

Formule-1-techniek voor de Lemsteraak



Figuur 1. De 15,25 m BS2 zeilende aan de wind. Van Oossanen Naval Architects ontwierp en optimaliseerde dit schip met gebruik van CFD-technieken.

Nederland kent een rijke historie aan karakteristieke en traditionele schepen. Een bijzondere klasse binnen de traditionele schepen betreft de zogenaamde “Lemsteraken”. Dit type schip, van origine ontworpen en gebouwd om te vissen op de Zuiderzee vanuit Lemmer, wordt tot op de dag van vandaag nog nieuw ontworpen en gebouwd. Er is een sterk en actief wedstrijdveld aanwezig binnen de Lemsteraken. Nieuwe ontwerptools zoals *Computational Fluid Dynamics*, samen met brede hydrodynamische kennis, maken het mogelijk de prestaties van deze traditionele schepen sterk te verbeteren.

Om deel te kunnen nemen aan wedstrijden moet een Lemsteraak een door het Koninklijk Nederlands Watersport Verbond (KNWV) verstrekte meetbrief hebben. Het verbond eist daarbij dat het schip voldoet aan de criteria van de Stichting Stamboek Rond- en Platbodemschepen (SSRP). Deze behoudsorganisatie draagt zorg dat nieuwe rond- en platbodemschepen traditionele kenmerken bezitten. De criteria van de SSRP hebben een grote invloed op de lijnen van de rompvorm. Een voorbeeld hiervan is de verdeling van het volume in het voor- en achterschip. Het betreffende criterium stelt dat er acht procent meer volume in het voorschip moet zitten dan in het achterschip. De traditionele Lemsteraak heeft een “vol” voorschip, hetgeen goed is bij de relatief lage snelheden die men vroeger met geladen schepen behaalde. Bij de snelheden onder zeil die men tegenwoordig haalt, is de drukweerstand (verantwoordelijk voor het ontstaan van golven) echter primair. Het is dan juist belangrijk minder volume in het voorschip onder te brengen. De SSRP staat dit

echter niet toe. Een modern zeiljacht heeft juist meer volume in het achterschip. Zo zijn er nog meer criteria waaraan de ontwerper zich dient te houden die niet gunstig zijn voor de zeilprestaties. Bij nieuwe ontwerpen kan de weerstand van een romp tegenwoordig worden bepaald met zogenoemde Computational Fluid Dynamics, kortweg CFD. CFD wordt breed toegepast in bijvoorbeeld de vliegtuigbouw en bij het ontwikkelen van Formule-1-racewagens.

Weerstand optimaliseren met CFD

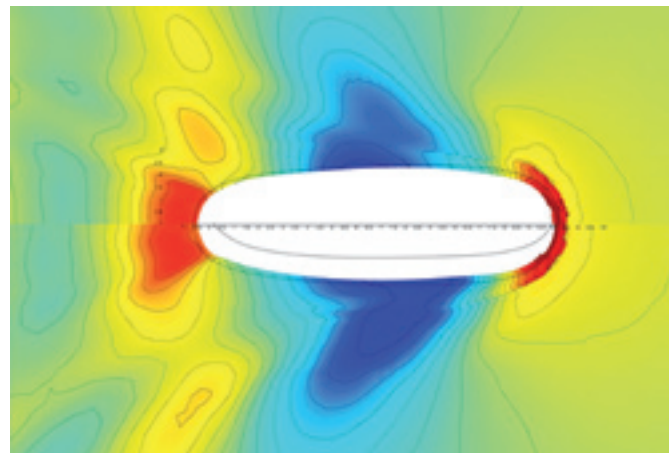
Met behulp van CFD-berekeningen is het sinds enkele jaren mogelijk de stroming rond een jacht en zijn appendages in detail nauwkeurig te berekenen en te visualiseren. Tevens wordt de weerstand, en indien van toepassing de dwarskracht, uitgerekend. Dit kan op modelschaal (in aanvulling op eventueel uit te voeren modelproeven) en voor het feitelijke schip.

