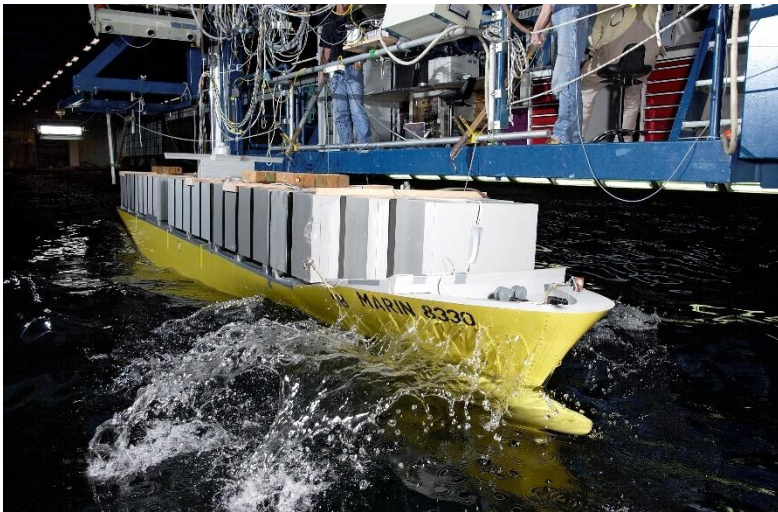


De snelle schroef en het trage schip

Soms kauwt de supercomputer van maritiem onderzoeksinstituut MARIN wel drie dagen op een simulatie van de stromingen rond een schip. Kan dat niet sneller, was de vraag aan de wiskundigen van de Studiegroep Wiskunde met de Industrie.

“Zeg geen ‘boot’”, zegt wiskundige David Kok met klem. “Dat heb ik in deze week in ieder geval geleerd. Je moet ‘schip’ zeggen.” Kok promoveert in Leiden. Hij was een van de wiskundigen die zijn tanden zette in een vraag van MARIN. Het maritiem kennisinstituut speelde een thuiswedstrijd tijdens de Studiegroep Wiskunde met de Industrie, die dit jaar in Wageningen werd gehouden.

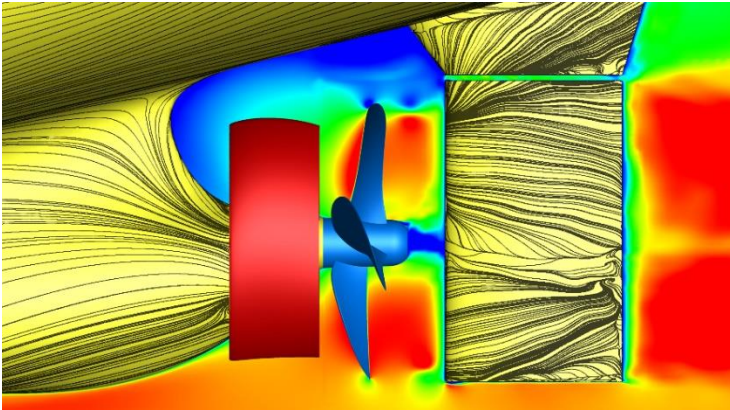


*Testen met een schaalmodel in een basin bij MARIN.
Beeld: MARIN.*

MARIN doet onderzoek naar de optimale vorm van schepen. Het instituut test en optimaliseert voor klanten nieuwe ontwerpen, onder meer om het brandstofverbruik te bepalen. Een deel van de

testen gebeurt traditiegetrouw met schaalmodellen in zogeheten sleeptanks – grote bakken water. “Die schaalmodellen zijn ook geen kleine jongens. Vaak testen we met een modelschaal van rond de 1 op 25. Dan is een schip van 250 meter lang in modelvorm toch nog 10 meter”, vertelt onderzoeker Bart Schuiling van het team Propulsion and Operation Performance. MARIN gebruikt daarnaast veel computermodellen om nieuwe ontwerpen te evalueren en optimaliseren. “Zeker als het om brandstofgebruik gaat. Computersimulaties zijn essentieel om tot een optimale configuratie van schip en schroef te komen”, vertelt Schuiling.

