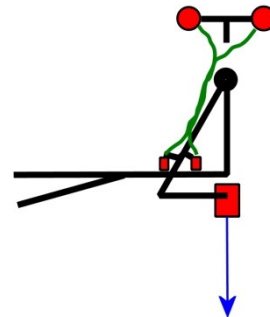
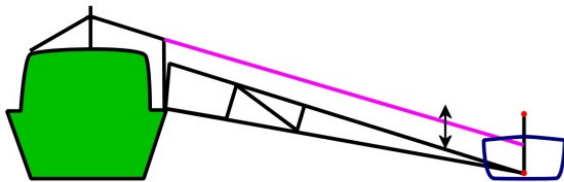
Er wordt niet *per sé* met het eigen team in de sloep gesleept, maar met een zorgvuldig samengestelde groep mensen die gemiddeld 95 kg (heren) of 75 kg (dames) wegen en die zo verdeeld worden over de doften (roeibanen) dat het zwaartepunt ligt waar het ook zou liggen als alle bemanningsleden even zwaar zouden zijn. De sloepen stellen daarvoor hun roeiers tijdens het slepen beschikbaar. De SKC stelt de selectie samen en wijst daarbij een neutrale stuurman aan. Alle bemanningsleden worden gewogen met de kleren 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 en beweegt tijdens het slepen niet. Verder is het juiste aantal riemen en dollen aan boord, maar is alle losse of los te maken uitrusting (emmers, fenders, anker, lijnen) afwezig. Eventueel worden één of meer riemen uit de sloep gehaald om een te hoog gewicht aan bemanning te compenseren.

Er kan eventueel worden gesleept met een afwijkend aantal roeiers, bijvoorbeeld 8 in een sloep met 5 doften. Dat levert een sloepregister-vermelding op die geldig is voor een wedstrijd waarbij met dat afwijkende aantal roeiers wordt geroeid. Er wordt dan in het sloepregister vermeld op welke doft geen roeiers zitten; de Cw-kromme is alleen geldig als op deze doft geen roeiers zitten.

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. Sinds 2014 wordt dat bakken recht op gehouden door een parallellogram-constructie waardoor het zich altijd daadwerkelijk recht voor het sleepoog bevindt. Sinds 2015 zijn er bovendien schakelaars gemonteerd die de richting van de sleeplijn meten. Zodra de sleeplijn niet haaks is gaat één van beide verklikkerlampjes naast het bakken branden. Dat is een signaal om bij te sturen. Als de verklikkerlampjes te vaak of te langdurig branden wordt er opnieuw gesleept.



6 Runs

Er worden 6 meetreeksen opgenomen. De eerste drie bij 90%, 100% en 110% van de opgegeven snelheid in 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 beoordeling

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-kromme niet te veel afwijkt van die van een eerdere keer, of van een vergelijkbare sloep als de sloep nog nooit eerder is gesleept

- of de berekende Cw-kromme weliswaar afwijkt van een eerdere keer, of van een vergelijkbare sloep; maar dat dat te verklaren is uit (ver)ander(d) lengte en gewicht.
- of de daadwerkelijk vaarsnelheid niet te veel afwijkt van de beoogde snelheid (er is geen mogelijkheid om de boot op 'cruise-controle' te zetten)
- of de variatie in de metingen niet te groot is (standaard-deviatie < 10% van de meetwaarde)
- of eventueel afknippen van begin en eind van de metingen voldoende soelaas biedt

Als tenminste één van deze controles reden is voor twijfels, dan worden één of meer runs van de sloep, eventueel alle runs, nog een keer over gedaan en worden de betrouwbaarste zes runs gebruikt voor de definitieve berekening.

De sloep wacht na afloop van de sloep op deze eerste beoordeling. Pas na goedkeuring wordt de sloep 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 (beter) schoongemaakt, hoewel de mogelijkheden daarvoor ter plaatse beperkt zijn, en worden losse onderdelen verwijderd, behalve dollen en riemen. Dit wordt door de bemanning zelf gedaan op aanwijzing van de SKC.

