

Sloeproetechniek

Factoren die tijdens een haalcyclus van belang zijn.

Katwijk, 21 september 2009

Floor Maitimo

?



Inleiding.

In een recent verleden is er op de FSN-site een WORD document gezet over Sloeprroeitechniek.

Ook dit onderliggende WORD document gaat over Sloeprroeitechniek. Het gaat in op de wiskundige en natuurkundige principes die de beschrijving van een haalcyclus bepalen. Daaruit kunnen conclusies worden getrokken over de sloeprroeitechniek die het beste gebruikt kan worden om de beschikbare energie zo optimaal mogelijk te benutten.

Daarnaast wordt gebruik gemaakt van fysiologische principes. Fysiologie is de wetenschap die zich bezig houdt met het functioneren van het menselijk lichaam.

Ook deze fysiologische aspecten zullen worden betrokken bij de keuze van de juiste sloeprroeitechniek.

De niet-wiskundigen zullen hier en daar wel wat formules tegenkomen. Daar kun je omheen lezen (overslaan), want verderop in de tekst heb ik geprobeerd om in simpele bewoordingen uit te leggen wat de formules betekenen. En als dat nog te lastig is, dan kun je altijd nog alleen de overall conclusies in hoofdstuk 9 lezen.

In de tekst worden veel symbolen gebruikt. Zodra er een nieuw symbool wordt gebruikt, wordt de betekenis daarvan uitgelegd. Om symbolen snel terug te kunnen vinden staat er op de laatste pagina een verklarende symbolenlijst.

Gebruikte referenties.

- [1] The Physics and Physiology of rowing faster: The stroke.
Stephen Seiler
<http://home.hia.no/~stephens/ppstroke.htm>
- [2] Presentatie over sloeprroeien.
Floor Maitimo
www.federatiesloeprroeien.nl

Inhoudsopgave.

1.	Geschiedenis	4
2.	Beschrijving van het bootgedrag tijdens een haalcyclus	5
3.	Natuurkundige principes en wetten die van belang zijn	6
3.1.	Het begrip ‘impuls’	6
3.2.	De wet van Bernouilli	8
4.	Factoren die de roeisnelheid beïnvloeden	9
4.1.	Kracht	9
4.2.	Techniek	12
4.3.	Conditie	15
4.4.	Mentaliteit	15
5.	Fysiologische aspecten van het roeien	15
6.	Relaties tussen slagtempo, riemlengte, bootsnelheid en krachten op de bladen	17
7.	Factoren die de snelheidsvariatie bepalen en het mini-interval effect	19
8.	Beschrijving van de software en de resultaten er van	21
8.1.	Beschrijving van de software	21
8.2.	Resultaat van de berekeningen	22
8.3.	Verificatie van theoretische afleidingen	23
9.	Overall conclusies	31
10.	Gebruikte symbolen en hun betekenis	32

1. Geschiedenis.

In 2002 is een nieuw handicap systeem voor het sloeproeien ingevoerd. In het nieuwe handicap systeem wordt uitgegaan van in ieder geval een tweetal totaal andere uitgangsprincipes dan in het voorgaande systeem.

- In de eerste plaats wordt er voortaan ‘gesleept op snelheid’, wat betekent dat de sloepweerstand in een snelheidsgebied van plus en min 10% van de roeisnelheid wordt bepaald. Voorheen werden **alle** sloepen bij dezelfde snelheid van 2.3 m/sec gesleept. Nu is geen sloeproeier meer die er aan twijfelt dat de Cw-waarde van een sloep snelheidsafhankelijk is. Dat hebben alle nieuwe sloepproeven intussen wel genoegzaam bewezen. Voorheen kon je daarom geluk hebben met de sleperij, namelijk als je roeisnelheid lager was dan de 2.3 m/s (dan kreeg je een te hoge Cw-waarde) of pech als je roeisnelheid (veel) hoger was dan 2.3 m/sec (dan kreeg je een te lage Cw-waarde).
- In de tweede plaats is in 2002 ingevoerd dat de uitslag bepaald wordt door het geleverde **vermogen** per roeier, terwijl dat in het voorgaande systeem de geleverde **arbeid** per roeier was. Er zijn, denk ik, nu nog maar weinig roeiers die er aan twijfelen dat vermogen het juiste criterium is.

Vooraf door deze twee criteria eindigden voorheen vooral die sloepen hoog, die een roeisnelheid hadden van rond de 2.3 m/sec en die er in wedstrijden langer over roeiden. Snellere sloepen waren benadeeld, in de eerste plaats doordat de Cw-waarde werd bepaald verder van hun roeisnelheid en in de tweede plaats door het arbeids criterium. Arbeid is het geleverde vermogen vermenigvuldigd met de inspanningsduur (=roeitijd). Als in twee sloepen, een langzame en een snelle, bemanningen zaten die het zelfde vermogen leverden, dan won altijd de langzaamste sloep. Gewoon omdat ze door hun langere roeitijd meer arbeid leverden. In het huidige systeem zouden beide sloepen gelijk zijn geëindigd.

De uitslagen van toen hebben veel bemanningen van sloepen met een hoge weerstand op het verkeerde been gezet. Zij dachten namelijk altijd dat zij de betere roeiers waren. Met de eerste uitslagen van het nieuwe handicapsysteem bleek dat er ineens een mix van langzame en snelle sloepen boven in de uitslagen stonden. Dat kon volgens een aantal roeiers van langzame sloepen maar een ding betekenen: het nieuwe handicapsysteem klopte van geen kant.

Een van hen heeft toen een student van de Universiteit van Groningen benaderd en gevraagd wat hij van het nieuwe handicapsysteem vond. Die kwam op de proppen met het ‘mini-interval’ effect dat in het nadeel zou zijn van alle langzame, zware sloepen en in het voordeel van de snelle sloepen. Het is bekend dat intervallen in een wedstrijd (stukje snel, stukje langzamer) ongunstig is voor de uitslag. Dat kost meer energie dan dat er met de gemiddelde snelheid zou zijn gevaren. Of anders gezegd, als de echt verbruikte energie was gebruikt om met een constante snelheid te varen, dan was er een hogere gemiddelde snelheid uitgekomen dan door het intervallen.

Wat is nu het ‘mini-interval’ effect? Het is duidelijk dat tijdens de haal de snelheid van de sloep varieert. Daar is nu eenmaal niets aan te doen. Je kunt uitrekenen wat tijdens een haal voor een bepaalde snelheidsvariatie het echte verbruikte vermogen is ten opzichte van het vermogen berekend met behulp van de gemiddelde snelheid. De student ging voortvarend aan de slag en toonde aan dat door dit ‘mini-interval’ effect de langzame zware sloepen duidelijk werden benadeeld. Koren op de molen van de sloeproeier die commentaar had gevraagd uiteraard. Echter het uitgangspunt van de student was dat iedere sloep tijdens de haal een snelheidsvariatie van plus en min 10% heeft en hij hield helemaal geen rekening met de massa van de sloep (traagheidseffecten). Dit vroeg uiteraard om een reactie mijnerzijds omdat zijn conclusies een bom leken te leggen onder het nieuwe handicapsysteem. Overigens tornde de student niet aan de twee nieuwe uitgangspunten: sloepen op snelheid en rekenen met geleverd vermogen per roeier.

Omdat ik vanwege mijn beroep dagelijks te maken heb met (theoretische) mechanica aspecten, wist ik dat de uitgangspunten van de student onjuist waren. In de eerste plaats is voor sloepen de snelheidsvariatie tijdens een haal geen 10% en in de tweede plaats is die ook nog eens massa afhankelijk. (Vergelijk met het traagheidseffect van een vlieg wiel).

Ik heb toen eerst met woorden zijn beweringen weerlegd en om niet te verzanden in welles-nietes discussies, heb ik naderhand de wiskundige vergelijkingen opgesteld die de natuurkundige processen tijdens een haalcyclus beschrijven en die vervolgens numeriek met de computer opgelost. Daarmee is toen aangetoond dat het mini-interval effect helemaal niet nadelig is voor de langzame sloepen en gunstig voor de snelle sloepen. Integendeel,

de verschillen per sloep in echt geleverd vermogen en vermogen berekend uit de gemiddelde snelheid bleken net als de uitslagen: een mix van langzame en snelle sloepen.

Recent heb ik deze software weer opgepakt, verbeterd en uitgebreid. De resultaten daarvan worden in het vervolg van dit artikel gepresenteerd en gebruikt om te onderzoeken wat de invloed van de verschillende factoren is op de sloepsnelheid en verbruikte energie.

Uiteraard is het heel interessant om te weten of het mogelijk is om dit 'mini-interval' effect te beperken door een juiste keuze van roeitechniek. In dat geval prijkt op de uitslag een hogere score, omdat het berekende vermogen dicht bij het echte geleverde vermogen komt te liggen.

2. Beschrijving van het bootgedrag tijdens een haalcyclus.

Wanneer een sloep vanuit stilstand start, dan zal hij in de eerste slagen per slag steeds sneller gaan. Op een gegeven moment treedt er echter een 'steady state' situatie op. De snelheid van de sloep aan het begin van de haal is dan precies gelijk aan de snelheid aan het einde van de haalcyclus (=begin van nieuwe haalcyclus). Met de steady state situatie is er een evenwichtssituatie ontstaan. Evenwicht in de zin van energieën dan. De bemanning levert per haalcyclus precies evenveel energie als de hoeveelheid energie die de sloepweerstand 'opslokt'. De bemanning moet die energie echter wel in een kortere tijd leveren en kan die energie alleen leveren zolang de bladen van de riemen in het water zitten. Alleen tijdens het 'halen' van de haalcyclus levert de bemanning dus energie, niet tijdens het 'oprijden' (riemen uit het water). De sloepweerstand heeft daar geen last van. Die werkt gedurende de hele haalcyclus en zal dus de sloep continu afremmen. En toch zijn de beide energieën gelijk, alleen worden ze op een ander moment geleverd. Het gevolg is dat tijdens de 'haal' de sloep zal versnellen en tijdens het 'oprijden' vertragen, maar wel zo dat voor een haalcyclus de beginsnelheid gelijk is aan de eindsnelheid. Met andere woorden de bootsnelheid varieert tijdens de haalcyclus.

Wanneer we een sloep met bemanning beschouwen, dan moeten we rekening houden met 3 zwaartepunten. Die van de boot zelf, die van de bemanning en die van het hele samenstel. Het roeien is een cyclisch gebeuren. Wanneer één hele cyclus is geanalyseerd, dan kunnen daaruit conclusies worden getrokken voor het hele roeigebeuren bij die snelheid. Wanneer we de beschouwing van één cyclus starten op het moment dat de bemanning klaar zit om te halen, dan heeft het hele samenstel de laagste snelheid. Op dat moment zit de bemanning t.o.v. de boot heel even stil en dus is de snelheid van het samenstel (het totale zwaartepunt) gelijk aan die van de bemanning en die van de boot. Op dat moment ondervindt het samenstel alleen maar de waterweerstand en zal dus worden afgeremd.

Zodra er 'gehaald' wordt, ondervindt het totale zwaartepunt een uitwendige stuwkracht: de reactiekracht van het water op de riemen en het totale zwaartepunt zal versnellen. Aan het einde van de haal is deze stuwkracht weg en werkt er alleen nog maar de (toegenomen) weerstandskracht van het water. Het totale zwaartepunt zal dus gaan vertragen. Echter, het totale zwaartepunt is de resultante van de samenstellende zwaartepunten van bemanning en boot. En die twee bewegen t.o.v. elkaar. Het is goed om hierbij te benadrukken dat de weerstandskracht van het water gerelateerd is aan de snelheid van de boot t.o.v. het water. Omdat de twee samenstellende zwaartepunten t.o.v. elkaar bewegen zal het volgende gebeuren. Tijdens de haal bewegen de roeiers t.o.v. de boot naar voren. Hun zwaartepunt zal daarom meer versnellen dan het totale zwaartepunt en dat van de boot minder dan van het totale zwaartepunt. Aan het einde van de haal zit de bemanning weer even stil t.o.v. de boot en hebben alle drie de zwaartepunten weer dezelfde snelheid. Daarna 'rijdt' de bemanning op voor de volgende slag. Tijdens dat oprijden vertraagt de bemanning meer dan het totale zwaartepunt en kan de boot zelfs versnellen, ondanks het feit dat het totale zwaartepunt vertraagt. Er vindt (kinetische) energie uitwisseling plaats van bemanning en boot. Of de boot inderdaad versnelt na de haal hangt af van de massaverhouding van boot en bemanning en de relatieve verplaatsing t.o.v. elkaar. Volgens een kennis van mij bereikt een skiff, (of vier, of acht, etc.) inderdaad de grootste snelheid op het moment dat de bemanning oprijdt. Op televisie kun je dat tijdens wedstrijden van dat soort boten mooi zien aan de neuzen ('tafjes') van de boten.

De student beweerde dat er voor een skiffeur een snelheidsvariatie van 10% optreedt. Dat zou heel goed kunnen. Wellicht dat dit dan ook geldt voor een ongestuurde twee zonder stuurman. Maar voor een twee met stuurman is die snelheidsvariatie dan al minder, simpelweg omdat de massaverhouding van boot (waartoe dan ook de stilzittende stuurman behoort) en de roeiers is veranderd. Hoe groter de massatraagheid des te kleiner is de

optredende versnelling of vertraging tengevolge van een bepaalde aangezette kracht (principe van het vliegwiel). De snelheidsvariatie is voor ieder type van die boten daarom anders.

Voor sloepen geldt hetzelfde. Alleen is de massaverhouding tussen boot en bemanning daar veel hoger dan bij skiffs en dergelijke, omdat de sloep een veel groter gedeelte van de totale massa uitmaakt. Daarnaast verplaatst de bemanning zich t.o.v. de boot veel minder en met minder massa dan in een skiff. In een skiff verplaatst de totale massa van de roeier (zijn benen ook), en over een veel grotere afstand (rijdend op een karretje) dan in een sloep. Een sloep heeft vaste doften. Dat betekent dat alleen het bovenlichaam beweegt t.o.v. de boot en over een veel kleinere afstand. Als er bij een skiff een snelheidsvariatie optreedt van 10%, dan moet die voor een sloep veel en veel minder zijn en daarnaast ook nog eens voor iedere sloep verschillend (de massaverhouding van boot en bemanning is voor iedere sloep anders).

En dan is er nog de invloed van de steilheid van de C_w -kromme. Die steilheid wordt bepaald door de roeisnelheid ten opzichte van de B -waarde van de C_w -kromme. Als die verhouding hoog is (snelheid dus dicht bij de B -waarde), dan loopt de C_w -kromme voor de sloep steil en de C_w -waarde verandert dan snel bij een veranderende snelheid. Ook de invloed hiervan is onderzocht.

3. Natuurkundige principes en wetten die van belang zijn.

3.1. Het begrip 'impuls'

In de natuurkunde is het begrip 'impuls' van een massa gedefinieerd als het produkt van die massa en zijn snelheid. Als er een kracht op die massa werkt, dan verandert zijn impuls. De massa zal immers sneller of langzamer of in een andere richting gaan bewegen. In formulevorm ziet dat er zo uit:

$$\text{Kracht} = F = d(m \cdot v) / dt \quad (m = \text{massa}, v = \text{snelheid}, t = \text{tijd})$$

In woorden: de kracht is gelijk aan de verandering van de impuls per tijdseenheid. Als de massa constant is (wat voor sloeproepen zo is) dan gaat deze formule over in:

$$\text{Kracht} = F = m \cdot dv / dt = \text{massa} \cdot \text{versnelling}.$$

Dat is de overbekende tweede wet van Newton. Je kunt de eerste formule voor een constante massa ook anders interpreteren, namelijk als volgt:

$$F \cdot dt = m \cdot dv$$

Als je beide kanten van de vergelijking integreert over een bepaalde tijd T , dan blijkt dat de snelheidsverandering van een massa ten gevolge van de werking van de kracht gelijk is aan de integraal van $F \cdot dt$ over de tijd T en dat gedeeld door de waarde van die massa.