Die computersimulaties kosten zelfs op een supercomputer veel rekentijd. Dat komt vooral door de sterke interactie tussen de sneldraaiende schroef en het schip, waarbij het lang duurt voor de stroming in jargon “helemaal ontwikkeld” is. Soms heeft de supercomputer meerdere dagen nodig voordat het model de stabiele eindtoestand bereikt: het cruisegedrag van het schip, waar het MARIN allemaal om gaat. “Het gaat ons om de uitkomsten op het eind. De vraag aan de wiskundigen was dan ook, of zij methoden konden verzinnen om sneller tot die eindtoestand te komen”, vertelt Schuiling.



Computersimulatie van een schip met schroef. Beeld: MARIN.

De stroming rond een schip wordt gewoonlijk gesimuleerd in een scheepsmodel, dat rekent met tijdstappen van een seconde. De schroef roteert echter met 120 toeren per minuut. Een goede simulatie van de stromingen rond de schroef vereist tijdstappen van milliseconden. Omdat de interactie tussen de stromingen van de schroef en die van het schip groot is, simuleert MARIN het gecombineerde model van schip en schroef nu ook met tijdstappen van milliseconden. Dat maakt de berekeningen zeer rekenintensief. “De vraag van MARIN was of we iets slims konden verzinnen voor dat verschil in tijdschalen”, vertelt Kok. Hij noemt problemen uit de stromingsleer prachtig en verschrikkelijk tegelijk: “Het blijkt altijd lastiger dan je zou willen. Het goede van zo’n schip is wel, dat je weet dat er een stabiele eindtoestand is. Het schip vaart immers gewoon en gaat niet ineens hele gekke dingen doen. Daardoor weet je dat het mogelijk is de simulaties te vereenvoudigen, zonder dat je een compleet verkeerde uitkomst krijgt.”

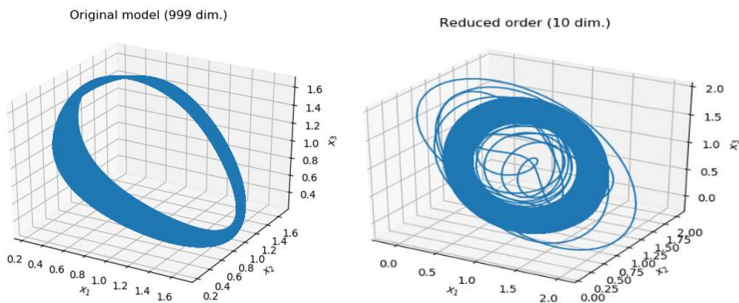
Even waren de wiskundigen bang dat ze weinig toe te voegen hadden: MARIN had zelf ook al met het probleem gestoeid. “‘Hebben jullie dit al geprobeerd?’, vroegen we MARIN dan. En steeds was het antwoord ‘ja’”, vertelt Kok. “Op de eerste dag was dus al duidelijk, dat er met de voor de hand liggende numerieke ingrepen geen winst te halen viel.”

De wiskundigen kwamen uiteindelijk toch met twee methoden om de simulaties sneller te maken, vertelt Kok. “En het mooie is dat je ze zelfs ook allebei kan inzetten. Dat had ik niet verwacht, het resultaat was daardoor beter dan ik had durven hopen.” Ook Schuiling was te spreken over de uitkomsten: “De eerste methode is iets wat we meteen uit kunnen gaan proberen. De tweede is ingewikkelder en meer voor de lange termijn.”

Een eenvoudig computermodel van een scheepje maken om op te oefenen was een van de eerste dingen die de groep deed. “We mochten van MARIN hun modellen gebruiken, maar die zijn wel

heel erg groot. We hadden gedacht dat er ook wel een simpel modelletje zou zijn om ideeën te testen, maar dat was niet zo. Daarom hebben we zelf een zwaar versimpeld model gemaakt”, vertelt Kok. Op hun zelfgeschreven model konden de wiskundigen hun ideeën uitproberen, waarna MARIN dan de schone taak wacht om te kijken of al dat moois ook in het grote model werkt.