De hoogte van de boeg wordt gemeten ten opzichte van de waterlijn, de breedte wordt gemeten in het midden op dolhoogte en de lengte wordt zowel op de waterlijn als over de grootste afstand in het midden gemeten, exclusief roer. Daarnaast worden de afstanden van alle doften vanaf de boeg gemeten en het roer wordt uitgebreid afzonderlijk opgemeten.

Er worden fotos gemaakt van de sloep en ook van het roer afzonderlijk.

Het leeg gewicht (maar inclusief dollen en riemen) wordt gemeten met elektronische unsters aan de kraan tijdens het te water laten en opnieuw na afloop van de sleepproef.

Eenmaal in het water wordt [vanaf 2017] ook nog het vrijboord gemeten op het laagste punt van het boord boven water alsmede het vrijboord bij de boeg en de achtersteven.

Alle meetresultaten worden vergeleken met die van een vorig keer. Bij sterke afwijkingen wordt eventueel opnieuw gemeten. Als het gewicht na afloop veel hoger is dan bij het te water laten volgt inspectie naar de oorzaak. Als de sloep lekt blijkt te zijn kan dat een reden zijn de sloep af te keuren.

De lengte op de waterlijn, maximum breedte, boeghoogte en gewicht worden in het sloepregister vermeld, maar ook meteen doorgegeven uitvoerders van de sleepproef. De drie lengtematen spelen een rol bij het vaststellen van de windweerstand. Het gewicht wordt bij de eerste beoordeling vergeleken met die van de vorige keer als de nieuwe Cw-kromme afwijkt van die van de vorige keer.

Alle meetgegevens worden gebruikt bij controles die steekproefsgewijs worden uitgevoerd bij wedstrijden. Deze controles zijn bedoeld om vast te stellen of er geen ontoelaatbare wijzingen aan de sloep zijn aangebracht die van invloed zouden kunnen zijn op de Cw-kromme, zoals geregeld in het technisch reglement van de FSN. Het gewicht is daarbij een belangrijk controlemiddel, maar ook de maten en fotos van het roer en de afstanden van de doften kunnen worden geraadpleegd bij controles. Sinds 2017 kunnen ook de vrijboordhoogtes worden gebruikt voor controle van het gewicht en de gewichtsverdeling over de lengte van de sloep.

Berekening Cw-kromme

Uit de kracht die op de sleeplijn wordt uitgeoefend (F), en de snelheid die door de loggers wordt gemeten (v) wordt de bruto Cw berekend.

$$C_w = F / v^2 \quad [\text{weerstand is kracht gedeeld door snelheid in het kwadraat (stromingsleer)}]$$

Deze berekening wordt voor alle 300.000 metingen (6 runs x 50 seconden x 1000 metingen per seconde) apart uitgevoerd.

Ijking snelheid

De snelheid (v) wordt geijkt aan de snelheid die door de dGPS wordt gemeten. Het is niet mogelijk om de dGPS-snelheid direct te gebruiken omdat:

1. de snelheid door de dGPS slechts een keer per seconde berekend wordt omdat de positiebepaling ook niet vaker kan worden uitgevoerd.
2. de dGPS de absolute snelheid meet, niet de snelheid in het water; het water kan aan het oppervlakte licht stromen als de wind in de lengte over het kanaal waait, er is dan een tegenstroom over de bodem.

Daarom wordt de gemiddelde snelheid over alle runs van de loggers met de gemiddelde snelheid van de dGPS vergeleken, de verhouding tussen die twee wordt gebruikt als ijking in de Cw-berekeningen.

$$y = \underline{v} \text{ (dGPS)} / \underline{v} \text{ (log)}$$

$$C_w = F / (v * y)^2$$

Deze ijking wordt vanaf 2015 uitgevoerd, maar is ook gebruikt bij de herberekening van de sleepproeven van 2014 (dat jaar was er voor het eerst dGPS aan boord).