Doordat dit voor het feitelijke schip kan worden uitgerekend, hoeven er geen schaalwetten te worden toegepast, zoals bij modelproeven wel noodzakelijk is (zie ook de referenties in het kader op de volgende pagina). Dit maakt deze methodiek, met name wanneer stromingsloslating en effecten van ondiep water ook moeten worden beschouwd, nauwkeuriger dan modelproeven. Hierbij is het wel van belang dat een "high-end" CFD-softwarepakket wordt toegepast, aangezien niet elke CFD-code hiervoor geschikt is. Voor het uitvoeren van CFD-berekeningen is het nodig een eindig domein rond het betreffende schip te definiëren. Het volume in dit domein wordt vervolgens opgedeeld in miljoenen kleine volume-deeltjes die cellen worden genoemd. Alle cellen samen maken een grid, ook wel een *mesh* genoemd. Rondom appendages en discontinuïteiten in de scheepsvorm worden er verfijningen in het mesh aangebracht, bestaande uit nog fijnere cellen, die waarborgen dat ook de kleine details in de stroming goed worden meegenomen. Voor een Lemsteraak met appendages, zwaard en roer, varend aan de wind, is een mesh van minimaal circa 5,5 miljoen cellen nodig. Er zijn verschillende methodieken die worden gebruikt binnen CFD. Zo zijn er pakketten die alleen kijken naar de drukverdeling rond het schip. Hierbij wordt aangenomen dat er geen viscositeit (de stroperigheid van het water) aanwezig is. Een meer geavanceerd pakket is gebaseerd op Reynolds Average Navier Stokes (Rans)-vergelijkingen, waarbij zowel naar de wrijvingskrachten als naar de drukverdeling rond het object wordt gekeken, inclusief de onderlinge invloeden daarvan. In elke afzonderlijke cel worden de niet-lineaire differentiaal-stromingsvergelijkingen opgelost. Dergelijke vergelijkingen hebben een zogenaamd sluitingsmodel nodig om tot een oplossing te komen. Meestal wordt als sluitingsmodel de turbulentie in de stroming omschreven.

Bij het toepassen van CFD in de ontwerpcyclus wordt in eerste instantie gekeken naar een romp zonder appendages, varend zonder helling en drift. Diverse variaties van het basislijnenplan worden met CFD bestudeerd. De weerstand van een scheepsromp is onder te verdelen in wrijvings- en drukweerstand. De wrijvingsweerstand is afhankelijk van het natte oppervlak van de romp, terwijl de drukverdeling meer afhankelijk is van de vorm en de volumeverdeling van de romp. Bij de lage snelheid heeft de wrijvingskracht van het water meer invloed op de weerstand dan de drukverdeling. Naarmate de snelheid toeneemt, zal de invloed van de vorm en de volumeverdeling van de romp groter worden. Het is deze drukweerstand die de golfvorming veroorzaakt. De analyses worden veelal bij drie verschillende snelheden uitgevoerd waardoor een goed beeld van de weerstandskarakteristiek ontstaat.

Stroomlijnen visualiseren

Naast de bepaling van de weerstand is het ook mogelijk de stroomlijnen op en rond de romp te visualiseren. Deze stroomlijnen geven informatie over het verloop van de stroming en potentiële problemen. Een zogenaamde losgelaten stroming, een stroming die de kromming van de romp van het jacht niet meer kan volgen, heeft een lage snelheid en is duidelijk te onderkennen in de stroomlijn-



Figuur 2. Vergelijk van twee ontwerpen waarbij het onderste ontwerp meer golfweerstand heeft dan het bovenste ontwerp