Het eerste idee van de wiskundigen was het gedeeltelijk loskoppelen van de simulaties van de schroef. De groep wiskundigen maakte gebruik van de wetenschap, dat de waarden voor de stuwkracht van de schroef weliswaar snel variëren, maar wel rond een langzaam veranderend gemiddelde. “Wij berekenden een soort ‘gemiddelde schroef’ om de stuwkracht van de schroef te simuleren. De waarden van die gemiddelde schroef voer je vervolgens in het scheepsmodel in.” Kok legt uit dat je een nieuwe waarde voor de schroef ingeeft, zodra de afwijking van de vorige waarde te groot wordt.



Modelorderreductie in Lorenz 96, waarbij het model is teruggebracht van 999 naar 10 dimensies.

Waar de wiskundigen ook mee aan de slag gingen, was een tweede methode om het model lichter te maken: Model Order Reduction, modelorderreductie. Een snapshot uit het model van MARIN levert al 8,5 gigabyte aan data op. Zo nauwkeurig hoeft het misschien niet. “Wat je met modelorderreductie doet, is uitzoeken welke informatie in je berekeningen essentieel is, en welke je weg

kan laten”, legt Kok uit. “Je versimpelt de dynamica van je systeem op zo’n manier, dat de essentie, de dominante stroming, overeind blijft.” Ook deze aanpak testten de wiskundigen niet met het grote scheepsmodel van MARIN, maar op een standaardmodel, Lorenz 96. “Als MARIN het scheepsmodel runt, dan levert dat voor iedere stap miljoenen getallen op, waarvan een groot deel constant is. Wat je met deze versimpeling kan doen, is die miljoenen getallen reduceren tot de paar honderd die er echt toe doen. Dat kan een enorme besparing in rekentijd opleveren. Hoeveel precies hangt er vanaf hoeveel je het model kan vereenvoudigen zonder dat het gedrag teveel afwijkt. Dat hangt ook af van de eisen die MARIN aan de nauwkeurigheid stelt.”

Kok geeft aan dat de twee ideeën te combineren zijn, het middelen van de schroef en het reduceren van het model. Zowel de schroef- als het scheepsmodel zijn namelijk te reduceren. De resultaten van het gereduceerde schroefmodel kunnen dan worden ingevoerd in het gereduceerde scheepsmodel. Kok gaat er vanuit dat de resultaten ook op het grote model van MARIN toepasbaar zijn. “We hebben nu getest op ons kleine model, maar we hebben er, ondersteunt door de wiskunde, alle vertrouwen in dat het in het grote model ook werkt.”

Schuilings kijkt tevreden terug, hij vertelt dat de week hem een aantal dingen heeft opgeleverd. “Misschien wel vooral de erkenning dat dit probleem inderdaad zo eenvoudig niet is. We hadden er zelf al wat mee gestoeid, en kwamen er niet goed uit. Dan is het prettig dat er een slimme groep mensen meedenkt. We weten dat dit probleem nog wel wat inspanning van onze kant vereist.” Met de voorgestelde oplossingen kan MARIN goed aan de slag, vertelt Schuilings. “Dat idee van die gemiddelde kracht voor de schroef, daar kunnen we meteen mee uit de voeten. De modelorderreductie vraagt meer, maar het is goed te weten dat we die kant op kunnen gaan.”

Als bonus gaven de wiskundigen MARIN nog een laatste idee mee om het model lichter te maken, dat in de vliegende vaart van de week niet meer uitgewerkt kon worden. Ze adviseren om in het model onderscheid te maken tussen “snelle” en “langzame cellen”. “De stroming rond de schroef verandert snel, maar wat verderop zijn de veranderingen in de stroming trager”, licht Kok toe. “De simulaties zijn lichter te maken als je die trage plekken minder vaak doorrekent dan de snelle.” Hij verwacht dat een derde van de cellen ‘langzame’ cellen zijn: “Je kunt hier dus zeker winst halen, maar ik verwacht geen grote wonderen. Dat tweederde van de cellen snelle cellen zijn, geeft ook meteen aan waarom het allemaal zo nauw komt: er is een sterke koppeling tussen de stromingen.”