



De wereld van kleine dieren, robots en vloeistofmechanica

Interview met Peko Hosoi

Met een aanstekelijke lach laat Peko Hosoi tijdens haar plenaire lezing tijdens Physics@FOM Veldhoven filmpjes zien van mensen die als vogels willen vliegen [1]. Ondanks hun kunstige vleugels van hout en veren storten ze jammerlijk naar beneden. Het valt niet mee om de voortbeweging van dieren na te bootsen, zeker niet als die op een complexe manier wordt aangestuurd door een zenuwstelsel. Hosoi laat zich in haar werk liever inspireren door eenvoudige dieren. In haar lab krioelen robo-slakken en robo-scheermessen en krabachtige hondjes. Claud Biemans

128

Natuurkundige Anette Hosoi, bijnaam Peko, specialiseerde zich in vloeistofmechanica, een vakgebied dat in de Verenigde Staten vooral onder toegepaste wiskunde en mechanical engineering valt. Ik spreek haar voorafgaande aan haar lezing in Veldhoven. Ze vertelt over de wonderlijke manier waarop ze in het vakgebied van robotdieren terecht kwam. In 2002 werd ze aangesteld als universitair docent bij MIT. Ze was er net een paar dagen en er lag letterlijk nog niets op haar bureau toen er op de deur werd geklopt. Er kwam een student binnen, die zei: “Professor Hosoi, ik heb uw website gezien, ik vind het prachtig wat u doet en ik wil graag met u werken”. Ze dacht: “Wauw! Ik ben hier net en ze kennen me al”. Ze vroeg waar de student aan wilde werken. Hij zei: “Ik wil robots bouwen”. Peko lacht hard. Ze wist he-

lemaal niets van robots, dus stuurde ze de student weer weg: “Jammer, maar dat is niet echt wat ik doe”. De volgende dag werd er weer geklopt en weer was het een student die haar website had gezien en die ook robots wilde bouwen. En dat gebeurde nog drie, vier keer en ze dacht dat er nog een andere professor Hosoi was die bij MIT werkte aan robots. Maar ze had het mis. Hosoi: “Al snel kwam ik erachter dat alle studenten aan MIT robots willen bouwen. Dus ik dacht, als ik hier wil overleven dan moet ik snel leren hoe ik dat doe. En wat is de overlap tussen vloeistofmechanica en robotica? Dat is voortbeweging. Dus ik begon na te denken over hoe dingen zwemmen, kruipen en bewegen door granulaire media. Toen was het een kleine stap naar de biologie. Er komen tegenwoordig met behulp van allerlei nieuwe meettechnieken

zoveel fantastische kwantitatieve biologische data beschikbaar. Dat is een soort goudmijn van mogelijkheden voor fysici.”

RoboSnail

De eerste student die met Hosoi ging samenwerken was Brian Chan. Eerder had hij samen met John Bush bij de afdeling toegepaste wiskunde gewerkt aan een mechanische schaatsenrijder, een insect dat met zijn zes pootjes over het wateroppervlak roeit. Peko: “Brian had er een nageemaakt van een blikje en wat draadjes en een elastiek uit zijn sok. Je kon het ding opwinden en dan liep het over water, prachtig. Om schaatsenrijders te verzamelen en bestuderen had Brian emmers water geschept uit vijvers. Daar zaten ook slakken in en die vond hij ook interessant. Samen met mij wilde hij aan slakken gaan werken.