Figuur 3. Stroomlijnen op de romp van een traditionele Lemsteraak

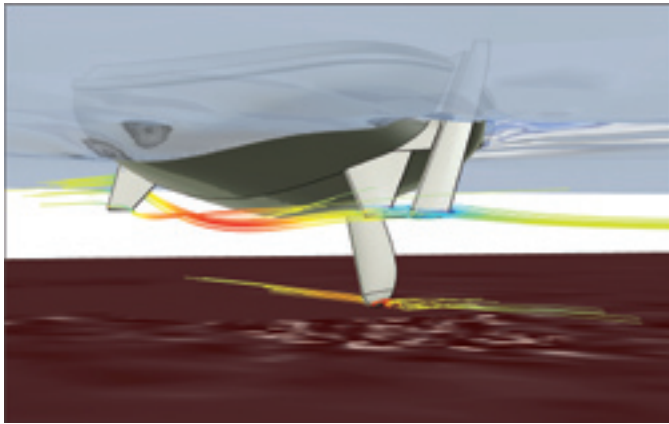
Van Oossanen Naval Architects

Van Oossanen Naval Architects bestaat sinds 1992 en heeft een brede kennis op het gebied van hydrodynamica. Hierdoor kunnen nieuwe technieken als CFD worden ingezet bij verschillende toepassingen. Drie CFD-experts werken er fulltime aan de analyses en ontwikkeling van de code. De analyses worden uitgevoerd op een rekencluster met 210 CPU's. Het bedrijf is niet alleen actief in jachten, maar ook op het gebied van de commerciële vaart zoals bagger-, container-, binnen- en zeevaart.

Voor verdere informatie:

- www.oossanen.nl
- Youtube: [vanoossanenna](https://www.youtube.com/user/vanoossanenna)
- Facebook: [Van-Oossanen-Naval-Architects-bv](https://www.facebook.com/Van-Oossanen-Naval-Architects-bv)
- Twitter: [@oossanen](https://twitter.com/oossanen)

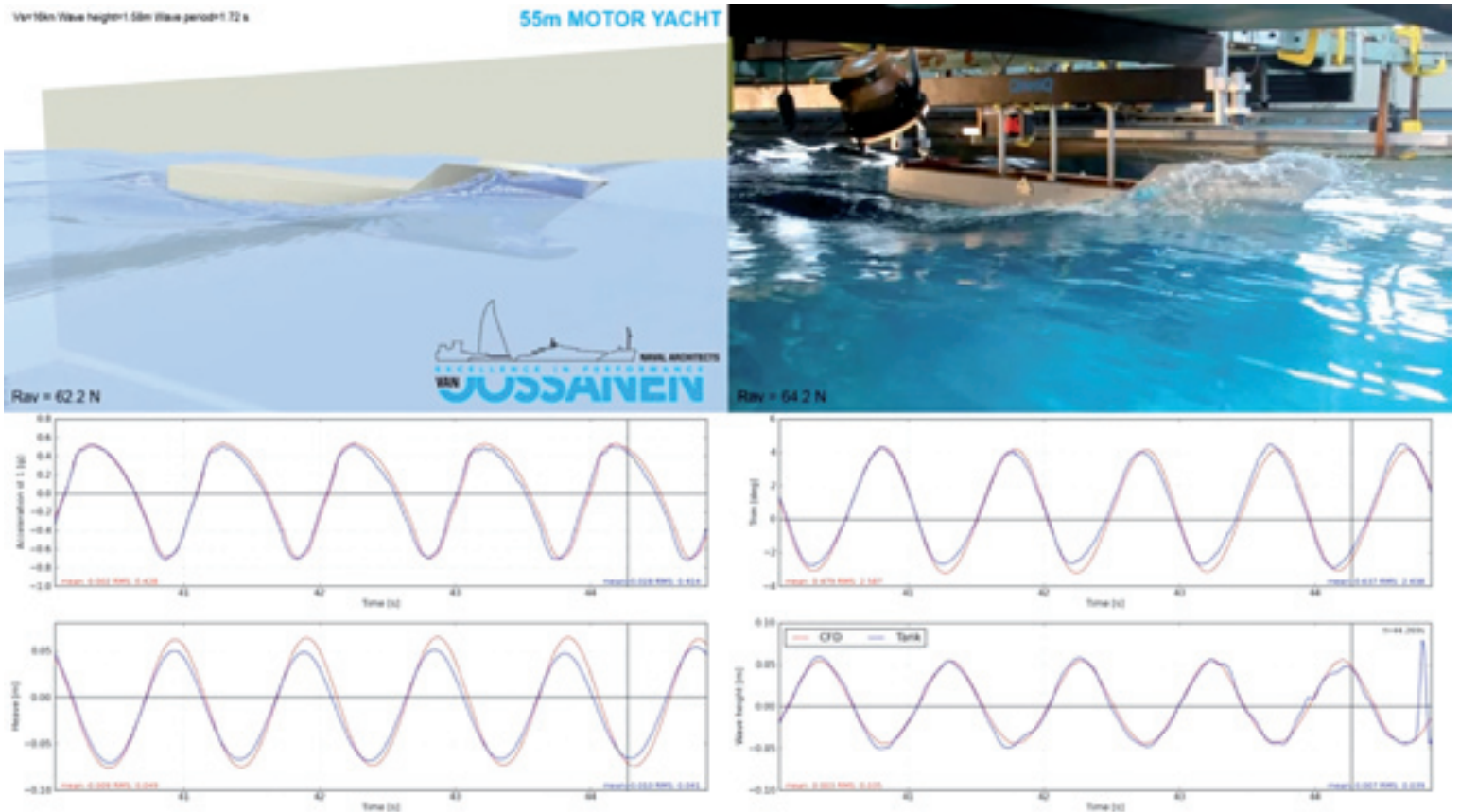
beelden die via *post-processing* van de CFD-resultaten is te maken. In sommige gevallen zal de losgelaten stroming een sterke wervel veroorzaken en zal de stroming zich soms stroomopwaarts bewegen. Dit wordt getoond in figuur 3.