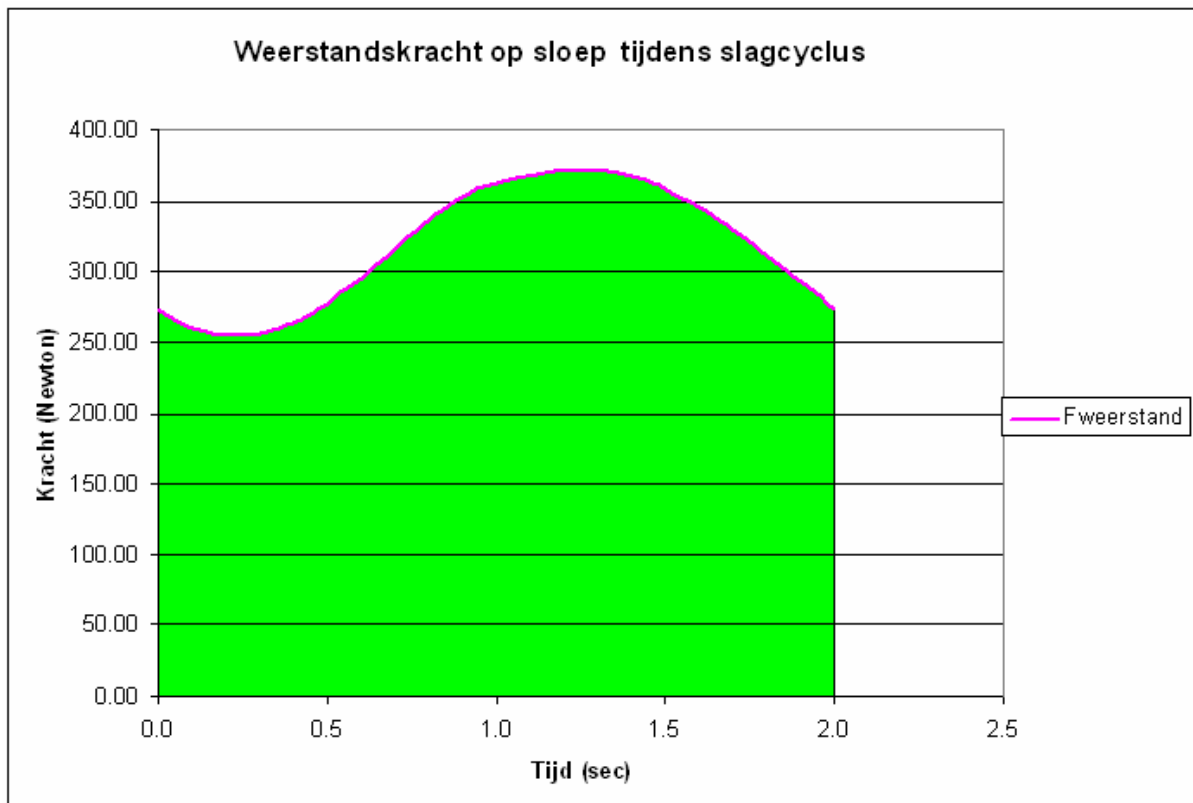
“Leuke theorie”, zullen velen van jullie misschien denken, “maar ik heb wiskunde nooit leuk gevonden en formules zeggen me al helemaal niets”. Daarom maar een paar plaatjes die iedereen begrijpt, denk ik. “Een plaatje zegt meer dan duizend woorden / formules”.

Hieronder staan een tweetal figuren. Die zijn gecreëerd met de software die ik naderhand nog zal beschrijven. Ik heb daarvoor een slagtempo van 30 slagen per minuut aangenomen (de tijd T van een haalcyclus is dus 2 seconden) en ik heb aangenomen dat de haaltijd per slag gelijk is aan de oprijdtijd ('recover'-tijd). Beide tijden zijn dus 1 seconde. Voor de C_w -kromme gegevens heb ik die van een mij dierbare sloep genomen.

In figuur 3.1 staat de weerstandskracht van het water op een sloep tijdens een haalcyclus. Die weerstandskracht is berekend door op ieder moment tijdens de haalcyclus, het kwadraat van de berekende snelheid te vermenigvuldigen met de bijbehorende C_w -waarde. (Zo is namelijk de C_w -waarde gedefinieerd.) Wat is nu de impulsverandering van de sloep door deze weerstandskracht? Dat is de integraal van de kracht over de tijd van

een haalcyclus ofwel de grootte van het groene oppervlak. Dat is volgens mij eenvoudig voor iedereen te begrijpen.

Wanneer je de grootte van dat oppervlak deelt door de totale massa van de sloep dan heb je de snelheidsverandering van de sloep door de weerstandkracht tijdens een haalcyclus. Die kracht werkt echter altijd remmend en we gingen uit van een steady state situatie. Er moet dus nog een andere kracht zijn die een positieve impulsverandering aan de sloep geeft en wel zodanig dat het snelheidsverlies door de weerstandkracht precies wordt gecompenseerd door de snelheidswinst van die andere kracht. Die andere kracht is uiteraard de som van alle krachten op de bladen van de riemen. (Figuur 3.2).



Figuur 3.1. De weerstandskracht van het water tijdens een volledige haalcyclus.

Voor de tweede figuur heb ik aangenomen dat we te maken hebben met een perfect roeiende ploeg. Dat wil zeggen iedereen roeit precies gelijk en iedere roei(st)er levert op elk moment dezelfde kracht. Verder heb ik aangenomen dat het profiel van de kracht op de bladen een halve sinus is (een halve sinus is de helft van een volledig golfpatroon. Zie figuur 3.2). Het is duidelijk dat de stuwkracht alleen werkt tijdens de haal van de slagcyclus, in dit specifieke geval 1 seconde. In de andere seconde van de slagcyclus (recover-tijd) is de stuwkracht nul.

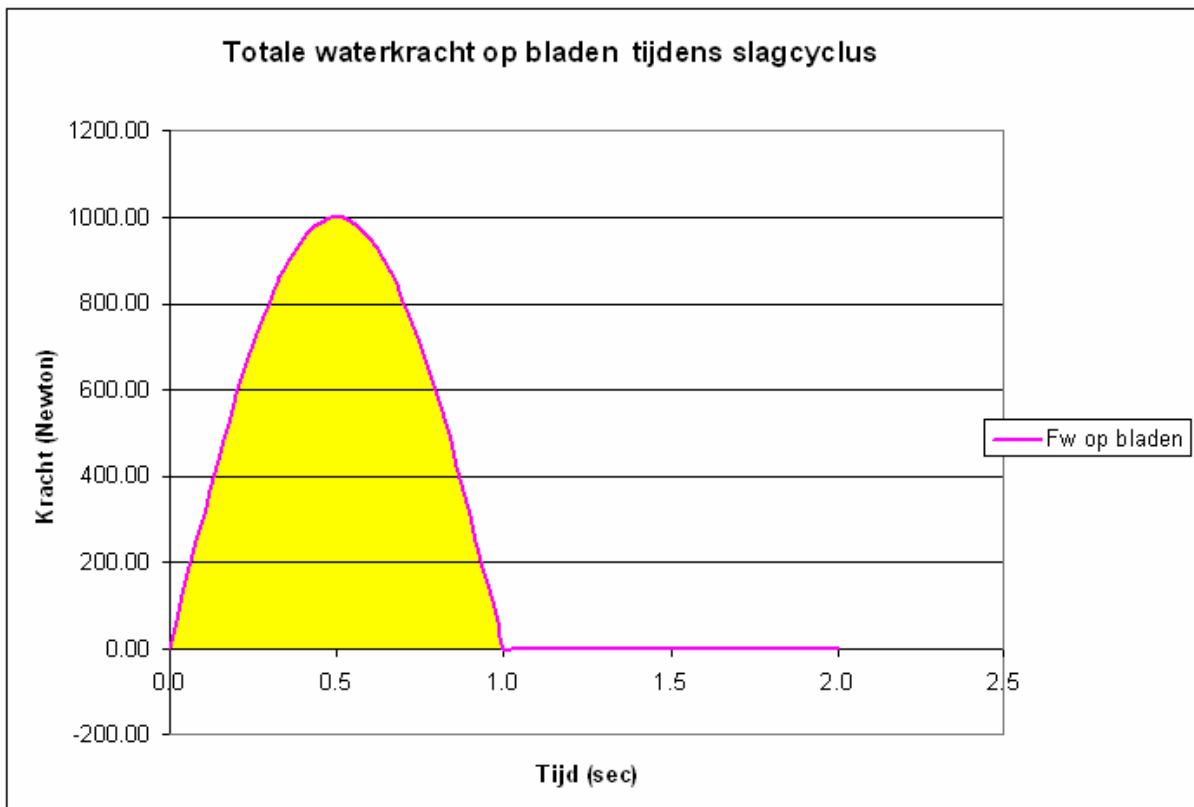
Wat is nu de impulsverandering van de sloep tengevolge van de stuwkracht? Dat is, net als voorheen, de integraal van de stuwkracht over een haalcyclus, ofwel het getekende gele oppervlak. We hebben te maken met een steady-state situatie. Dat betekent dat het snelheidsverlies door de weerstandkracht precies gelijk is aan de snelheidswinst ten gevolge van de stuwkracht. Het groene en gele oppervlak in beide figuren hebben dus precies dezelfde grootte. (Let op, de beide figuren hebben niet dezelfde schaal, wel voor de tijd, maar niet voor de kracht).

Wat zijn nu de belangrijkste conclusies van dit alles?

- *Het gaat er om het gele oppervlak zo groot mogelijk te krijgen. Als je er in slaagt dat groter te krijgen door techniekverbetering, krachttraining of wat dan ook, dan moet in de steady-state situatie ook het*

groene oppervlak groter worden. Dat kan alleen maar als de weerstandskracht toeneemt, ofwel de snelheid toeneemt. En dat betekent meer geleverd vermogen en hoger in de uitslag komen.

- Het gaat niet alleen om de maximale waarde van de kracht, maar even belangrijk is de tijdsduur waarover die kracht wordt aangezet. Uit de figuren volgt duidelijk dat een even grote kracht, maar korter aangehouden, een kleiner geel oppervlak geeft. Daarbij past ook een kleiner groen oppervlak en dus een lagere snelheid. Ook is het zo dat bijvoorbeeld een tweemaal zo grote kracht (zeg maar een geweldige ruk aan de riem), maar kort aangezet, een kleiner geel oppervlak geeft dan de helft van die kracht aangezet over een tijd die minstens 2 keer zo lang is als de aanzettijd van die geweldige ruk. Ik denk dat veel roeiers zich daar niet van bewust zijn. Die denken dat alleen de maximale kracht van belang is. Dat is niet zo. De tijd waarover een kracht wordt aangezet is even belangrijk!



Figuur 3.2. De totale reactiekracht van het water op de bladen tijdens een haal.

3.2. De wet van Bernoulli

De wet van Bernoulli wordt men name gebruikt in de Stromingsleer.

Die wet zegt dat de som van de druk in een vloeistof en de kinetische energie per volume-eenheid constant is in een zogenaamde 'stroomlijn'. (De kinetische energie is gelijk aan de massadichtheid van het water vermenigvuldigd met het kwadraat van zijn relatieve snelheid).

In mijn eerdere verhaal over Sloeproetechniek heb ik een tweetal voorbeelden van deze wet beschreven. Ik herhaal die hier (het volgende schuinsgedrukte gedeelte).

Een tweetal voorbeelden om de wet van Bernoulli te verduidelijken.

Voorbeeld 1.

*Als je met een platte schijf in de wind gaat staan en je houdt die schijf precies haaks op de wind, dan ondervind je de maximaal mogelijke kracht van de wind. Dat komt doordat de relatieve windsnelheid naar nul wordt gereduceerd op het oppervlak van de schijf (de wind kan niet door de schijf heen). Als de relatieve windsnelheid nul is, dan is volgens de wet van Bernoulli de druk maximaal, groter kan niet. En als de druk maximaal is, dan is ook de kracht maximaal (= druk * het oppervlak van de schijf).*

Voorbeeld 2

Als we dezelfde schijf uit voorbeeld 1 ietsje scheef houden in de wind dan wordt de kracht snel kleiner. Dat komt door twee effecten. In de eerste plaats wordt de relatieve windsnelheid niet naar nul gereduceerd, maar blijft een waarde houden. Dit heeft tot gevolg dat de druk ook lager zal zijn dan in voorbeeld 1. In de tweede plaats wordt de reactiekracht in horizontale richting kleiner, omdat behalve dat de druk lager is ook het "geprojecteerde" oppervlak kleiner is geworden. (Het "geprojecteerde" oppervlak is het oppervlak van de platte schijf geprojecteerd op het verticale vlak). De windkracht wordt door de schuine stand daarom snel kleiner, omdat zowel de druk lager is en het geprojecteerde oppervlak kleiner is. Daarnaast ontstaat er natuurlijk een kracht in verticale richting of dwarse richting afhankelijk van in welke richting de schijf schuin wordt gehouden.

Met behulp van de voorgaande voorbeelden zijn de volgende twee nadelen van een niet verticale bladstand in het water direct duidelijk.

- 1. De maximale reactiekracht wordt kleiner doordat de relatieve snelheid van het water ten opzichte van het blad niet nul wordt.*
- 2. De maximale reactiekracht wordt kleiner doordat het "geprojecteerde" oppervlak kleiner wordt.*

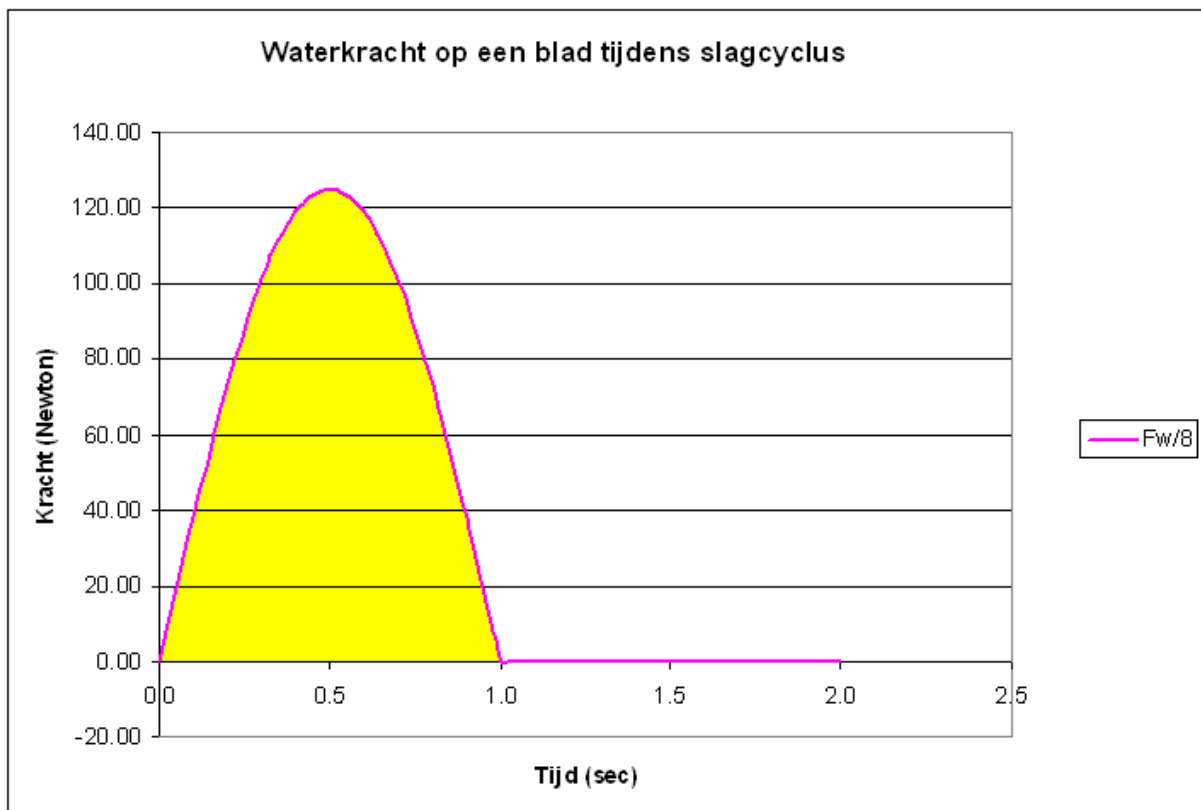
Al met al mijns inziens alleen maar nadelen van een niet verticale bladstand.

4. Factoren die de roeisnelheid beïnvloeden.

De winnende ploeg in een wedstrijd is die ploeg die op dat moment de beste combinatie heeft van kracht, techniek, conditie en, met dank aan mijn ploeggenoot Jack, mentaliteit. Het gaat er niet om het beste te zijn in een van de vier componenten van deze factoren, maar de beste in de combinatie ervan. Uiteraard zijn de vier componenten wel belangrijk, omdat verbetering van een van hen, direct resulteert in een betere combinatie. In het hierna volgende zal ik ze één voor één de revue laten passeren.