In de praktijk blijkt dat de ijkingfactor tussen 0,98 en 1,02 te liggen. De dGPS meting is verreweg de nauwkeurigste van de twee; de meting van de log blijken tot enkele procenten afwijking te geven en die schommelt in de loop van de dag voortdurend.

Wind

In de bruto Cw zit ook een deel weerstand die wordt veroorzaakt door beweging door de lucht. Omdat de dichtheid van lucht bijna 1000 keer zo gering is als water is deze weerstand verwaarloosbaar. Dat verandert als de lucht beweegt. Ook voor luchtweerstand geldt dat deze kwadratisch toeneemt met de snelheid en als het flink waait is er dus wél een relevante luchtweerstand. Dat kan niet eenvoudig worden uitgemiddeld door heen en terug te varen vanwege dat zelfde kwadratisch verband tussen weerstand en snelheid. De weerstand in lucht wordt berekend op basis van de gemeten windsnelheid, de windrichting en het oppervlakte van de sloep dat wind vangt. Na correctie voor windweerstand moeten de berekeningen bij heen- en terugvaren wel ongeveer hetzelfde resultaat geven. Als dat niet lukt is er een reden om opnieuw te slepen.

De uiteindelijke Cw wordt berekend voor stilstaande lucht door de totale berekende weerstand voor lucht ervan af te trekken en de weerstand voor stilstaande lucht er weer bij op te tellen.

$$C_v = \text{luchtweerstand bij heersende wind} - \text{luchtweerstand in stilstaande lucht}$$

$$C_w = F / (v * y)^2 - C_v$$

Hoe die luchtweerstand wordt berekend wordt uitgelegd in de bijlage.

Berekening kromme

Eerst worden de gemiddelde snelheid en de gemiddelde Cw voor elke run berekend (50.000 metingen). Dat levert dus 6 Cw-waarden op voor 6 snelheden. Er zit enige meetvariatie in de metingen binnen een run, in een grafiek ziet dat eruit als een puntenwolk. Als de variatie te groot wordt moet de sleep over worden gedaan of er moeten delen uit worden geschrapt (zie knippen). De mate van variatie wordt vastgesteld door de standaarddeviatie te berekenen.

Door deze 6 punten wordt een kromme berekend volgens het model van de hyperbool met de kleinste kwadratenmethode. Dat betekent dat het verschil tussen de berekende Cw en de Cw volgens de kromme zo klein mogelijk wordt gemaakt, door de som van de 6 kwadraten van die verschillen zo klein mogelijk te maken. Dat levert de best passende kromme door die 6 punten op. Des te beter de punten op de kromme liggen des te kleiner is dus de kwadratensom. Een te grote resterende kwadratensom kan een reden zijn de sleep af te keuren en opnieuw te slepen.

De manier waarop die kromme wordt berekend is wiskundig wat ingewikkelder en wordt in de bijlage uitgewerkt.

Knippen

Tot en met 2014 werd de berekening steeds gebaseerd op alle metingen van alle instrumenten gedurende 6 keer 50 seconden. Vanaf 2015 worden stukjes uit de metingen die storingen vertonen echter verwijderd: het begin of het eind wordt er afgeknipt. Ook de berekeningen van de slepen uit 2014 zijn op deze manier begin 2015 opnieuw berekend, waarbij ook de ijking met metingen van de dGPS zijn meegenomen.

Redenen op te knippen zijn:

1. De sleepsnelheid stijgt of daalt meer dan 0,1 m/s
2. De trekkracht op de sleepkabel vertoont een onverklaarbare piek (meestal door stuurcorrectie)
3. Er was een plotselinge windvlaag

Er wordt altijd zodanig geknipt dat het resterende stuk aan begin en eind een gelijke snelheid, een gelijke trekkracht en min of meer gelijke windsnelheid heeft.

Als er daardoor niet minimaal 30 seconden stabiele meting overblijft wordt de run opnieuw gesleept.

(bijlagen nog uitwerken, grotendeels te ontleen aan eerder stukken van Floor uit 2012; aangevuld met beschrijving en screenshots van de gebruikte software)