Figuur 4. Lemsteraak zeilende aan de wind op ondiep water met alle appendages

Indien op basis van de CFD-berekeningen voor de rechtopconditie een of meer goede rompconcepten zijn bepaald, worden deze ontwerpen ook in een aan-de-windse conditie geanalyseerd, met alle appendages. Omdat deze berekeningen erg complex zijn, worden deze alleen uitgevoerd voor de rompen met een hoge potentie. Uit deze berekening volgt dan de weerstand van het ontwerp bij een gegeven helling- en drifthoek, alsook de dwarskracht die de romp met appendages kan genereren om de dwarskracht van de zeilen tegen te kunnen gaan.

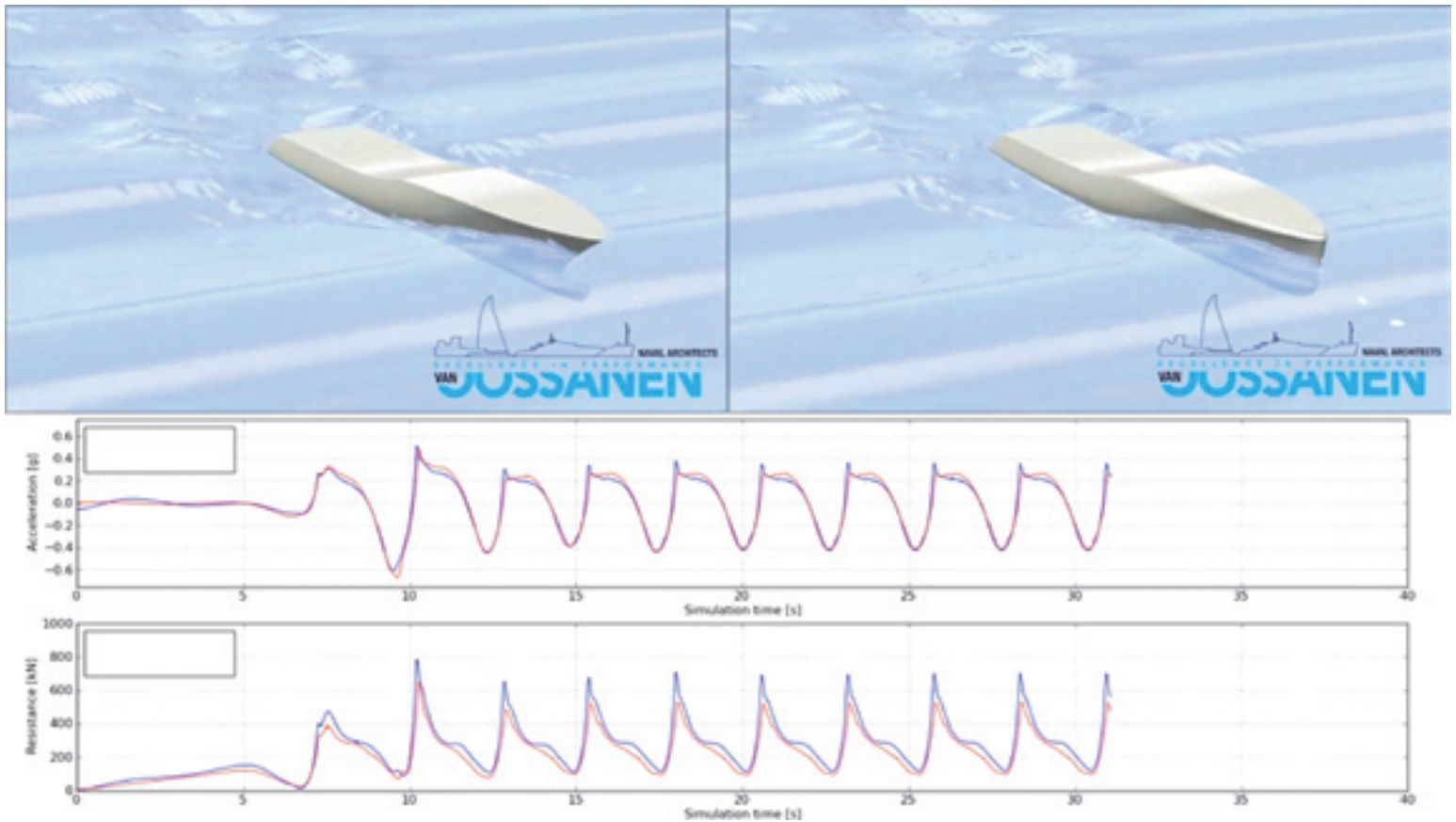
Figuur 5. Validatie van scheepsbewegingen



Appendages optimaliseren

Naast het optimaliseren van de romp is het ook mogelijk de appendages, zoals loefbijter, roer en zwaarden, met CFD te optimaliseren. Dergelijke optimalisaties moeten worden gedaan met het jacht onder helling en drift – varende aan de wind. In figuur 4 wordt een met CFD bepaald beeld gegeven van een Lemsteraak varende op ondiep water, waarbij ook de stroming nabij de onderkant van de appendages zijn gevisualiseerd. Het bruine vlak geeft de bodem van het domein aan.

Wanneer dwarskracht wordt geproduceerd op zwaard, loefbijter, scheg en roer gaat dit altijd gepaard met weerstand. Deze weerstand wordt in grote mate bepaald door de wervel die ontstaat ten gevolge van de omstroming aan de onderkant van deze appendages, van hoge naar lage drukzijde. In figuur 4 is deze wervel aan de onderkant van het zwaard goed te zien. Hier krullen de stroomlijnen over elkaar heen. De lage druk ontstaat op de “bolle” kant van het zwaard (aan de loefzijde van het zwaard) en de hoge druk heerst op de “vlakke” kant van het zwaard (aan de lijzijde van het zwaard). De zwaarden, de loefbijter en het roer hebben ook een interactie met de romp. Dit houdt in dat modificaties aan deze appendages ook hun weerslag hebben op de dwarskracht en weerstand van de romp. Een optimalisatie van de appendages kan daarom niet zonder de invloed van de romp daarin te betrekken.