4.1. Kracht

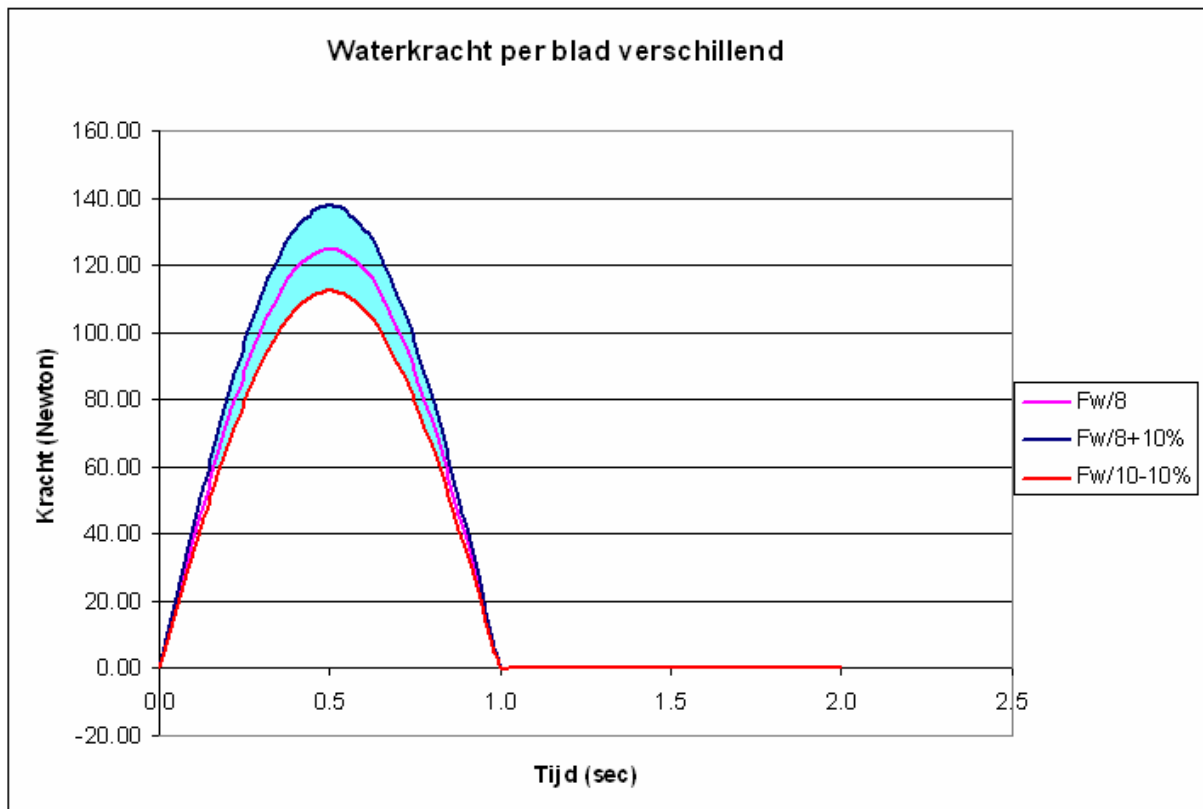
In figuur 3.2 hierboven heb ik de impulsverandering laten zien die een ploeg als geheel levert tijdens de haal (het gele oppervlak). Laten we aannemen dat het nog steeds een perfect roeiende ploeg betreft. Alle roeiers roeien dan precies gelijk en leveren op elk moment precies dezelfde kracht. Verder neem ik aan dat het aantal roeiers gelijk is aan 8. De bijdrage van iedere roeier is dan gelijk en wel 1/8 van het totale gele oppervlak van de vorige figuur. Dit is weergegeven in figuur 4.1.



Figuur 4.1. De reactiekracht van het water op één blad tijdens een haal.

De grafiek is qua vorm precies gelijk aan die van de impulsverandering van de totale kracht op de bladen. Alleen is het oppervlak acht keer zo klein of, wat op hetzelfde neerkomt, de maximale kracht is acht maal zo klein als in de eerste figuur.

Uiteraard is geen enkele ploeg perfect. Laten we nu eens aannemen dat de ploeg iets minder perfect is. Weliswaar wordt er exact gelijk geroeid door alle roeiers, maar niet iedere roeier is even sterk. Iedere roeier levert dan een andere maximale kracht. In dat geval staat in figuur 4.1 niet de bijdrage per roeier, maar de **gemiddelde** bijdrage per roeier. Laten we aannemen dat de ploeg vier roeiers heeft die even sterk zijn en vier roeiers die ook even sterk zijn, maar 20% minder sterk dan de eerste vier. In dat geval is de gemiddelde bijdrage per roeier ongewijzigd, maar de bijdrage per roeier van de twee aparte groepen verschilt. Dit is weergegeven in figuur 4.2.



Figuur 4.2. Impulsverschil door krachtverschil per blad (blauwe oppervlak).

Het blauwe oppervlak is het verschil tussen de bijdrage van een roeier van de ene groep en de bijdrage van een roeier van de andere groep. In dit geval is het verschil 20% van de gemiddelde bijdrage. Het is duidelijk dat een roeier die aanzienlijk sterker is dan de anderen ook aanzienlijk meer bijdrage levert (bij gelijke roeitechnieken uiteraard). Een roeier die aanzienlijk minder sterk is dan de anderen levert dan ook aanzienlijk minder bijdrage dan de anderen. Dat zou voor die ene roeier een reden kunnen zijn om individueel specifiek aan krachttraining te gaan doen om meer in lijn te komen met het gemiddelde van de ploeg.

Gerichte krachttraining leidt voor mensen die nog nooit aan krachttraining hebben gedaan en die ‘muisschuivers’ zijn (kantoorbaan), al snel tot resultaten. In het begin van de krachttraining is de progressie in krachttoename het grootst. Door krachttraining kan de maximale spierkracht worden verhoogd. Roeien is een duursport. Voor bijvoorbeeld een slagtempo van 30 slagen per minuut en een wedstrijdduur van 2 uur, worden er 3600 slagen gemaakt. Het is onmogelijk dat in iedere slag de maximale kracht wordt gebruikt. Dit zou al heel snel tot verzuring leiden. Maar het is wel mogelijk dat in iedere slag bijvoorbeeld 35% van de maximale kracht wordt gebruikt. Dit betekent dat wanneer de maximale kracht toeneemt, 35% van die kracht uiteraard ook hoger is. Met andere woorden tijdens de training en wedstrijden kan een hogere kracht per slag worden gebruikt en daarmee meer vermogen geleverd.

Overigens denk ik niet dat er gestreefd moet worden naar een zo hoog mogelijke spierkracht door krachttraining. Er is een zeker optimum. Te weinig spierkracht is in ieder geval nadelig, maar teveel spierkracht kan er toe leiden dat andere belangrijke factoren er onder gaan leiden (duurvermogen bijvoorbeeld). Dit is bijvoorbeeld goed te zien in de atletiek. Sprinters hebben een surplus aan kracht en souplesse, maar minder duurvermogen dan bijvoorbeeld een 800m looper. Ook bij de tienkamp is dat goed te zien. De deelnemers die goed zijn op de explosieve nummers, ‘sterven’ vaak op de afsluitende 1500m. Sloeproeiers hebben zeker kracht nodig, maar tevens het vermogen om een bepaalde kracht zo lang mogelijk vol te houden. Er zal een (individueel) optimum voor de maximale spierkracht zijn.

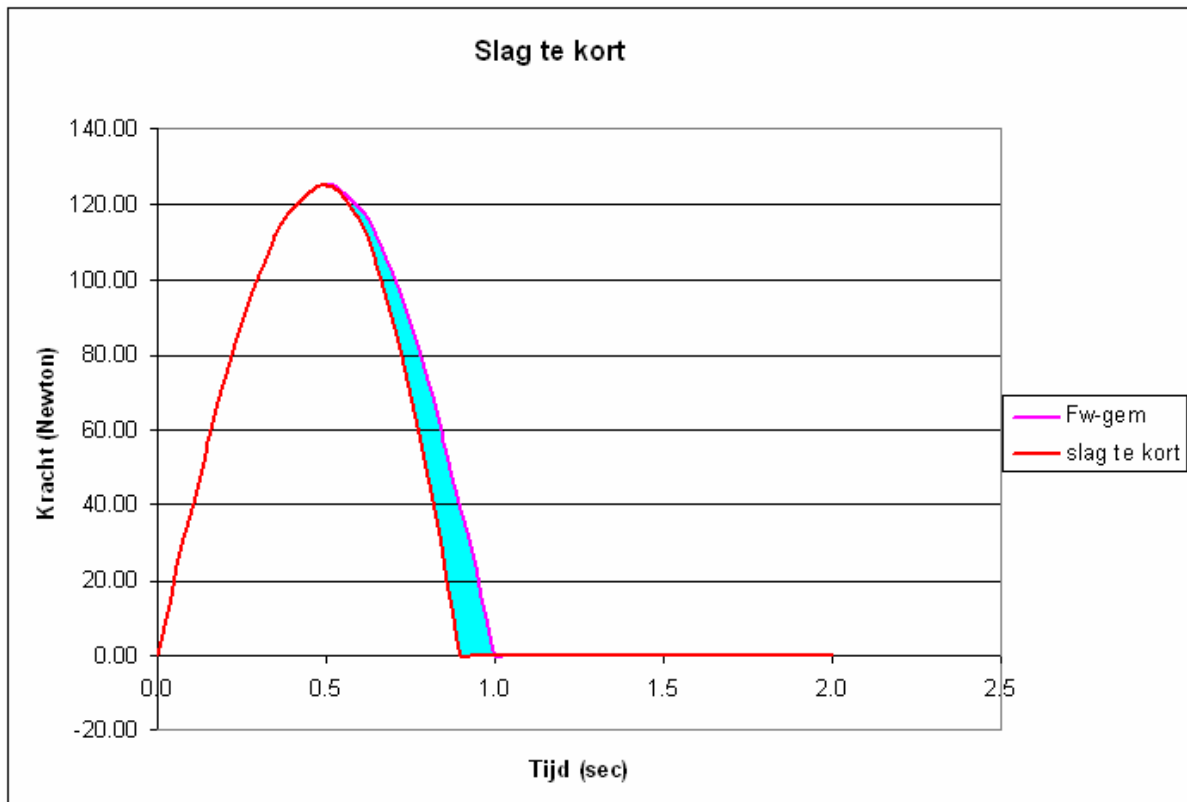
Kracht is daarom wel degelijk van groot belang.

4.2. Techniek

Zoals in het voorgaande is aangetoond, levert bij gelijke techniek de sterkere roeier gewoon een hogere bijdrage dan de minder sterkere roeier.

Bij techniek zijn er veel meer aspecten die een rol spelen. Ik zal er een aantal noemen.

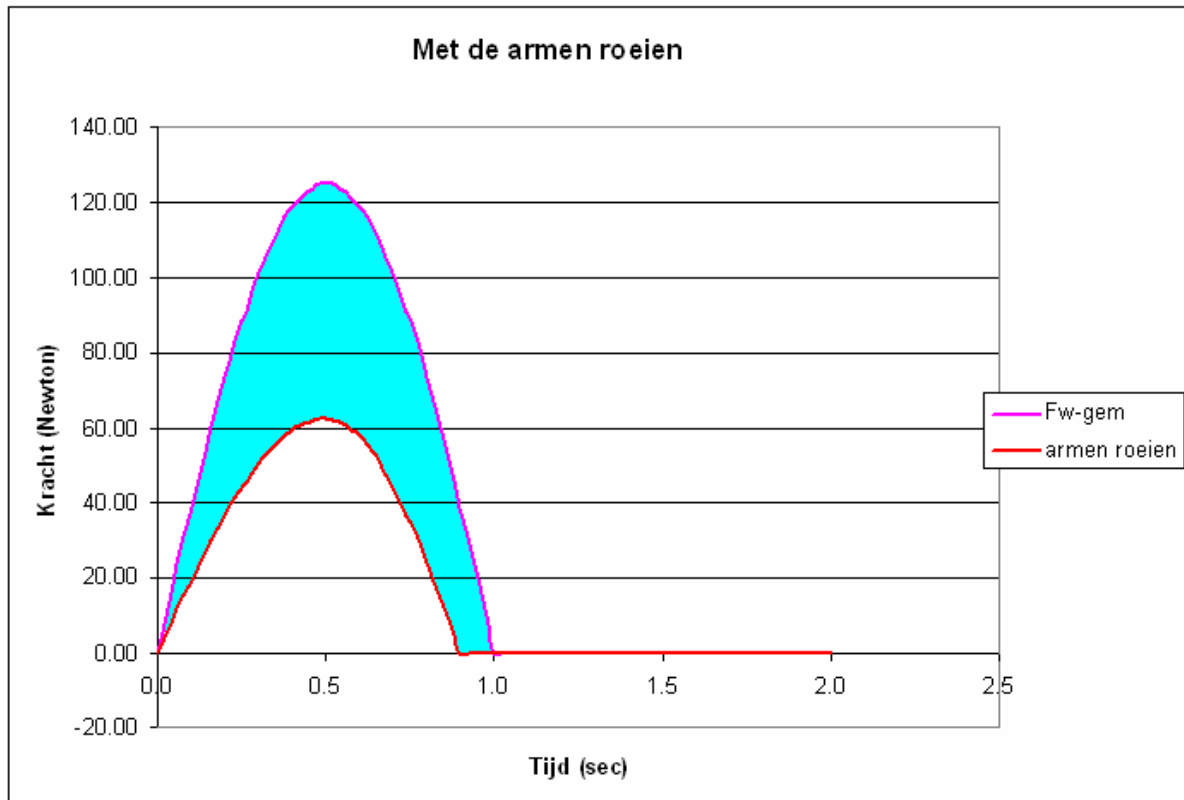
- Er is bijvoorbeeld een roeier in de ploeg die een kortere slag heeft dan de rest. In dat geval zou hij weliswaar dezelfde maximale kracht kunnen leveren, alleen wordt zijn gele oppervlak dan kleiner dan dat van de anderen omdat hij de kracht minder lang aanhoudt. In figuur 4.3 is dat weergegeven. In het eerste deel van de slag zit hij gelijk met de andere roeiers, maar in het laatste deel van de slag niet, omdat hij zijn riem eerder uithaalt. Het blauwe oppervlak is dus de verminderde bijdrage van de roeier met de te korte slag ten opzichte van het gemiddelde van de ploeg. De andere roeiers moeten deze mindere bijdrage compenseren, want het gemiddelde ligt hoger. Als deze roeier ook nog eens later inpikt dan de anderen, dan ontstaat er aan het begin van de haal ook zo'n blauw oppervlak en wordt het verschil dubbel zo groot als nu getekend. Let wel, zijn maximaal geleverde kracht is precies hetzelfde als dat van de anderen.



Figuur 4.3. Impulsverlies door een te korte slag (blauwe oppervlak).

- Er is een roeier die met zijn armen roeit en daardoor automatisch een kortere slag heeft. Zijn 'reach' is minder. (De 'reach' is de afstand die het handvat van de riem binnenboord aflegt). Zijn 'reach' is minder omdat anderen in het eerste deel van de slag wel met gestrekte armen roeien en achteroverhangend hun lichaamsgewicht gebruiken. Daarnaast is het zo dat een roeier die met zijn armen roeit minder kracht op de riem kan zetten dan de anderen (zie mijn eerste verhaal over sloeprroeitechniek). Deze roeier levert op twee manieren in op zijn gele oppervlak: en de maximale kracht is (aanzienlijk) minder en bovendien is de aanzettijd van de kracht korter door de kortere slag. Ik denk dat het verschil in geleverde maximale kracht door met de armen te roeien in plaats van met gestrekte armen in het begin van de haal, wel eens een factor twee zou kunnen zijn (ervaringsfeit uit het 'krachthonk'). Dit levert dan een aanzienlijk verlies op ten

opzichte van het gemiddelde (zie figuur 4.4). Ook hier is het verschil het blauwe oppervlak en moet worden gecompenseerd door de andere roeiers.

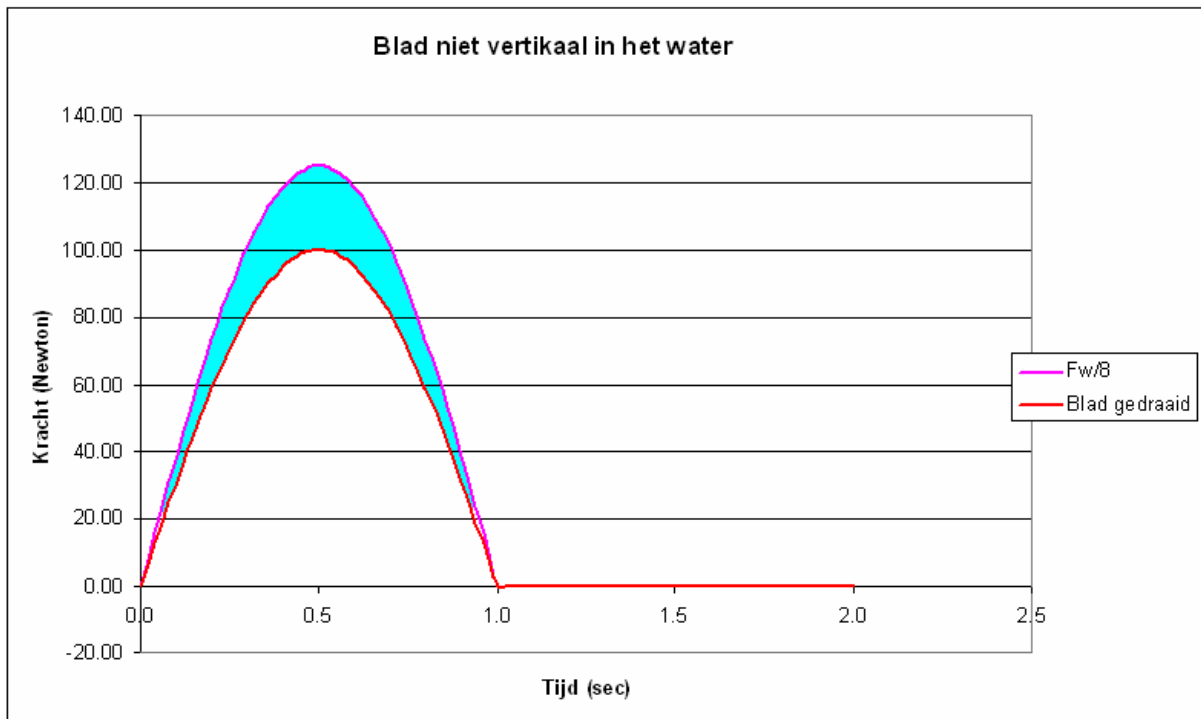


Figuur 4.4. Impulsverlies door het roeien met de armen (blauwe oppervlak).