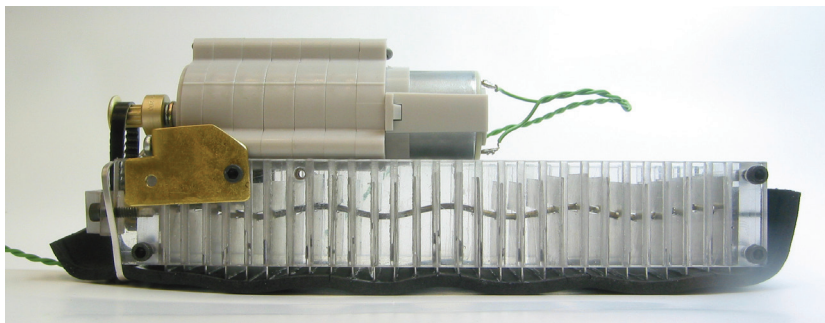
Ik wist zelf niets van die dieren, dus ik suggereerde dat hij eerst wat literatuuronderzoek ging doen, waarna we konden zien of er een goed probleem was waar we aan konden werken. Na twee weken kwam Brian terug en hij zei: 'Ik heb het opgelost.' Ik snapte niet wat hij bedoelde, want ik had geen idee wat het probleem was. Maar ja, als je MIT-studenten een probleem laat oplossen zonder verdere voorwaarden, dan bouwen ze dus een robot. Hij had RoboSnail [2] ontworpen, die tegen een muur omhoog kan klimmen, langs een plafond kan kruipen of over een glasplaat. Deze robot was fantastisch, de hele mechanica van hoe slakken kruipen was erin verwerkt. En dat is een heel interessant proces. Een slak maakt een dunne vloeïstoffilm die hij afscheidt om eroverheen te glijden. Je ziet vaak de sporen die achterblijven. Een slak maakt nooit direct contact met de grond, het moet spanningen en stromingen in die film genereren om zichzelf voort te bewegen. We konden Brians robot op een dunne vloeïstoffilm plaatsen en de stroming en spanningen meten en zo konden we bestuderen hoe een slak zich voortbeweegt."

Kan RoboSnail zelf zijn slijm aanmaken?

Hosoi: "Nee, maar dat blijkt ook voor echte slakken heel lastig te zijn. Ze komen alleen tevoorschijn als het regent, want hun slijm bestaat voor 97 procent uit water, het zou te zwaar zijn om dat altijd mee te slepen. Het slijm is een niet-Newtonse oplossing van lange moleculen in water, die zich onder mechanische spanningen dus niet-lineair gedraagt. De slakken slaan de lange moleculen op in kristallijne vorm onderin hun voet. Het mengen van die kristallen met water blijkt een gecompliceerd chemisch proces te zijn, simpelweg mengen lukt niet. Het is nog niet duidelijk hoe slakkenslijm kunstmatig gemaakt kan worden. Samen met reoloog Gareth McKinley en excellente student Randy Ewoldt heb ik slakkenslijm en veel andere niet-Newtonse vloeïstoffen bestudeerd. Randy ontwikkelde een soort representatie van de niet-lineaire verschijnselen die je in de eigenschappen van deze materialen vindt. Gisteren was ik erg verheugd toen ik tijdens de lezing van Daniel Bonn een afbeelding zag waarbij een referentie naar ons werk



Anette 'Peko' Hosoi tijdens haar plenaire lezing op Physics@FOM Veldhoven 2013 (foto: Bram Saeyns).



De RoboSnail (foto: Brian Chan/MIT).

stond. Daniel verwees naar Randy's software! Die was dus ontwikkeld in de context van slakkenslijm en het is fantastisch dat iemand die nu toepast in de context van allerlei andere vreemde materialen."

Is RoboSnail aardig om te zien of wordt hij ook ergens voor gebruikt?

"Het bedrijf dat het onderzoek financierde heet Slumbershay, ze zijn actief in de exploratie van aardolie. Bij het boren van olieputten komt veel plakkerige modder vrij, die naar boven wordt afgevoerd, en allerlei instrumenten gaan in de put naar beneden. Als die ergens blijven steken dan ben je ze kwijt. Je moet dan een

nieuw gat boren en dat kost al gauw een half miljoen dollar. Als hulp bij het boren wordt een niet-Newtonse vloeïstof gebruikt die boerspouling heet. Slumbershay wilde een apparaat ontwikkelen dat goed is in kruipen door een niet-Newtonse plakkerige vloeïstof en dat is precies wat slakken doen. We hebben de technologie overgedragen en Slumbershay heeft met behulp van onze resultaten kruipers ontwikkeld die de instrumenten afleveren in de olieput en ze na de metingen weer naar boven brengen."