Ondiep water

Lemsteraken worden ontworpen om te varen op ondiep water. Het ondiepe water zorgt ervoor dat het stromingsbeeld rond het jacht verandert. In het bijzonder op ondiep water zal het water niet meer in voldoende mate onder het schip kunnen stromen. De stroming zal dan in toenemende mate en met een steeds toenemende snelheid zijwaarts langs het schip stromen. Het golfbeeld wordt daardoor steeds extremer (het golfdal dieper en de golftoppen hoger) met steeds steiler wordende golven die uiteindelijk breken. Ondiep water zorgt ervoor dat de stroming eerder loslaat van de romp en de golfweerstand is naar verhouding groter dan wanneer het jacht op diep water vaart. Dit is goed te vergelijken met golven die bij de kust aankomen. Op zee zijn de golven lang en relatief laag. Zodra ze bij de kust komen, worden ze vanzelf korter en hoger.

Stabiliteit

Naast het minimaliseren van de weerstand van het jacht is de stabiliteit een belangrijk aspect van het ontwerp. Dit betreft niet alleen het veiligheidsaspect, maar ook de vaarprestaties onder zeil. Met name bij het varen aan de wind is het van groot belang dat het schip zo min mogelijk helt.

Lemsteraken bezitten geen kiel zoals een scherp jacht, waarin loodballast kan worden ondergebracht. De traditionele Nederlandse rond- en platbodemschepen zijn bedoeld te kunnen varen in bijzon-

der ondiep water. De ligging van het zwaartepunt van rond- en platbodemschepen en van een Lemsteraak in het bijzonder, is dan ook hoog in de romp, wat nadelig is voor de stabiliteit. Om die reden hebben deze schepen een relatief grote breedte. Een grote breedte is echter weer nadelig voor de weerstand van de romp. Het bereiken van een optimale breedte uit het oogpunt van stabiliteit en weerstand, als de zeilprestaties van groot belang zijn, is dan ook een sleutelvraagstuk.

Stabiliteit is afhankelijk van twee hoofdparameters, de vorm- en de gewichtsstabiliteit. Zo heeft een "hoekige" rompvorm een hogere aanvangsstabiliteit, maar ook een hogere weerstand. Wanneer er naar zeilprestaties wordt gekeken, zullen de stabiliteit en de romp-

Figuur 6. Vergelijking tussen de nieuwe boegvorm en een conventionele boeg in regelmatige golven

Referenties

- Deng, G.B., Guilmineau, E., Queutey, P., Visonneau, M. (2005). Ship Flow Simulations with the ISIS-CFD Code. CFD Workshop Tokyo 2005, T. Hino (Ed.), Tokyo, pp. 474-482.
- Deng, G.B., Queutey, P., Visonneau, M. (2006). A Code Verification Exercise for the Unstructured Finite Volume CFD Solver ISIS-CFD. ECCOMAS-CFD, E. Oñate, P. Weeseling, J. Piaux (eds).



Figuur 7.
Drukopbouw rond
een doorsnede op
een mast met
grootzeil

weerstand simultaan geanalyseerd moeten worden. De rompvormwijzigingen om de weerstand te verlagen zijn echter vaak in tegenspraak met de nodige aanpassingen om een romp veel vormstabiliteit te geven. Een dergelijke afweging kan alleen worden gemaakt op basis van de uitkomsten van *Velocity Prediction Program*-analyses, kortweg VPP. Een VPP is een computerprogramma waarmee de prestaties van zeiljachten op basis van wiskundige modellen kunnen worden berekend voor elke gewenste windsnelheid en windhoek. Het gebruik van CFD en een goed VPP is noodzakelijk om de exacte invloeden van de onderlinge parameters goed in beeld te kunnen brengen. Hoe nauwkeuriger de bepaling van de weerstand, de stabiliteit en de zeilprestaties, hoe beter de optimalisatie is uit te voeren. Wanneer een VPP werkt met een foutmarge van vijf procent, omdat bijvoorbeeld de wiskundige modellen voor weerstand en dwarskracht niet accuraat zijn, is het niet mogelijk een optimalisatie uit te voeren met voldoende nauwkeurigheid.