- Er is een roeier die bij de inpik niet gelijk zijn hele blad onder water dompelt, maar slechts een gedeelte van het blad, of ongunstiger nog, eerst zijn riem een tijdje door de lucht haalt. Het is duidelijk dat in het eerste gedeelte van de slag daardoor minder kracht gezet wordt en dat bovendien de tijd dat het blad effectief in het water zit ook verkort wordt. Ook deze roeiers leveren in op hun gele oppervlak. Weliswaar kan de maximale kracht hetzelfde zijn als van de anderen, maar de aanzettijd is gewoon korter. Er ontstaat een zelfde effect als met de te korte slag, maar dan met een blauw oppervlak aan het begin van de haal.
- Er zijn roeiers die hun blad niet vertikaal in het water zetten. Die zetten hun blad gelijk al scheef in bij de inpik of wat ook nog wel eens gebeurt, die draaien het blad tijdens het laatste deel van de slag (wat een effectief kortere slag betekent). Die roeiers leveren volgens de wet van Bernoulli in op twee fronten: de maximale kracht wordt minder omdat de waterdruk niet maximaal benut wordt (de relatieve watersnelheid ten opzichte van het blad wordt niet nul) en in de tweede plaats wordt het geprojecteerde oppervlak kleiner. De kracht op het blad van zo'n roeier wordt dus om twee redenen kleiner. Een bijkomend nadeel van een niet verticale bladstand is verder dat er een verticale krachtcomponent op het blad komt die de boot zal laten schommelen (energieverlies). Het verlies aan gele oppervlak is getekend in figuur 4.5. De mate waarin het blad gedraaid is bepaalt de grootte van het verlies (blauwe oppervlak). Ook hier moet het verschil met het gemiddelde oppervlak worden gecompenseerd door de andere roeiers.
- De roeiers leveren allemaal een zelfde bijdrage, maar roeien niet gelijk. Dat betekent dat de boot zal gaan schommelen en gaan draaien. (Zie mijn eerdere verhaal). Zonde van het energieverlies. Gelijk roeien (gelijk er in en gelijk er uit) is een basiseis om de boot goed te laten 'lopen'.

Opmerking.

Alle genoemde blauwe oppervlakken zijn dus impulsverliezen door minder kracht of een verkeerde of gebrekkige techniek. Het is goed om op te merken dat er een direct verband is tussen impulsverlies en minder geleverd vermogen. Als de impulsbijdrage van een roeier x% minder is dan het gemiddelde, dan geldt dat ook voor zijn geleverde vermogen.



Figuur 4.5. Impulsverlies door een niet verticale bladstand (blauwe oppervlak).

Bovenstaande opmerking brengt me op het volgende. Tijdens trainingen, en tijdens wedstrijden helemaal natuurlijk, worden er vaak maximale inspanningen gevraagd. Bijvoorbeeld in trainingen waar er 1 of 2 minuten voluit gesprint moet worden of een maximale inspanning over een kilometer of meerdere kilometers moet worden geleverd. Dan heb ik wel eens gehoord, en zelf in mijn lange roeileven ook al meegemaakt natuurlijk, dat er direct na zo'n inspanning mensen geanimeerd beginnen te kakelen, of zelfs tijdens die inspanning al. Ik vraag me dan af waar ze de lucht vandaan halen. Ik heb ook wel eens van anderen gehoord dat er na zo'n inspanning teksten komen als "Dat kan nog harder" of "Ik had het nog wel langer volgehouden". Dat wekt de suggestie dat de eigenaren van deze uitspraken zelf superatleten zijn. De anderen zouden dus blij moeten zijn met dergelijke fenomenen in de sloep.

Zelf denk ik echter dat er ook andere oorzaken kunnen zijn. Als ik op televisie naar schaatsen kijk dan zie ik sporters die op een 1000m of 1500m (een inspanning van 1 of 2 minuten op dat niveau), helemaal 'uitgewoond' en 'verrot' zijn. Niet zelden liggen ze minuten uit te hijgen of krijgen zelfs zuurstof toegediend. Als ik de verhalen moet geloven, dan zijn er 1500m schaatsers (met het bekende 1500m kuchje), die zelfs een beetje bloed ophoesten. Ook zie ik Olympische roeiers die na een inspanning van 7 minuten vrijwel letterlijk uit het water moeten worden getakeld. Als zelfs zulke topatleten helemaal kapot zijn na een inspanningsduur van 1 tot 7 minuten, dan ben ik zo vrij om te denken dat brengers van eerder genoemde teksten zich niet voor de volle 100% hebben gegeven. Een tweede mogelijkheid is dat het roeiers betreft die een groot 'blauw' oppervlak hebben door een gebrekkige techniek of iets dergelijks. Dat blauwe oppervlak is recht evenredig met het geleverde vermogen. Omdat iedereen in de sloep hetzelfde slagtempo heeft, leveren roeiers met een groot blauw oppervlak dus veel minder energie dan de anderen. En wellicht kunnen ze die energie ook niet kwijt door een gebrekkige of slechte techniek. Ja, dan hou je 'over' en kunnen er bovengenoemde uitspraken worden gedaan. Ik kan me voorstellen dan anderen die helemaal kapot zitten na zo'n topinspanning en bijna moeten kokhalzen vanwege het protesterende lichaam, zelfs geen 'boe of bah' meer kunnen zeggen, en al helemaal niet tijdens die inspanning, zich hieraan irriteren. Inderdaad denk ik dat de 'pratlers' dan gelijk hebben en dat het 'harder kan', maar dan wel door verkleining van hun eigen blauwe oppervlak.

4.3. Conditie

Conditie of uithoudingsvermogen is de derde belangrijke factor voor een goed resultaat. Van twee ploegen met een gelijke kracht en techniek, zal de ploeg met de betere conditie het winnen. Uithoudingsvermogen kun je verbeteren door hier specifiek op te trainen. Daardoor wordt niet alleen de hoogte van de mogelijke inspanning verhoogd, maar ook de tijd dat een bepaalde inspanning kan worden volgehouden. Door training verleg je het niveau en het tijdstip waarop de spieren beginnen te verzuren.

4.4. Mentaliteit

Wanneer ploegen een gelijke mate van kracht, techniek en conditie hebben, dan geeft de mentaliteit de doorslag. Er zijn nu eenmaal mensen die zichzelf meer pijn kunnen doen dan anderen ('dieper kunnen gaan'). Dit soort mensen geeft de moed niet op bij de minste of geringste tegenslag, maar blijft doorvechten, waar anderen met een mindere mentaliteit allang de pijp aan Maarten zouden hebben gegeven. Dat soort mensen heeft een soort van "over mijn lijk" instelling en stoppen pas wanneer de sloep over de finishlijn gaat. Natuurlijk kun je met alleen mentaliteit geen wedstrijden winnen, want wat er niet inzit, kan er ook niet uitkomen. Om maar als voorbeeld te noemen. Je kunt nog zo'n goede mentaliteit hebben, de 100m zal je nooit in 9 seconden lopen. Maar mensen met een betere mentaliteit halen wel 'het onderste uit de kan'.

Als er een of twee roeiers in de sloep zitten met een mindere mentaliteit die bij het minste of geringste beginnen te zeuren of er zelfs even mee stoppen, dan duperen ze daarmee uiteraard de hele ploeg. Maar ook aan mentaliteit kan worden gewerkt. Dat vergt natuurlijk wel de nodige wil en doorzettingsvermogen.

Uit het bovenstaande zal het duidelijk zijn dat de ploeg die de beste combinatie van de vier genoemde factoren heeft, de wedstrijd zal winnen. Ik heb in het voorgaande een paar maal de perfecte ploeg genoemd (iedereen roeit precies gelijk met de juiste techniek en met dezelfde kracht en conditie). Die ploeg bestaat natuurlijk niet. Dat te denken is een utopie, want aan iedere roeier mankeert wel wat. Maar het is wel goed om naar die perfectie te streven en vooral kritisch naar je eigen presteren te kijken. Dat is heel lastig, want de meesten zijn geneigd om naar anderen te kijken en menen veel sneller te zien wat een ander niet goed doet, in plaats van het eigen presteren onder het vergrootglas te leggen. Het ligt vaak overal aan, behalve uiteraard aan de eigen tekortkomingen.

5. Fysiologische aspecten van het roeien.

Op Internet heeft een artikel van Stephen Seiler gestaan. Van dat artikel heb ik een .pdf file gemaakt en stuur dat mee. (Ref. [1]). In dat artikel wordt voor roeien (niet in sloepen overigens) een relatie gelegd tussen de natuurkundige aspecten van het roeien en de fysiologische. De Fysiologie is de wetenschap die zich bezig houdt met het prestatievermogen van het menselijk lichaam.

Volgens dat artikel zijn er maar weinig publicaties bekend waarin over deze relatie wordt gesproken. Zo wordt door Seiler onderzocht hoe het krachtprofiel tijdens het halen van een slagcyclus er het beste uit kan zien. Hij komt tot de conclusie dat dit het profiel van de 'fat-middle' is. Dat is een verloop waarbij de kracht gedurende de haal zo constant mogelijk is. Seiler toont aan dat dit krachtprofiel uit fysiologisch oogpunt gezien het beste is. In de eerste plaats kan die constante kracht kleiner zijn dan een geweldige ruk aan het begin of aan het einde van de slag en in de tweede plaats kan het 'gele' oppervlak onder de F-t kromme, die een maat is voor de impulsopname van de sloep, groter zijn dan voor die geweldige ruk die over een veel kortere tijd wordt aangezet.

Ik denk dat Seiler daar gelijk in heeft. Uit ervaring en andere bronnen weet ik dat schokbelastingen op spieren (een kracht te snel aanzetten of af laten nemen) heel vaak aanleiding zijn tot spierblessures. Tijdens krachttrainingen bijvoorbeeld moet daar rekening mee worden gehouden en moeten oefeningen gecontroleerd worden uitgevoerd om het risico van blessures zo veel mogelijk te vermijden.

Een ander voordeel van de 'fat middle' slag is volgens Seiler dat meer spieren worden gebruikt en niet alleen maar een bepaalde groep zoals bij die ene geweldige ruk. Omdat er meerdere spieren worden gebruikt, in iedere fase van de slag andere spieren of combinatie van spieren, treedt er ook niet zo snel verzuring op. De 'pijn' wordt immers over meerdere spieren verdeeld. Dat betekent dat een bepaald krachtniveau langer kan worden aangehouden in de tijd en dat de gemiddelde snelheid over de hele wedstrijd dus hoger wordt.

Seiler merkt op, en ook dat is een bekend gegeven, dat het heel moeilijk is om een eenmaal aangeleerde en al jaren gebruikte (verkeerde) techniek af te leren. Het lichaam is gewend aan die foute techniek en coördinatie. Als je dat gaat wijzigen dan voelt dat aan als 'ongemakkelijk' en levert heel vaak spierpijn op omdat er nu eenmaal met de wel juiste techniek andere spieren worden gebruikt. Na een tijdje wordt het lichaam dan moe en men vervalt weer in de oude ingeslepen foute beweging. Het vereist discipline en doorzettingsvermogen om een fout patroon om te zetten in een ander, wel juist patroon. Veel mensen kunnen dat niet opbrengen en dan komen er teksten als "Zie je wel dat het helemaal niet gaat met die andere techniek" (daarmee suggererend dat die 'dus' fout moet zijn) en "Op mijn manier gaat het allemaal veel lekkerder en beter". Omschakelen naar een andere techniek kost gewoon tijd en veel oefenen, totdat die nieuwe beweging is 'ingeslepen' in de coördinatie.

Fysiologisch is ook van belang hoe de ergonomie van de boot is. Zit je goed en in de juiste positie om kracht op het handvat van de riem te zetten? Zitten de dollen niet te ver naar voren of achteren ten opzichte van de doft? Zitten je voeten niet te hoog of juist te laag en heb je genoeg ruimte om je slag te maken. Dat laatste kan nog wel eens een probleem zijn. Bijvoorbeeld als de doften te dicht achter elkaar zitten zodat je beperkt wordt in de lengte van je slag ('reach'). Je kunt niet ver naar voren en/of naar achteren bewegen. Een ander voorbeeld kan zijn de breedte van de doft. Er zijn sloepen waarbij je op slag of op boeg stijf tegen je doftgenoot aanzit. Dat roeit ook niet lekker, al was het alleen al omdat je de riem niet verder naar binnen kunt halen. Ik kan me dus voorstellen dat je door een verkeerde ergonomie in de boot niet die spieren of spiergroepen kunt gebruiken die voor de roebeweging nu juist optimaal zouden zijn. Dan mankeert er dus niets aan de gemeten weerstand van de sloep, maar aan de ergonomie in de boot.

Seiler schrijft dat het aanleren van een nieuwe of andere beweging gedaan moet worden met een laag bewegingstempo. Pas als bij dat lage bewegingstempo na kortere of langere tijd (niet een training of zo, maar misschien wel een heel seizoen) de beweging en coördinatie zijn ingeslepen, dan pas kan er worden geprobeerd om die beweging bij een hoger bewegingstempo uit te voeren om het uiteindelijk tijdens wedstrijden te kunnen toepassen. Ik heb dezelfde ervaring dat bij hoge bewegingsritmes de coördinatie en techniek slecht(er) worden. Je kunt dat ervaren tijdens trainingen wanneer er over een twintig of dertigtal slagen voluit gesprint wordt. Dan gaat door de hogere snelheid uiteraard het slagtempo omhoog. In de eerste plaats wordt er dan vaak niet meer gelijk geroeid door iedereen en in de tweede plaats wordt de slaglengte korter. Dat komt doordat er niet meer ver naar voren wordt gestrekt en de slag niet wordt afgemaakt (het blad te vroeg uit het water). Wat ook nog wel eens gebeurt, is dat men halve luchtslagen gaat maken en het blad niet gelijk helemaal onder water zet. Hierdoor gaat het slagtempo nog verder omhoog en worden coördinatie en techniek weer minder.

Bovenstaande argumenten lijken te pleiten voor een lange slag. Dat geeft de mogelijkheid om de kracht gecontroleerder op- en af te bouwen aan het begin en het einde van de slag (waar de waterkracht op het blad sowieso niet optimaal van richting is). Dat voorkomt grote schokbelastingen. Een lange slag heeft het voordeel dat het slagtempo lager kan zijn, wat de coördinatie en techniek ten goede komt. Een lange slag heeft verder als voordeel dat meerdere spieren of spiergroepen worden gebruikt, waardoor de verzuring pas later optreedt.

Daar komt ook nog bij dat per slag de buigenergie in de riem verloren gaat en het feit dat er energie nodig is om de armen en het bovenlichaam te bewegen. Een gedeelte van deze laatste energie komt terug in de bootsnelheid, maar niet alles. Dit pleit dus allemaal voor een lager slagtempo. Maar een te laag slagtempo is ook niet goed. Ook hiervoor geldt dat er een optimum moet zijn die iedere ploeg zelf moet ontdekken. Een laatste nadeel van een te hoog slagtempo is fysiologisch. In het voorgaande is aangetoond dat voor een bepaalde snelheid altijd de zelfde maximale kracht vereist is. Bij een hoger slagtempo moet dus meerdere malen per tijdseenheid die maximale kracht aangezet worden. Dat gaat voor een hoger slagtempo gepaard met een snellere kracht toe- en afname in de spieren en pezen. Het gaat meer naar een stootbelasting toe, wat mijn inziens slecht is ten opzichte van een maximale kracht over een langere tijd aangezet (lager slagtempo).

6. Relaties tussen slagtempo, riemlengte, bootsnelheid en krachten op de bladen.

In het voorgaande is uiteengezet waarom tijdens de steady state situatie van een haalcyclus, de snelheidsvermindering door de waterweerstand gelijk is aan de snelheidsvermeerdering door de kracht op de bladen. Eenvoudig gezegd: het groene oppervlak moet gelijk zijn aan het gele oppervlak voor de totale stuwkracht op de bladen.

De grootte van het groene oppervlak kan heel goed worden afgeschat met behulp van de gewenste gemiddelde vaarsnelheid tijdens de haalcyclus. De grootte van dat groene oppervlak zal maar heel weinig verschillen van een alternatief groen oppervlak, dat we krijgen wanneer we veronderstellen dat gedurende de hele haalcyclus de snelheid gelijk is aan de gemiddelde snelheid. In dat geval is de vaarweerstand ook constant en gelijk aan de C_w -waarde behorend bij de gemiddelde vaarsnelheid vermenigvuldigd met het kwadraat van die gemiddelde snelheid. Die kracht vermenigvuldigd met de duur van een haalcyclus levert de grootte van het alternatieve groene oppervlak (het impulsverlies door de weerstandkracht). In formulevorm:

$$\text{Alternatieve groene oppervlak} = C_w * V_{\text{gem}} * V_{\text{gem}} * T$$

Hierin is T de duur van een haalcyclus. T is gelijk aan 60 gedeeld door het aantal slagen per minuut ($=n$).

Ook de grootte van het gele oppervlak kan heel goed in formulevorm worden gezet.

Als we een **sinusvormig** krachtprofiel veronderstellen, dan is het gele oppervlak gelijk aan:

$$\text{Gele oppervlak} = (F_s * T_1) / \pi$$

Hierin is F_s de amplitude van de (halve) sinus van het krachtprofiel en T_1 is de 'periode' van de krachtsinus. Let op: de 'haaltijd' is de helft van deze periode T_1 .

Als we een **'fat middle'** krachtprofiel veronderstellen (kracht constant, zie het artikel van Seiler), dan is het gele oppervlak gelijk aan:

$$\text{Gele oppervlak} = (F_{\text{fat}} * T_1) / 2$$

Hierin is F_{fat} de constante kracht tijdens de haal en T_1 tweemaal de 'haaltijd' van een slagcyclus (net als voor de sinus).

Het (alternatieve) groene oppervlak moet gelijk zijn aan het gele oppervlak. Dit resulteert in het volgende:

Voor het sinusvormige krachtprofiel:

$$C_w * V_{\text{gem}} * V_{\text{gem}} * T = (F_s * T_1) / \pi \quad \text{ofwel:} \quad F_s = (\pi * C_w * V_{\text{gem}} * V_{\text{gem}}) * T / T_1$$

Voor het 'fat middle' krachtprofiel:

$$C_w * V_{\text{gem}} * V_{\text{gem}} * T = (F_{\text{fat}} * T_1) / 2 \quad \text{ofwel:} \quad F_{\text{fat}} = (2 * C_w * V_{\text{gem}} * V_{\text{gem}}) * T / T_1$$

Voor ieder willekeurig krachtprofiel kan een dergelijke redenering worden gehouden en leidt tot een zelfde soort verband als hierboven gegeven.

Wat voor verrassends en bijzonder opmerkelijks volgt er nu uit deze formules? Dat is het volgende.

Het blijkt dat voor een zekere gemiddelde snelheid tijdens de steady state haalcyclus, een bepaald krachtprofiel en een vaste verhouding van 'haaltijd' en slagcyclustijd, de maximale stuwkracht altijd gelijk is. **Deze is dus onafhankelijk van het slagtempo.**

Met welk slagtempo je dus ook roeit, voor de zelfde gemiddelde vaarsnelheid heb je bij gelijk blijvend krachtprofiel en gelijk blijvende verhouding van T1 en T altijd dezelfde maximale kracht nodig. **Een direct gevolg is tevens dat in dit geval het geleverde vermogen ook onafhankelijk is van het slagtempo.**

(Heel leuk natuurlijk om met de geschreven software te verifiëren of dit ook echt zo is).

Bovenstaande conclusie is uiteraard wel een theoretisch natuurkundige conclusie, geen fysiologische. Want het mag dan natuurkundig waar zijn dat een slagtempo van 100 onder de genoemde voorwaarden (krachtprofiel identiek en T1/T ongewijzigd) een gelijke gemiddelde snelheid oplevert als een slagtempo van 30 indien de maximale kracht maar gelijk is, je lichaam ‘denkt’ daar anders over. Die gaat protesteren, verliest zijn coördinatie en zal ook roeitechniekfouten gaan maken (zie eerder). Maar als het natuurkundig niet uitmaakt, wat is dan het optimale slagtempo fysiologisch gezien? (Het antwoord volgt later)

Wat is nu de relatie tussen slagtempo, riemlengte, bootsnelheid en ‘reach’? Die relatie is als volgt:

$$\text{Slagtempo} = n = \frac{60 * \text{bootsnelheid} * \left(\frac{L1}{L2}\right)}{2 * \text{reach}} \quad (\text{=slagen per minuut})$$

Hierin is L1 de ‘inboord’ riemlengte en L2 de ‘buitenboord’ riemlengte. De totale riemlengte is dus (L1 + L2). Gevoelsmatig zijn de verschillende factoren natuurlijk bekend. Hoe groter de ‘reach’ des te lager het slagtempo. Hoe groter de bootsnelheid des te hoger het slagtempo en wanneer je je riem naar buiten schuift (L1/L2 wordt dan kleiner), des te lager het slagtempo. Hetzelfde gebeurt als je met een langere riem gaat roeien maar de inboord riemlengte L1 hetzelfde houdt. Ook in dat geval wordt L1/L2 kleiner en neemt het slagtempo af.

“Maar hoe zit het dan”, wordt er misschien gedacht. “Als je de riem naar buiten schuift verandert toch de hefboomwerking van de riem en wordt de kracht van het water op de bladen toch minder?”

In het voorgaande is aangetoond dat bij een bepaald krachtprofiel, een vaste verhouding van T1 en T, voor een bepaalde bootsnelheid de totale som van de waterkracht op de bladen altijd dezelfde waarde heeft. En dat is ook logisch. Voor een bepaalde vaarsnelheid is altijd het zelfde vermogen nodig. Vermogen is ‘kracht * snelheid’, in dit geval dus ‘stuwkracht op de bladen * snelheid’. Als het vermogen en de snelheid beide constant zijn, dan moet dat ook gelden voor de stuwkracht. Als je dus met een andere riem gaat roeien of je schuift je riem naar buiten of naar binnen, dan blijft voor een bepaalde vaarsnelheid de stuwkracht op de bladen constant. Wat echter wel verandert is de hefboomwerking van de riem. Als de verhouding L1/L2 verandert, dan verandert ook de kracht op de handvatten van de riemen. In formulevorm:

$$\text{Kracht op handvatten} = \text{stuwkracht op bladen} * (L2 / L1).$$

Als bijvoorbeeld de riem naar buiten wordt geschoven en de verhouding L1/L2 wordt daarmee 10% kleiner, dan wordt het slagtempo 10% lager, maar de kracht op de handvatten 10% hoger. Het geleverde vermogen is echter hetzelfde bij dezelfde vaarsnelheid. Ook hier maakt het natuurkundig gezien niets uit welke hefboom, slagtempo combinatie wordt gekozen. Ze resulteren allemaal in het zelfde geleverde vermogen. Fysiologisch gezien maakt het echter wel degelijk uit. Ieder lichaam heeft van nature een andere aanleg om een bepaald vermogen te leveren. De een doet dat met een grote kracht bij een lagere snelheid, een ander heeft als optimum voor het zelfde vermogen een kleinere kracht bij een hogere snelheid. Er bestaat mijn inziens dus niet zo iets als een universeel optimum. Iedere persoon c.q. ploeg kan een ander optimum hebben. Alleen door uitproberen kom je er achter waar jouw optimale hefboom, slagtempo combinatie ligt.

Zelf ben ik van mening dat je ‘reach’ in ieder geval zo groot mogelijk moet zijn. Dat geeft een lager slagtempo, waardoor de roeitechniek en coördinatie controleerbaar blijft. En zoals eerder opgemerkt, aan het begin en het einde van de slag wordt de kracht op- en afgebouwd. Tevens zijn aan het begin en einde van de slag de richtingen van de waterkracht op de bladen niet optimaal. Bij een lange slag / ‘reach’ valt dat mooi samen. De krachtopbouw en krachtafbouw vinden dan plaats in een gedeelte van de slag waar die krachtrichting wat ongunstiger is. Maar over het gedeelte van de slag waar die krachtrichting wel optimaal is, kun je dan mooi de maximale kracht aanzetten. Als je slag korter is, dan vindt die kracht op- en afbouw plaats waar de krachtrichting wel optimaal is. Verspilling in mijn ogen. Uiteraard moet het slagtempo niet zo laag worden dat je buiten je

lichamelijk optimum voor het leveren van vermogen komt. In dat geval kun je beter kiezen voor een iets kortere riem, waardoor de kracht omlaag gaat, maar het slagtempo omhoog. Je kunt natuurlijk ook proberen om je riem zo ver mogelijk naar binnen te halen als dat tenminste mogelijk is. Wellicht komt je dol dan buiten de manchet te liggen of zit je doftgenoot in de weg.

Concluderend. Je kunt in een en dezelfde sloep dus niet zo maar met andere riemen gaan roeien. Er is een relatie tussen slagtempo, bootsnelheid, riemlengte en reach. Voor het zelfde geleverde vermogen (in een en dezelfde boot) door verschillende ploegen, zal de ene ploeg liever met een langere riem werken, wat betekent een lager slagtempo en hogere kracht op het handvat van de riem en een andere ploeg zal liever gebruik maken van een kortere riem wat een hoger slagtempo en minder kracht op de handvatten betekent. Het ligt maar precies aan je natuurlijke aanleg en waar je jezelf het prettigst bij voelt of het beste mee presteert.

Opmerking over het slagtempo.

Volgens mij moet je altijd dezelfde maximale reach houden ('ver naar voren en ver naar achteren'). Je kunt, als dat te zwaar gaat, de situatie iets beter maken door de riem wat naar binnen te halen. Daardoor gaat het slagtempo ook iets omhoog. Maar je moet de maximale reach blijven benutten. Op het moment dat de bootsnelheid omhoog gaat, doet ook het slagtempo dat. Niet andersom, de bootsnelheid gaat niet omhoog omdat het slagtempo om de verkeerde redenen hoger wordt. Die verkeerde redenen kunnen zijn: kleinere 'reach' (slaglengte wordt korter door vermoeidheid bijvoorbeeld of door het met de armen gaan roeien) of een verkeerde techniek, bijvoorbeeld door 'slip' van het blad door het water omdat hij niet gedurende de hele haal helemaal onder water zit.

Je kunt niet van tevoren zeggen we gaan vandaag met dat slagtempo roeien, dat hangt van de momentane vaarsnelheid af. Volgens mij moet je altijd gebruik maken van de maximale 'reach'. Het slagtempo past zich dan vanzelf aan de vaarsnelheid aan. Is de snelheid hoog, dan is ook het slagtempo hoger. Bij roeien kun je jezelf hiermee behoorlijk voor de gek houden door te denken dat je hard gaat omdat het slagtempo hoog is. Dat is alleen maar waar als de 'reach' en de gebruikte roeitechniek hetzelfde blijven.

Uit de formule voor het slagtempo blijkt dat het slagtempo rechtevenredig is met de vaarsnelheid (bij gelijk blijvende 'reach' en riemafmetingen uiteraard). Heb je bijvoorbeeld bij een vaarsnelheid van 2.5 m/sec een slagtempo van 30, dan is dat bij een vaarsnelheid van 2.75 m/s (10% meer) een slagtempo van 33 geworden.

7. Factoren die de snelheidsvariatie bepalen en het mini-interval effect.

Als in het hierna volgende gesproken wordt over 'snelheidsvariatie', dan wordt steeds de 'relatieve snelheidsvariatie' bedoeld, tenzij expliciet anders vermeld. De relatieve snelheidsvariatie is gelijk aan de snelheidsamplitude ($=\Delta V$), gedeeld door de gemiddelde roeisnelheid ($=V_{gem}$). (ΔV is de helft van het verschil tussen de maximale snelheid en minimale snelheid tijdens een haalcyclus)

Als de wiskundige formulering goed bekeken wordt, dan volgen daaruit een aantal conclusies:

- **Bewering 1.** Wanneer twee sloepen alleen in gewicht verschillen, verder precies dezelfde karakteristieken hebben en beide bemanningen roeien precies identiek, dan heeft de zwaarste sloep kleinere optredende versnellingen. Daardoor is voor de zwaarste sloep ook de snelheid toe- of afname kleiner en daarmee de snelheidsvariatie. In feite is dit een open deur intrappen, want het is gewoon een toepassing van Newton's wet "kracht = massa * versnelling". Bij dezelfde kracht heeft een grotere massa een kleinere versnelling.
- **Bewering 2.** Wanneer twee sloepen een gelijke C_w -waarde en gemiddelde snelheid hebben, dan is bij gelijke relatieve snelheidsvariatie het mini-interval effect (%Pfout) het grootst voor de sloep met de steilste C_w -kromme, of anders gezegd voor de sloep met de laagste B-waarde. Ook dit is logisch. Het vermogen is gedefinieerd als $C_w * v^3$. Als voor beide sloepen de snelheid met eenzelfde factor toeneemt, dan neemt alleen tengevolge van de snelheidsverandering het vermogen van beide sloepen ook met een zelfde factor toe. Van de sloep echter met de steilste C_w -kromme verandert de C_w -waarde ook sneller. Het vermogen van deze

sloep heeft bij eenzelfde relatieve snelheidsverandering dus een grotere variatie in vermogen. Dit is in feite wat de student ook al had geconstateerd.

Deze laatste bewering kan ook wiskundig worden bewezen en leidt dan tot een verband tussen de optredende snelheidsvariatie, de relatieve snelheid (= gemiddelde snelheid gedeeld door de B-waarde) en het mini-interval effect (= %Pfout).

Om dit wiskundig te bewijzen heb ik aangenomen dat de bootsnelheid sinusvormig (golfvormig) verloopt met V_{gem} als gemiddelde snelheid en ΔV als amplitude. Het berekenen van het echte vermogen in formulevorm is onmogelijk als de definitie van de C_w -kromme wordt gebruikt. Er ontstaat een analytisch niet integreerbare uitdrukking. Ik heb die uitdrukking wiskundig omgevormd naar een benaderende equivalente uitdrukking en die geïntegreerd. (Voor de geïnteresseerden: dat is gedaan met behulp van een reeksontwikkeling). Dit is, zoals gezegd, een benadering. Hoe meer termen van de reeksontwikkeling worden meegenomen des te beter is de benadering. Het resultaat voor het mini-interval effect staat hierna. (De geschreven software maakt geen gebruik van een benadering en berekent wel de exacte oplossing.)

$$\%Pfout = \frac{P_{echt} - P_{gem}}{P_{gem}} = \frac{\frac{3}{2} \left(\frac{\Delta V}{V_{gem}}\right)^2 + \left(\frac{V_{gem}}{B}\right)^2 * \left[5 \left(\frac{\Delta V}{V_{gem}}\right)^2 + \frac{15}{8} \left(\frac{\Delta V}{V_{gem}}\right)^4\right]}{1 + \left(\frac{V_{gem}}{B}\right)^2}$$

Bovenstaande uitdrukking is juist wanneer de relatieve snelheid laag is. Zodra die snelheid groter is dan 30% van de B-waarde, is de fout in de benadering al rond de 10%. Hoe groter de relatieve snelheid wordt, des te groter wordt de fout. Bovenstaande uitdrukking is daarom alleen goed voor lage relatieve snelheden. Ik heb ook een uitdrukking afgeleid met een term meer van de reeksontwikkeling. Die 'houdt het wat langer vol', maar gaat toch ook al snel afwijken, alleen wat later dan bovenstaande uitdrukking.

Sorry van de vorige alinea voor de niet-wiskundigen, maar in woorden staat hierboven het volgende:

1. Wanneer twee sloepen dezelfde snelheidsvariatie hebben ($\Delta V/V_{gem}$), dan is het mini-interval effect (%Pfout) alleen maar afhankelijk van de relatieve roeisnelheid (V_{gem}/B). Dit is dus onafhankelijk van het aantal roeiers, massa, absolute roeisnelheid, etc. (Let wel, de snelheidsvariatie zelf is uiteraard wel afhankelijk van genoemde factoren).
2. Wanneer sloepen heel ver van hun B-waarde roeien (C_w -waarde nagenoeg constant), dan is de %Pfout gelijk aan de volgende uitdrukking. Dit is tevens de laagste waarde die %Pfout kan aannemen voor een zekere snelheidsvariatie. Voor iedere andere relatieve snelheid is %Pfout groter.

$$Pfout = \frac{P_{echt} - P_{gem}}{P_{gem}} = \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta V}{V_{gem}}\right)^2$$

Voorbeeld. Als de relatieve snelheidsvariatie gelijk is aan 0.04 (=4%), dan is de relatieve vermogenfout gelijk aan $1.5 * 0.04 * 0.04 = 0.0024$ (=0.24%). Veel en veel kleiner dus, eigenlijk 4% van 4% en dat maal anderhalf.