Volgende stap

De mogelijkheden met CFD-simulaties worden steeds breder. Van Oossanen Naval Architects kan inmiddels nauwkeurige analyses uitvoeren in regelmatige golven. Na een validatie waarbij de uitkomsten van tanktesten in regelmatige golven zijn vergeleken met die uit CFD bleken de overeenkomsten erg goed. Er is momenteel veel interesse in het ontwikkelen van nieuwe boeg

vormen die in golven een prettig gedrag geven en ook een weerstandsvermindering hebben. Dit heeft geleid tot het uitvoeren van bijvoorbeeld projecten waarbij verschillende boegvormen worden vergeleken. Een voorbeeld hiervan is de nieuwe boegvorm van

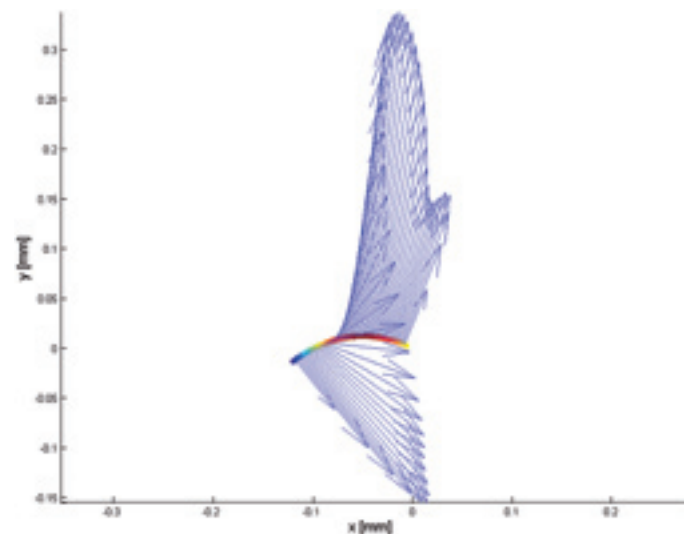
Groot Ship Design die Van Oossanen in vlak water en in golven met CFD analyseerde. Een soortgelijk vergelijk is weergegeven in figuur 6 waarbij twee verschillende boegvormen voor een motorjacht onderling worden vergeleken.

Binnen het Lemsteraakontwerp heeft CFD net zijn intrede gedaan. De volgende stap in het verbeteren van de prestaties van de Lemsteraken is het analyseren van het gedrag van deze schepen in golven. De ronde vorm van het voor- en achterschip kunnen daarbij interessante resultaten opleveren.

Fluid Structure Interaction

De techniek van computersimulaties blijft zich ontwikkelen en bij Van Oossanen Naval Architects worden ook eigen ontwikkelingen opgezet. Eén daarvan is Fluid Structure Interaction (FSI)-simulaties. Bij FSI-simulaties wordt een koppeling gemaakt tussen stromingsberekeningen en zogenaamde eindige-elementenanalyses. Met eindige-elementenberekeningen is het mogelijk spanningen en verplaatsingen in een constructie te bepalen. Door deze twee technieken aan elkaar te koppelen is het mogelijk middels een iteratief proces vervormingen in een constructie door toedoen van aerodynamische of hydrodynamische krachten te bepalen. Daarmee biedt FSI de mogelijkheid om bijvoorbeeld de vervormingen van zeilen door toedoen van lift en weerstand te bepalen en daarmee beter in te spelen op specifieke ontwerpeigenschappen. Het nieuwe aan deze ontwikkeling is dat het bedrijf een CFD-code, die zowel druk- als wrijvingskrachten kan bepalen, koppelt aan een eindige-elementencode. Bestaande FSI-modellen bestaan voornamelijk uit een CFD-code die alleen drukkrachten kan bepalen en waarbij de invloed van viskeuze effecten niet wordt meegenomen.

Naast toepassingen voor zeilen wordt deze techniek ook gebruikt voor bijvoorbeeld het rekenen aan stromingen in bloedvaten, vervormingen aan vliegtuigvleugels en windmolenbladen.



Figuur 8. Vervormingsrichtingvectoren in een zeil als gevolg van drukverdeling