3. Bij constante snelheidsvariatie wordt met groter wordende relatieve snelheid het %Pfout hoe langer hoe groter. Bij hogere relatieve snelheden is bovenstaande formule allang niet geldig meer en voorspelt een veel te laag %Pfout. De werkelijke %Pfout 'explodeert' bij hogere relatieve snelheden.
4. Door een andere keuze van het krachtprofiel kan de snelheidsvariatie kleiner worden en daarmee het verschil tussen het echte vermogen en het gemiddelde vermogen: 'fat middle' geeft een kleinere snelheidsvariatie dan een sinusvormig krachtprofiel en daarmee een kleiner mini-interval' effect.
5. Bovenstaande uitdrukking mag dan een benadering zijn, hij geeft wel heel goed weer wat er gedaan moet worden om het ongunstige mini-interval effect (%Pfout) zoveel mogelijk te beperken. Dat effect is afhankelijk van twee hoofdfactoren: de relatieve roeisnelheid (niet beïnvloedbaar, omdat die bepaald wordt door de roeisnelheid en de B-waarde) en van de snelheidsvariatie. Deze laatste factor kan wel worden beïnvloed door een juiste keuze van roeitechniek. Deze keuzefactoren zullen worden genoemd.

- Bewering 3. Wanneer twee sloepen even zwaar zijn, de beide bemanningen precies identiek roeien en ook het zelfde vermogen leveren, dan zijn de optredende versnellingen van de sloep met de hoogste absolute snelheid het laagst. Dat betekent dat de snelheidsvariatie van de sloep met de hoogste absolute snelheid kleiner is.

Opmerking:

Het streven is uiteraard de beperking van het ongunstige mini-interval effect: maak daarom de snelheidsvariatie zo klein mogelijk voor zover dat mogelijk is door de juiste keuze van roeitechniek. Het %Pfout kan ook op een andere verlaagd worden, namelijk door de (relatieve) snelheid te verlagen. Maar dat wil natuurlijk niemand, omdat daarmee ook het geleverde P_{gem} verlaagd wordt. Je zult dus moeten leven met dit nadeel van een steile C_w -kromme voor het mini interval effect.

Alle hierboven gedane beweringen zullen worden geverifieerd met de geschreven software.

8. Beschrijving van de software en de resultaten er van.

8.1. Beschrijving van de software.

De geschreven software berekent de natuurkundige verschijnselen tijdens een haalcyclus van een steady state situatie. De invoergegevens voor dit programma zijn: het slagtempo per minuut, de verhouding van de haaltijd en de oprijdtijd tijdens een haalcyclus, de niet bewegende massa (=bootmassa + gewicht stuurman + het niet bewegende deel van de roeiers), de wel bewegende massa (= de relatief ten opzichte van de boot bewegende massa van de roeiers). De verplaatsing van die bewegende massa is verondersteld sinusvormig te zijn. De amplitude van die verplaatsing moet worden opgegeven. Het krachtprofiel van de waterkracht op de bladen moet worden opgegeven (verloop van de kracht als functie van de tijd tijdens de haal) en de C_w -kromme gegevens moeten worden opgegeven, evenals het aantal roeiers. Ook wordt er om een schatting van de gemiddelde bootsnelheid tijdens een cyclus gevraagd.

Aan de hand van de gewenste gemiddelde snelheid, slagtempo en de C_w -kromme gegevens wordt een schatting gemaakt van het impulsverlies door de weerstandkracht (het groene oppervlak). Vervolgens wordt het ingevoerde krachtprofiel zodanig opgeschaald dat de impuls winst door de aangezette kracht gelijk is aan het impulsverlies door de waterweerstand. M.a.w. het gele oppervlak wordt gelijk gemaakt aan het geschatte groene oppervlak. Vervolgens worden met dit opgeschaalde krachtprofiel de berekeningen uitgevoerd.

Voor de geïnteresseerde wiskundigen: de formules die de haalcyclus beschrijven zijn niet-lineair en kunnen niet analytisch worden opgelost. Ze kunnen wel worden opgelost met behulp van numerieke oplossingsmethoden op de computer. Zo is het dan ook met dit probleem gedaan.

De periode van één haal is verdeeld in honderd tijdstappen. De heenweg ('haal'-tijd) in 50 gelijke stappen en de terugweg ('oprijd'-tijd) in 50 gelijke stappen. Aan het begin van de haal is de snelheid bekend (hiervoor wordt de ingevoerde geschatte gemiddelde snelheid gebruikt). Wanneer die bekend is dan volgt uit de afgeleide differentiaalvergelijking direct de bijbehorende versnelling van de boot. Uitgaande van deze bekende grootheden wordt de snelheid op het volgende tijdstip berekend. Door middel van een iteratieschema wordt er net zo lang geïtereerd totdat op het volgende tijdstip een geconvergeerde oplossing voor de snelheid is gevonden. Daaruit volgt dan direct de bootversnelling. Pas daarna wordt de daarop volgende tijdstap gemaakt.

In de laatste tijdstap wordt de snelheid aan het einde van de haalcyclus berekend. Deze snelheid zal in zijn algemeenheid verschillen van de aangenomen beginsnelheid. Met andere woorden er is met de ingevoerde grootheden (beginsnelheid, totale kracht op de bladen van de riemen, C_w -kromme, massa's, etc.) geen 'steady state' situatie bereikt. De snelheid is namelijk toe- of afgenomen. Het programma neemt dan als nieuwe beginsnelheid het gemiddelde van de vorige beginsnelheid en de berekende eindsnelheid. Vervolgens wordt met die nieuwe beginsnelheid de hele cyclus van honderd tijdstappen opnieuw doorlopen. Dit proces wordt net zo lang herhaald totdat in een cyclus de beginsnelheid gelijk is geworden aan de eindsnelheid.

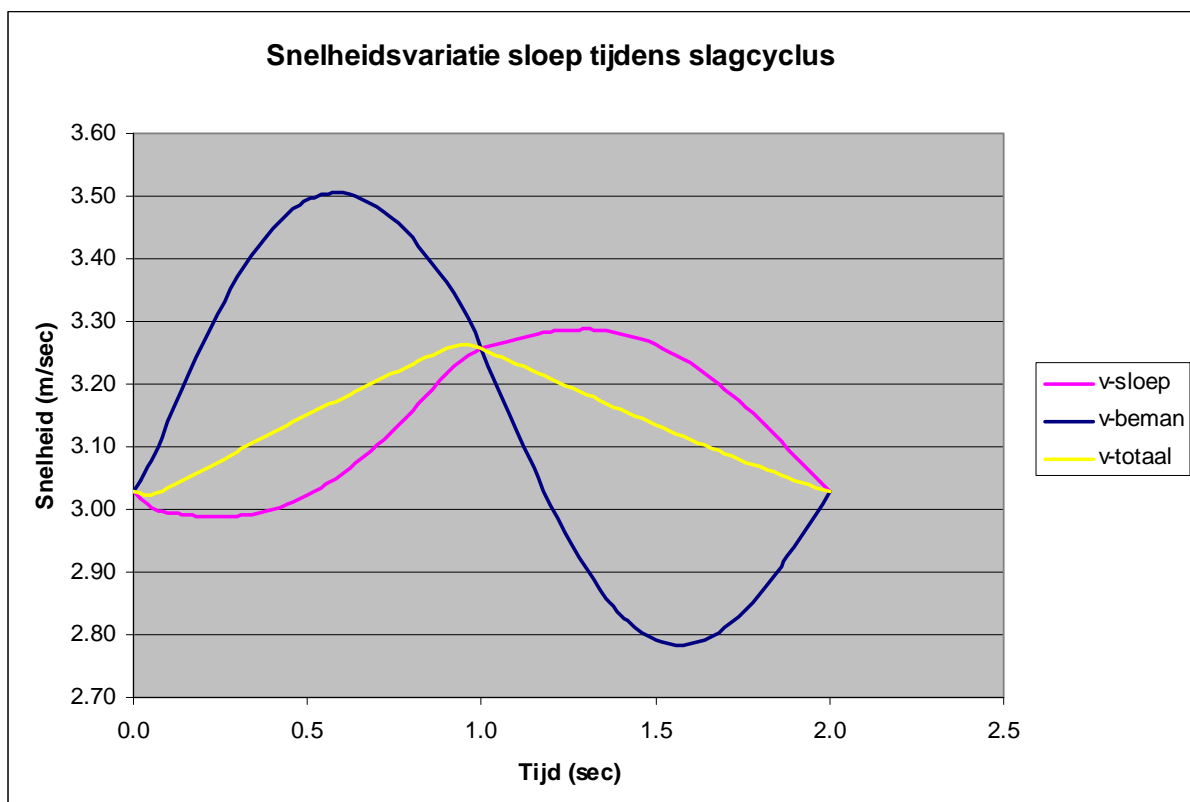
Wanneer de oplossing ook op deze wijze is geconvergeerd (juist is), worden de resulterende grootheden in een uitvoerfile weggeschreven: de maximale en de minimale snelheid, de gemiddelde snelheid, de absolute en relatieve grootte van de standaarddeviatie van de bootsnelheid, het vermogen berekend uit de gemiddelde snelheid en het echte vermogen tijdens een cyclus (berekend door integratie). Het is duidelijk dat door het berekeningsproces de uiteindelijk berekende gemiddelde snelheid een andere kan zijn dan de oorspronkelijk ingevoerde gemiddelde snelheid. Uit de berekende gemiddelde snelheid is te zien of deze te hoog of te laag is ten opzichte van de gewenste gemiddelde snelheid. Wanneer dat het geval is moet de geschatte gemiddelde snelheid worden bijgesteld en het programma opnieuw worden gedraaid. Er wordt ook een tweede uitvoerfile gecreëerd waarin de berekende snelheden en versnellingen van boot, bewegende massa en het totale zwaartepunt op ieder tijdstip staan. Er worden een aantal kolommen uitgeprint: de eerste geeft de tijd, de volgende zes kolommen de genoemde drie snelheden en versnellingen op ieder tijdstip en in de laatste kolom staat de aangezette kracht op elk tijdstip. Samen met een bijbehorend EXCEL spreadsheet kan deze file worden gebruikt om het resulterende snelheidsverloop te visualiseren. De berekende grootheden in de tweede uitvoerfile moeten dan worden gekopieerd in het spreadsheet (wijst zich van zelf).

Alle invoergegevens worden door het programma gelezen uit een apart invoerfiletje. Door de inhoud van dit filetje te wijzigen kan er een andere situatie worden doorgerekend.

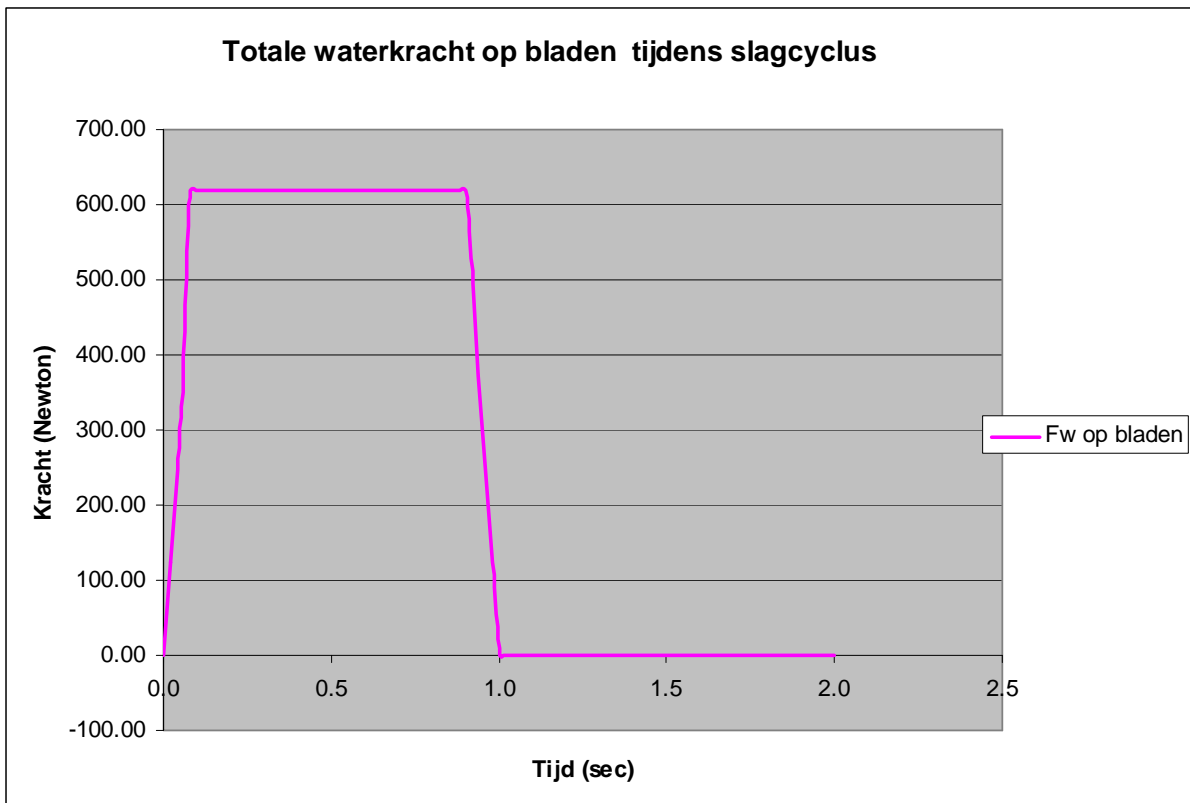
8.2. Resultaat van de berekeningen

In de volgende twee figuren staan de met EXCEL gemaakte plaatjes van de berekeningsresultaten voor een typisch geval. In de figuur 8.1 de snelheid van de sloep, de snelheid van het zwaartepunt van het bewegende gedeelte van de roeiers en de snelheid van het totale zwaartepunt.

In figuur 8.2 staat het verloop van de stuwkracht op de bladen. Het getekende verloop is ter illustratie van het 'fat middle' krachtprofiel zoals dat door Seiler is gedefinieerd.



Figuur 8.1. Snelheidsverloop van boot, bemanning en totale zwaartepunt



Figuur 8.2. Verloop van het ‘fat middle’ krachtprofiel op de bladen.

8.3. Verificatie van theoretische afleidingen

In het voorgaande heb ik een aantal beweringen gedaan, die hier met de software zullen worden geverifieerd. Er wordt met fictieve sloepen gerekend om daarmee de invloed van één bepaalde factor te laten zien. Dat kan alleen maar als die factor de enige is die verandert en alle andere factoren gelijk zijn.

Er wordt voor de fictieve sloepen altijd gebruik gemaakt van een 8H sloep, zodat het bewegende gedeelte van de bemanningmassa (M_r) het zelfde is. Er is in het navolgende steeds verondersteld dat 50 kg van een roeier **niet** beweegt ten opzichte van de boot en 45 kg dus wel. Verder wordt er altijd van een zelfde bewegingsamplitude van M_r uitgegaan (0.15m). De ‘haaltijd’ is gelijk aan de ‘oprijdtijd’ gekozen, tenzij expliciet anders vermeld.

De eerste bewering is:

Wanneer sloepen alleen in gewicht verschillen, verder precies dezelfde karakteristieken hebben en de bemanningen roeien precies identiek, dan heeft een zwaardere sloep kleinere optredende versnellingen en dus een kleinere snelheidsvariatie.

Deze bewering is onderzocht. De resultaten daarvan staan in de volgende tabel.

Tabel 8-1				
De invloed van de bootmassa op de snelheidsvariatie. Sinusvormig krachtprofiel.				
8H-sloepen ; Mr =360 kg ; amplitude Mr =0.15m ; Thaal/Toprijden=1 ; n =30 slagen/min ;				
	Sloep-1	Sloep-2	Sloep-3	Sloep-4
A-Cw	40	40	40	40
B-Cw	200	200	200	200
Vsloop	2.500	2.500	2.500	2.500
Vsloop/B-Cw	0.0125	0.0125	0.0125	0.0125
Massa	500	850	1200	1550
Vmax	2.636	2.608	2.590	2.578
Vmin	2.324	2.360	2.384	2.402
Vgem	2.497	2.498	2.499	2.499
V-variatie %	6.245 %	4.964 %	4.119 %	3.520 %
Pgem	77.89	77.98	78.03	78.09
Pecht	78.35	78.27	78.23	78.23
%Pfout	0.587 %	0.371 %	0.255 %	0.187 %
Fmax-stuwkr	786	786	786	786

Conclusies:

- De resultaten in de tabel tonen duidelijk aan dat de eerste bewering juist is. Tevens blijkt dat, zoals voorspeld, het verschil in Pecht en Pgem steeds kleiner wordt bij toenemende massa en daarmee het ongunstige mini-interval effect (%Pfout). Dat laatste is eigenlijk ook logisch, want de snelheidsvariatie wordt steeds kleiner en dus komen de echte snelheden hoe langer hoe dichter bij de gemiddelde snelheid te liggen en het echte vermogen dus dichter bij Pgem.
- Een andere conclusie uit bovenstaande resultaten is dat de theoretisch afgeleide formule voor het %Pfout correct is voor het geval Cw constant is, zoals in bovenstaande gevallen. Dit betekent dat zowel de theoretische afleiding als het softwareprogramma onafhankelijk van elkaar leiden tot identieke antwoorden en dat beide daarom juist moeten zijn.

Als voorbeeld voor Sloep-1: $\%Pfout = 1.5 * 0.06245 * 0.06245 = 0.00585 (= 0.585\%)$

- Eén van de factoren die de snelheidsvariatie bepalen (en daarmee het mini-interval effect), is dus de massa. Het is duidelijk dat deze factor niet beïnvloedbaar is door de bemanning. De massa is de massa, want we gaan immers uit van identieke bemanningen.

De tweede bewering is:

Wanneer twee sloepen een gelijke Cw-waarde en gemiddelde snelheid hebben, dan is bij gelijke snelheidsvariatie het mini-interval effect (%Pfout) het grootst voor de sloep met de steilste Cw-kromme, of anders gezegd voor de sloep met de laagste B-waarde.

De resultaten staan in de volgende twee tabellen (één voor een sinusvormig krachtprofiel en één voor het 'fat middle' krachtprofiel). Het enige verschil tussen de sloepen is de steilheid van de Cw-kromme.

Tabel 8-2				
De invloed van steilheid van de Cw kromme op de snelheidsvariatie en %Pfout. Sinusvormig krachtprofiel				
8H-sloepen ; Mb =850 kg ; Mr =360 kg ; amplitude Mr =0.15m ; Thaal/Toprijden=1 ; n =30 slagen/min				
	Sloep-1	Sloep-2	Sloep-3	Sloep-4
A-Cw	15.00	20.00	25.00	30.00
B-Cw	3.1623	3.5355	4.0825	5.0000
Vsloop	2.500	2.500	2.500	2.500
Cw bij Vsloop	40	40	40	40
Vsloop/B-Cw	0.7906	0.7071	0.6124	0.5000
Massa	850	850	850	850
Vmax	2.597	2.602	2.604	2.606
Vmin	2.351	2.354	2.357	2.358
Vgem	2.489	2.492	2.495	2.496
V-variatie %	4.956 %	4.962 %	4.964 %	4.965 %
Pgem	75.91	76.94	77.44	77.71
Pecht	78.24	78.25	78.26	78.26
%Pfout	3.070 %	1.696 %	1.056 %	0.710 %
Fmax-stuwkr	785	785	785	785

Tabel 8-3				
De invloed van steilheid van de Cw kromme op de snelheidsvariatie en %Pfout. 'Fat middle' krachtprofiel.				
8H-sloepen ; Mb =850 kg ; Mr =360 kg ; amplitude Mr =0.15m ; Thaal/Toprijden=1 ; n =30 slagen/min				
	Sloep-1	Sloep-2	Sloep-3	Sloep-4
A-Cw	15.00	20.00	25.00	30.00
B-Cw	3.1623	3.5355	4.0825	5.0000
Vsloop	2.500	2.500	2.500	2.500
Cw bij Vsloop	40	40	40	40
Vsloop/B-Cw	0.7906	0.7071	0.6124	0.5000
Massa	850	850	850	850
Vmax	2.599	2.603	2.605	2.607
Vmin	2.373	2.377	2.379	2.381
Vgem	2.489	2.493	2.495	2.497
V-variatie %	4.529 %	4.532 %	4.534 %	4.534 %
Pgem	76.08	77.05	77.52	77.78
Pecht	78.26	78.27	78.28	78.28
%Pfout	2.869 %	1.573 %	0.975 %	0.653 %
Fmax-stuwkr	556	556	556	556

Conclusies:

- Het resultaat in de tabellen toont aan dat de tweede bewering juist is: het mini-interval effect (%Pfout) is het grootst voor de sloep met de steilste Cw-kromme. Dat is helemaal in overeenstemming met het eerder theoretisch afgeleide verband. Hoe hoger de B-waarde van de Cw-kromme, des te lager de relatieve roeisnelheid (V_{gem}/B), des te kleiner het %Pfout wordt
- De resultaten tonen ook zonder meer aan dat **de steilheid van de Cw-kromme nagenoeg geen invloed heeft op de snelheidsvariatie**. Dit had ik eigenlijk niet verwacht. Bij nadere bestudering van de wiskundige formulering bleek dat dit alleen maar het geval is als de Cw-waarde en de sleepsnelheid gelijk zijn. De verschillen in optredende snelheden en versnellingen zijn dan minimaal. Bij dezelfde krachttoename neemt de snelheid van een sloep met een steile Cw-kromme minder snel toe of wat op hetzelfde neerkomt bij dezelfde snelheidtoename neemt het vermogen van de sloep met de steile Cw-kromme sneller toe. Dit is ook precies de reden dat in wedstrijden de afstand zo goed mogelijk moet worden ingevoerd. Bij een foute afstand neemt van iedere sloep weliswaar de snelheid met het zelfde percentage toe of af, maar niet de Cw-waarde en het vermogen is gerelateerd aan beide grootheden. Is de afstand te groot ingevoerd, dan hebben sloepen met een steile Cw-kromme er voordeel van omdat ze dan een Cw-waarde krijgen toebedeeld die te hoog is en daarmee een te hoog berekend vermogen. Bij een te kleine afstand gebeurt precies het omgekeerde. Sloepen met een steile Cw-kromme hebben daar dan nadeel van.

- Wat de twee tabellen ook direct duidelijk maken is dat de snelheidsvariatie (en dus het mini-interval effect) wel beïnvloed kan worden door de keuze van het krachtprofiel. Hierbij blijkt het ‘fat middle’ krachtprofiel tot een lager %Pfout leidt. Seiler heeft dus gelijk. En deze factor is wel beïnvloedbaar door de bemanning (roeitechniek keuze).

De derde bewering is:

Wanneer twee sloepen even zwaar zijn, de beide bemanningen precies identiek roeien en ook het zelfde vermogen leveren, dan zijn de optredende versnellingen van de sloep met de hoogste absolute snelheid het laagst. Dat betekent dat de snelheidsvariatie (absoluut en relatief) van de sloep met de hoogste snelheid kleiner is.

De resultaten staan in de volgende twee tabellen (beide voor een sinusvormig krachtprofiel, één tabel voor een constante Cw-waarde en één tabel voor een relatieve snelheid van 0.60). De verschillen tussen de sloepen zijn de sleepsnelheid en de Cw-waarde. Het geleverde vermogen is echter gelijk.

Opmerking.

Als de slagtempo's gelijk zijn, het geleverde vermogen gelijk is en de reach is ook gelijk (binnenboord lengte van riem daarom ook gelijk), dan kan het niet anders dan dat de snellere sloep een langere riem heeft. Dat volgt uit de formule voor het slagtempo (Hoofdstuk 6): bootsnelheid $\cdot (L1/L2) = \text{constant}$. Als L1 gelijk is (binnenboord lengte riem), dan hoort bij een hogere roeisnelheid ook een grotere L2. Ofwel de riem van de snellere sloep is langer.

Tabel 8-4				
De invloed van de roeisnelheid op de snelheidsvariatie en %Pfout. Sinusvormig krachtprofiel.				
8H-sloepen ; Mb =850 kg ; Mr =360 kg ; amplitude Mr =0.15m ; Thaal/Toprijden=1 ; n =30 slagen/min				
	Sloep-1	Sloep-2	Sloep-3	Sloep-4
A-Cw	65.75	51.20	40.64	32.80
B-Cw	200.	200.	200.	200.
Vsloop	2.300	2.500	2.700	2.900
Cw bij Vsloop	65.75	51.20	40.64	32.80
Vsloop/B-Cw	0.0115	0.0125	0.0135	0.0145
Massa	850	850	850	850
Vmax	2.418	2.615	2.813	2.754
Vmin	2.134	2.342	2.548	3.011
Vgem	2.298	2.498	2.698	2.898
V-variatie %	6.192 %	5.474 %	4.902 %	4.435 %
Pgem	99.69	99.76	99.81	99.86
Pecht	100.27	100.21	100.18	100.16
%Pfout	0.585 %	0.456 %	0.364 %	0.297 %
Fmax-stuwkr	1093	1005	931	867

Het zelfde is nogmaals uitgerekend met een niet constante Cw-waarde, maar wel zo dat alle sloepen dezelfde relatieve snelheid hebben.

Tabel 8-5				
De invloed van de roeisnelheid op de snelheidsvariatie en %Pfout. Sinusvormig krachtprofiel.				
8H-sloepen ; Mb =850 kg ; Mr =360 kg ; amplitude Mr =0.15m ; Thaal/Toprijden=1 ; n =30 slagen/min				
	Sloep-1	Sloep-2	Sloep-3	Sloep-4
A-Cw	42.08	32.77	26.01	20.99
B-Cw	3.8333.	4.1667.	4.5000.	4.8333
Vsloop	2.300	2.500	2.700	2.900
Cw bij Vsloop	65.75	51.20	40.64	32.80
Vsloop/B-Cw	0.60	0.60	0.60	0.60
Massa	850	850	850	850
Vmax	2.413	2.611	2.809	2.751
Vmin	2.129	2.338	2.545	3.008
Vgem	2.293	2.494	2.695	2.895
V-variatie %	6.188 %	5.470 %	4.900 %	4.432 %
Pgem	98.70	98.99	99.18	99.33
Pecht	100.25	100.21	100.16	100.13
%Pfout	1.571 %	1.228 %	0.983 %	0.804 %
Fmax-stuwkr	1093	1005	931	867

Conclusies:

- Inderdaad blijkt dat als de massa van de sloepen en het geleverde vermogen gelijk is, dat de snelheidsvariatie afneemt bij toenemende absolute roeisnelheid. Ook dit is een effect dat niet beïnvloedbaar is door de keuze van roeitechniek.
- De resultaten bevestigen nogmaals dat de snelheidsvariatie onafhankelijk is van de relatieve roeisnelheid (steilheid Cw-kromme), maar dat het mini-interval effect wel afhankelijk is van de relatieve roeisnelheid. Vergelijk maar overeenkomende sloepen in beide bovenstaande tabellen.

De volgende bewering is ook gedaan:

Bij gelijk blijvend krachtprofiel en gelijkblijvende verhouding van “haaltijd” en “oprijdtijd” is de maximale stuwkracht op de bladen voor een zelfde gemiddelde snelheid onafhankelijk van het slagtempo. Hetzelfde geldt voor het vermogen uit de gemiddelde snelheid. (Dat is natuurlijk logisch, want bij eenzelfde gemiddelde snelheid hoort natuurlijk eenzelfde gemiddelde vermogen)

Dit is geïllustreerd in de volgende twee tabellen. Ik heb voor een sloep zowel voor een sinusvormig krachtprofiel als voor een ‘fat middle’ krachtprofiel de berekeningsresultaten in tabelvorm gezet voor een aantal slagtempo’s. (Dat betekent in feite voor verschillende riemlengten, want bij dezelfde riemafmetingen en ‘reach’ hoort bij een zekere snelheid altijd hetzelfde slagtempo. Zie eerder). Per krachtprofiel heb ik twee sets resultaten gegeven: een set wanneer de ‘haaltijd’ en ‘oprijdtijd’ gelijk zijn en een set waarbij die verhouding 2 is (haaltijd twee maal zo lang als oprijdtijd). Alle andere grootheden blijven onveranderd.

Tabel 8-6								
Berekeningsgegevens bij gelijkblijvende gemiddelde snelheid en variërend slagtempo (=n). Sinus krachtprofiel.								
Sloep: Azorean High-8H. A= 16.45 kg/m, B=4.88 m/s. Mb=965kg. Mr=360 kg. Amplitude Mr = 0.15m								
	Haaltijd /Oprijdtijd = 1.0				Haaltijd /Oprijdtijd = 2.0			
	n=25	n=30	n=35	n=40	n=25	n=30	n=35	n=40
Vmax	3.280	3.286	3.300	3.318	3.304	3.333	3.365	3.395
Vmin	2.950	2.954	2.949	2.940	2.987	2.991	2.991	2.984
Vgem	3.141	3.142	3.141	3.141	3.142	3.142	3.143	3.142
V-variatie	5.255 %	5.280 %	5.578 %	6.018 %	5.045 %	5.441 %	5.955 %	6.551 %
Pgem	108.85	108.87	108.72	108.79	108.92	108.95	109.10	108.93
Pecht	110.36	110.38	110.39	110.74	110.21	110.39	110.83	111.06
%Pfout	1.387 %	1.389 %	1.537 %	1.789 %	1.188 %	1.327 %	1.592 %	1.950 %
Fmax-stw	879	879	879	881	664	659	671	675
Cyclustijd	2.4 sec	2.0 sec	1.714 sec	1.50 sec	2.4 sec	2.0 sec	1.714 sec	1.50 sec
Haaltijd	1.2 sec	1.0 sec	0.857 sec	0.75 sec	1.6 sec	1.33 sec	1.142 sec	1.00 sec

Tabel 8-7								
Berekeningsgegevens bij gelijkblijvende gemiddelde snelheid en variërend slagtempo (=n). “Fat middle” kr.pr.								
Sloep: Azorean High-8H. A= 16.45 kg/m, B=4.88 m/s. Mb=965kg. Mr=360 kg. Amplitude Mr = 0.15m								
	Haaltijd /Oprijdtijd = 1.0				Haaltijd /Oprijdtijd = 2.0			
	n=25	n=30	n=35	n=40	n=25	n=30	n=35	n=40
Vmax	3.282	3.287	3.301	3.317	3.300	3.325	3.350	3.375
Vmin	2.981	2.987	2.975	2.958	3.014	3.015	3.003	2.985
Vgem	3.143	3.143	3.141	3.140	3.137	3.133	3.128	3.121
V-variatie	4.785 %	4.786 %	5.178 %	5.711 %	4.565 %	4.953 %	5.562 %	6.255 %
Pgem	109.07	109.02	108.85	108.60	108.21	107.58	106.78	105.83
Pecht	110.39	110.40	110.43	110.47	109.28	108.86	108.36	107.79
%Pfout	1.209 %	1.268 %	1.451 %	1.723 %	0.990 %	1.186 %	1.480 %	1.856 %
Fmax-stw	622	622	622	622	466	466	466	466
Cyclustijd	2.4 sec	2.0 sec	1.714 sec	1.50 sec	2.4 sec	2.0 sec	1.714 sec	1.50 sec
Haaltijd	1.2 sec	1.0 sec	0.857 sec	0.75 sec	1.6 sec	1.33 sec	1.142 sec	1.00 sec

Conclusies:

- De Fw-max en het vermogen berekend uit de gemiddelde snelheid zijn inderdaad onafhankelijk van het slagtempo onder de gegeven voorwaarden (krachtprofiel gelijk, etc).
- Voor het ‘fat middle’ krachtprofiel is aanzienlijk minder maximale kracht vereist, maar moet per cyclus wel over een langere tijd worden aangehouden.
- Het is ook duidelijk uit deze resultaten dat een hoger slagtempo leidt tot een hogere snelheidsvariatie en daarmee direct tot een groter mini-interval effect (%Pfout). Dit pleit voor een lager slagtempo om het mini-interval effect zoveel mogelijk te beperken. Daar komt ook nog bij dat per slag de buigenergie in de riem die verloren gaat en het feit dat er energie nodig is om de armen en het bovenlichaam te bewegen. Een gedeelte van deze laatste energie komt terug in de bootsnelheid, maar niet alles. Dit pleit dus allemaal voor een lager slagtempo. Maar een te laag slagtempo is ook niet goed. Ook hiervoor geldt dat er een optimum moet zijn die iedere ploeg zelf moet ontdekken. Een ander nadeel van een te hoog slagtempo is fysiologisch. In het voorgaande is aangetoond dat voor een bepaalde snelheid altijd de zelfde maximale kracht vereist is. Bij een hoger slagtempo moet dus meerdere malen per tijdseenheid die maximale kracht aangezet worden. Dat gaat voor een hoger slagtempo gepaard met een snellere kracht toe- en afname in de spieren en pezen. Het gaat meer naar een stootbelasting toe, wat mijn inziens slecht is ten opzichte van een maximale kracht over een langere tijd aangezet (lager slagtempo).
- Het ‘fat middle’ krachtprofiel leidt tot een lagere snelheidsvariatie en daarmee ook tot een lager mini-interval effect. Seiler heeft dus gelijk: het ‘fat middle’ krachtprofiel geeft de kleinste afwijkingen.
- Fysiologisch gezien is het rechtergedeelte van de tabellen lastig te realiseren. (Haaltijd/oprijdtijd=2). Dit vereist een asymmetrische beweging.

In het voorgaande is ter verificatie van een aantal beweringen, een paar maal gebruik gemaakt van fictieve sloepen. Criticasters zouden nu kunnen denken dat dit dan geldig mag zijn voor fictieve sloepen, maar zich afvragen hoe het dan zit als het echte sloepen betreft. Daarom ter illustratie de volgende tabellen met de resultaten voor ‘echte’ sloepen

In de eerste plaats de invloed van de massa. Om alleen de invloed van de massa te onderzoeken, moet de invloed van de sleepsnelheid ten opzichte van de B-waarde worden uitgesloten. Daarom zijn een aantal sloepen vergeleken met ongeveer dezelfde relatieve sleepsnelheid, maar met verschillende massa's.

De overige inputs zijn uiteraard gelijk: slagtempo = 30 per minuut, Thaal/Toprijden = 1.0 de amplitude van de bewegende massa van de roeiers is 0.15m en er is een sinusvormig krachtprofiel verondersteld. Alle sloepen zijn 8H.

Tabel 8-8					
De invloed van de massa op de snelheidsvariatie					
Slagtempo=30 ; Thaal/Toprijden=1 ; amplitude Mr = 0.15m ; Sinusvormig krachtprofiel.					
	Trewes-1	Pollux-8H	Zeeotter II	't Haakie	Leugenaar
Vsloop	2.500	2.600	2.600	2.400	2.800
Vsloop/B-Cw	0.6250	0.6250	0.6205	0.6234	0.6236
Massa	1350	960	922	837	425
Vmax	2.584	2.700	2.702	2.505	2.935
Vmin	2.383	2.461	2.457	2.254	2.618
Vgem	2.496	2.595	2.595	2.394	2.792
V-variatie	4.031%	4.601%	4.730%	5.232%	5.666%
Pgem	88.71	86.71	88.21	75.16	75.72
Pecht	89.37	87.55	89.09	76.08	76.81
%Pfout	0.741%	0.961%	0.997%	1.229%	1.436%
Fmax-stuwkr	897	845	860	795	688

Conclusie:

De resultaten tonen duidelijk aan dat, evenals voor de fictieve sloepen, de massa de snelheidsvariatie drukt en daarmee het mini-interval effect (%Pfout).

Het blijkt dat de invloed van de massa op de snelheidsvariatie groter is dan de invloed van de absolute vaarsnelheid. Dit wordt duidelijk uit de snelheidsvariatie van de Leugenaar. De snelheidsvariatie van deze sloep is het grootst, ondanks het feit dat zijn absolute snelheid het hoogst is. Vanwege die snelheid zou hij juist de kleinste snelheidsvariatie moeten hebben. Dat kan alleen maar als de invloed van de massa op de snelheidsvariatie groter is dan die van de absolute vaarsnelheid, want de Leugenaar is ook de lichtste sloep.

In Tabel 8-9 zijn de resultaten weergegeven voor ongeveer even zware sloepen, maar met een andere relatieve sleepsnelheid (Vsloop/B). Voor de andere variabelen zijn dezelfde aannamen gedaan als voor de berekeningen in Tabel 8-8.

Tabel 8-9					
De invloed van de verhouding sleepsnelheid t.o.v. de B-waarde op de snelheidsvariatie.					
Slagtempo=30 ; Thaal/Toprijden=1 ; amplitude Mr = 0.15m ; Sinusvormig krachtprofiel.					
	Haarlemmerhout	Gebr.vA-8H	Twister-8H	Moos-8H	Corn.Dou-8H
Vsloop	2.800	2.800	2.700	2.700	2.500
Vsloop/B-Cw	0.7311	0.6983	0.6383	0.5973	0.5556
Massa	546	530	550	550	550
Vmax	2.923	2.922	2.826	2.823	2.623
Vmin	2.614	2.630	2.519	2.538	2.338
Vgem	2.788	2.791	2.692	2.694	2.494
V-variatie	5.535%	5.237%	5.715%	5.297%	5.715%
Pgem	92.35	75.52	89.30	70.53	65.12
Pecht	94.61	76.87	90.70	71.32	65.85
%Pfout	2.448%	1.787%	1.569%	1.125%	1.118%
Fmax-stuwkr	848	689	843	663	661

Conclusie:

De resultaten zijn weer helemaal in lijn met de resultaten voor de fictieve sloepen. De snelheidsvariatie van even zware sloepen is onafhankelijk van de relatieve roeisnelheid (steilheid van de Cw-kromme). Als gevolg daarvan neemt het %Pfout toe met toenemende steilheid van de Cw-kromme (relatieve roeisnelheid). Ook dit is geheel in lijn met de resultaten voor de fictieve sloepen.

In het voorgaande zijn er een aantal parameters gevarieerd, behalve de amplitude van Mr, het bewegende gedeelte van de massa van een roeier. De amplitude is de uitslag van het zwaartepunt van het bovenlichaam. De 'reach' is hieraan als volgt gerelateerd. De 'reach' is gelijk aan tweemaal die amplitude vermeerderd met het verschil van de armlengte gestrekt (begin van de haal) en gebogen (einde van de haal). In tabel 8-10 is de invloed van die amplitude gegeven voor steeds dezelfde sloep en een vast slagtempo van 30 slagen per minuut.

De invloed van de amplitude van Mr. Sinusvormig krachtprofiel.				
Slagtempo=30 slagen/min ; Thaai/Toprijden=1 ; 8H-sloep				
	Amplitude = 0.05m	Amplitude = 0.10m	Amplitude = 0.15m	Amplitude = 0.20m
A-Cw	32.77	32.77	32.77	32.77
B-Cw	4.1677	4.1667	4.1667	4.1667
Vsloop	2.500	2.500	2.500	2.500
Cw bij Vsloop	51.20	51.20	51.20	51.20
Vsloop/B-Cw	0.60	0.60	0.60	0.60
Massa	850	850	850	850
Vmax	2.595	2.593	2.611	2.636
Vmin	2.381	2.362	2.338	2.311
Vgem	2.497	2.496	2.494	2.491
V-variatie %	4.273 %	4.634 %	5.470 %	6.530 %
Pgem	99.45	99.26	98.97	98.56
Pecht	100.11	100.13	100.18	100.26
%Pfout	0.665 %	0.874 %	1.227 %	1.726 %
Fmax-stuwkr	1005	1005	1005	1005

Conclusie:

Het **lijkt** voor het mini-interval effect gunstig te zijn om met een zo klein mogelijke amplitude te roeien, met andere woorden met een nagenoeg bewegingloos bovenlichaam. Met recht staat er 'lijkt', want dit is in feite een onrealistische voorstelling van zaken en wel om de volgende redenen. In de eerste plaats wordt de 'reach' hoe langer hoe kleiner als de amplitude kleiner wordt. In feite wordt er voor een amplitude bijna gelijk aan nul alleen maar met de armen geroeid (het bovenlichaam staat immers stil). In de tweede plaats is het slagtempo constant verondersteld. Dat kan bij gelijkblijvende vaarsnelheid en kleinere 'reach' alleen maar als de riem langer wordt (L1/L2 wordt dan kleiner). In de derde plaats is de stuwkracht op de bladen bij een zekere snelheid constant. Het gevolg is dan dat bij een kleinere bewegingsamplitude de riem langer moet worden met dezelfde stuwkracht op het blad, waardoor er op het handvat van de riem door de hefboomwerking een veel grotere kracht komt (het 'verzet' is immers veranderd). En als klap op de vuurpijl moet die grotere kracht ook nog eens worden opgebracht door de armen alleen, waarmee veel minder kracht gezet kan worden dan door gebruik te maken van het lichaamsgewicht. Met andere woorden, het 'lijkt' inderdaad gunstig, maar is in feite een onmogelijke situatie. Het verkleinen van de amplitude is daarom geen realistische optie.

Men kan zich nu afvragen wat het gevolg is als we de riem niet langer maken, maar het slagtempo door de kleinere 'reach' omhoog laten gaan? Een afschatting van de resulterende slagtempo's voor de verschillende amplitudes heeft dan als resultaat: 37, 33, 30 en 27. Al eerder is duidelijk gemaakt dat een hoger slagtempo ongunstig is (mechanisch zowel als fysiologisch), Daarnaast blijft echter het nadeel bestaan dat dan weliswaar de kracht op het handvat niet omhoog gaat, maar wel dat die kracht alleen met de armen moet worden opgebracht. Ook dit is daarom geen realistische optie.

9. Overall conclusies.

1. Voor een zo hoog mogelijke snelheid moet de impulsstroom door de slag (het 'gele oppervlak') zo groot mogelijk worden gemaakt. Daarbij is niet alleen de maximale kracht van belang, maar ook de tijdsduur dat de kracht wordt aangezet.
2. Door verbetering van kracht, techniek, conditie en mentaliteit of de combinatie daarvan gaat de roeiprestatie omhoog. Er moet worden geprobeerd om de effecten van een verkeerde techniek te minimaliseren ('blauwe' oppervlakken zo klein mogelijk maken).
3. Bij een constante gemiddelde roeisnelheid en hetzelfde krachtprofiel is de maximale kracht tijdens de haal onafhankelijk van het slagtempo.
4. Bij dezelfde gemiddelde snelheid en het zelfde krachtprofiel is de som van alle reactiekrachten op de bladen altijd het zelfde en helemaal onafhankelijk van de riemlengte. Bij dezelfde vaarsnelheid is het daarvoor benodigde vermogen namelijk altijd gelijk. Dat betekent niet dat de kracht op het handvat van de riem bij dezelfde vaarsnelheid altijd hetzelfde is. Die is wel afhankelijk van de riemlengte en de buitenboord-binnenboord lengteverhouding van de riem. Deze factoren bepalen het 'verzet' van de riem. Het 'verzet' bepaalt de kracht op het handvat en de aanhaalsnelheid (slagtempo). De combinatie van de twee is echter altijd zo dat bij dezelfde vaarsnelheid altijd hetzelfde vermogen wordt geleverd. Ieder individu kan een andere optimale combinatie van deze twee factoren hebben.
5. Bij dezelfde roeisnelheid, dezelfde riemafmetingen en binnenboord-buitenboord lengteverhouding van de riem hoort altijd hetzelfde slagtempo. Als dat niet zo is, dan is de 'reach' (slaglengte binnenboord) veranderd. Dat kan bijvoorbeeld doordat er niet meer even ver naar voren wordt gereikt of achterover wordt gehangen (vermoeidheid), er met de armen geroeid wordt etc. Als de 'reach' niet veranderd is en het slagtempo is bij dezelfde snelheid toch omhoog gegaan, dan wordt er technisch niet goed meer geroeid waardoor er slip van het blad door het water optreedt. Dat kan bijvoorbeeld doordat het blad tijdens de gehele haal niet helemaal onder water zit, maar er halve 'luchtslagen' worden gemaakt, of er wordt geroeid met een gekanteld blad, etc. Je kunt niet bij een bepaalde gemiddelde snelheid iedere keer met een ander slagtempo roeien, tenzij je concessies doet aan de 'reach'. Bij iedere snelheid hoort een ander slagtempo. Hoe hoger de snelheid des te hoger het slagtempo. Hiermee kun je jezelf ook voor de gek houden, door te denken "ik roei met een hoog slagtempo, dus ik ga hard". Dat is alleen maar waar als je de 'reach' niet hebt veranderd en je technisch goed blijft roeien.
6. Het ongunstige mini-interval effect (%Pfout) wordt bepaald door twee factoren.
 1. Door de relatieve roeisnelheid (V_{gem}/B). Deze factor kan niet worden beïnvloed, omdat zowel de roeisnelheid als de B-waarde vastliggen.
 2. Door verlaging van de snelheidsvariatie ($\Delta V/V_{gem}$). Deze is afhankelijk van een aantal factoren.
 - o De massa. Een hogere massa geeft een lagere snelheidsvariatie en dus mini-interval effect.
 - o Bij hetzelfde geleverde vermogen en dezelfde massa, heeft de sloep met de hoogste roeisnelheid de kleinste snelheidsvariatie. Deze factor is ook niet beïnvloedbaar.
 - o Het 'fat middle' krachtprofiel leidt tot een lagere snelheidsvariatie. Deze factor is wel beïnvloedbaar door de roeitechniekkeuze
 - o Het slagtempo. Hoe hoger het slagtempo des te hoger de snelheidsvariatie.
 - o De amplitude van M_r verkleinen lijkt gunstig, maar is in de praktijk een onrealistische optie.
 - o Wanneer sloepen dezelfde C_w -waarde en sleepsnelheid hebben, dan is de snelheidsvariatie **niet** afhankelijk van de steilheid van de C_w -kromme (V_{gem}/B).

Voor wat betreft het mini-interval effect heeft iedere sloep een andere combinatie van factoren. Echte verschillen tussen sloepen kunnen alleen worden uitgerekend aan de hand van de echte sleep- en bemanningkarakteristieken. Lange, zware sloepen zijn in het voordeel voor wat betreft het mini-interval effect. Hun V_{gem}/B is laag en hun roeisnelheid relatief hoog (beide door de sloeplengte) en hun massa is hoog. Alle drie de factoren zorgen voor een laag mini-interval effect. De bewering van de student dat juist zware sloepen in het nadeel zouden zijn, is daarom niet juist gebleken.

10. Gebruikte symbolen en hun betekenis.

A	De A-waarde van de Cw-kromme
B	De B-waarde van de Cw-kromme
Cw	De actuele Cw-waarde bij een vaarsnelheid = $A / (1 - (V / B)^2)$ [kg/m]
Cw gem	De Cw-waarde bij de gemiddelde bootsnelheid tijdens de haalcyclus [kg/m]
F	Symbool voor kracht. Dimensie is Newton [N]
Fs	Maximale waterkracht op de bladen voor sinusvormig krachtprofiel [N]
Ffat	Maximale waterkracht op de bladen voor 'fat middle' krachtprofiel [N]
Fw	Totale kracht van het water op de bladen. [N]
L1	Binnenboord riemlengte [m]
L2	Buitenboord riemlengte [m]
Mb	Bootmassa vermeerderd met het gewicht stuurman (=95 kg voor een stuurman en 75 kg voor een stuurvrouw) en het gewicht van het niet bewegende deel van de bemanning. [kg]
Mr	De massa van het wel bewegende deel van de bemanning. [kg]
Amplitude Mr	Amplitude van het zwaartepunt van het bewegende deel van de bemanning. [m]. Let er op dat dit zwaartepunt ongeveer ter hoogte van het borstbeen zit.
Mtotaal	Het totale gewicht = Mb + Mr [kg]
m	Symbool voor massa [kg]
n	Slagtempo. [slagen per minuut].
Vmax	Maximale bootsnelheid tijdens een haalcyclus [m/sec]
Vmin	Minimale bootsnelheid tijdens een haalcyclus [m/sec]
Vgem	Gemiddelde bootsnelheid tijdens een haalcyclus [m/sec]. Let er op dat dit niet het gemiddelde van Vmax en Vmin hoeft te zijn.
Vsleep	Sleepsnelheid = roeisnelheid [m/sec]
ΔV	Absolute variatie van de bootsnelheid tijdens een cyclus = $(V_{max} - V_{min})/2$. [m/sec]
$(\Delta V / V_{gem})$	= V-variatie. Relatieve variatie van de bootsnelheid tijdens een cyclus = $(V_{max} - V_{min}) / (2V_{gem})$ [m/sec]
(V_{gem} / B)	De relatieve bootsnelheid
v	Symbool voor snelheid [m/sec]
Pecht	Het echte door de bemanning geleverde vermogen . [Watt]
Pgem	Het vermogen berekend uit de gemiddelde snelheid = $Cw_{gem} * V_{gem}^3$ [Watt]
ΔP	Het verschil tussen Pecht en Pgem per bemanningslid [Watt]
%Pfout	= Pverschil. Het mini-interval effect = $\Delta P / P_{gem}$
'reach'	Verplaatsing van het handvat van de riem binnenboord [m]. De 'reach' is tweemaal 'amplitude Mr' vermeerderd met het verschil tussen gestrekte en gebogen armen.
t	Symbool voor tijd [sec]
T	Tijd van een 'haalcyclus' = $60 / n$ [sec]
T1	'Periode' van de haal = $2 * \text{'haaltijd'}$ [sec]
T2	'Periode' van het oprijden = $2 * \text{'oprijdtijd'}$ [sec]