RoboClam

In 2009 was Hosoi in het nieuws met het idee om robotschelpdieren in te



Een RoboClam en een scheermes (foto: Donna Coveney/MIT).

zetten voor het laten ontploffen van mijnen in de bodem van de zee. Hosoi: “We ontwikkelden RoboClam in eerste instantie in samenwerking met het bedrijf Bluefin Robotics, dat onbemande onderwatervoertuigen bouwt, van maximaal zes meter lang. Die dingen varen ergens heen en dan blijven ze twee weken op een bepaalde plaats om metingen te doen. Maar door de stroming drijven ze natuurlijk weg. Je kunt dan de motor aanzetten om de positie te behouden, maar dat is niet makkelijk en het kost veel energie. Ankeren is makkelijker, maar door de beperkte afmetingen kunnen deze voertuigen geen zware ankers rondslepen. Bluefin wilde dus een compact lichtgewicht anker ontwikkelen. Amos Winter bestudeerde in mijn groep vele biologische organismen die kunnen ankeren in een zandige omgeving. Scheermessen zijn precies goed omdat ze mechanisch simpel werken en de juiste afmetingen hebben. De schelpdieren werken puur kinematisch: ze wervelen zand op door het open en dicht doen van de schelp. Als de schelp open is, duwen ze hun voet naar beneden. Als de schelp dichtgaat, drukken ze water in de voet, die zich opblaast als een anker en de schelp naar beneden trekt. Ze kunnen zich zo snel ingraven dat Amos ze de Ferrari onder de schelpdieren noemt.”

“Onze scheermessen kunnen gebruikt worden voor iets dat nog veel spannender is. Er is een grote industrie voor het leggen van kabels onder water, dwars door de Atlantische

Oceaan en dat soort werk. Die kabels moeten twee meter de grond in gegraven worden, want ik geloof dat haaien aangetrokken worden door het elektrische signaal en er graag op kauwen. Er zijn goede technieken ontwikkeld voor het leggen van kabels in diep water, maar in ondiep water, dicht bij de kust, blijkt dat lastig te zijn. Daar graven duikers de kabels in, soms kilometers lang. Toen ik daar de eerste keer foto's van zag, dacht ik dat het een grap was. Dat werk is extreem duur en gevaarlijk en het duurt lang. Dat kan overgenomen worden door RoboClams die vastzitten aan de kabel, waardoor meteen de problemen die robots altijd hebben met energietoevoer en regelsystemen kunnen worden opgelost. We zijn nu aan het praten met bedrijven die geïnteresseerd zijn in deze technologie.”

Heb je nieuwe vloeistofmechanica geleerd van dieren?

Hosoi: “De achterliggende wetenschap is steeds gefocust op de mechanica van de vloeistoffen en hoe je die manipuleert om de gewenste effecten te krijgen. De slak is op dat gebied zeer interessant. Slakkenslijm is enorm plakkerig. Een slak is in feite vastgelijmd aan het oppervlak waar hij met zijn voet overheen glijdt. De vraag is: hoe kun je glijden over lijm waar je aan vastplakt, terwijl je maar een voet hebt waarmee je je kunt voortbewegen. Dat ligt totaal niet voor de hand. We hebben zorgvuldig nagedacht over hoe je spanningen kunt genereren in dunne films en hoe je de symmetrie

kunt breken waardoor een voorwaartse beweging mogelijk wordt. Het bracht ons nieuwe perspectieven bij het nadenken over deze niet-Newtonse vloeistoffen.”

Fietsen

Heb je contacten met wetenschappers in Nederland?

“Ik heb geen samenwerkingsprojecten met mensen in Nederland, maar hier wonen wel enkele goede vrienden van me. De eerste is Detlef Lohse, hij was postdoc aan de universiteit van Chicago toen ik daar studeerde. Zijn werk is fenomenaal! En ik ben heel enthousiast dat mijn student Daniel Tam kort geleden universitair docent geworden is in Delft, een goede reden om hier vaker op bezoek te komen. En als ik de fietspaden hier zie, dan zou ik hier ook bijna willen gaan wonen. Ik heb een fiets geleend van Detlefs lab en ik heb door de sneeuw gereden. Niemand draagt hier een helm. Dat kun je je niet voorstellen in Boston, daar word je per definitie aangereden door een auto.”

Anette Hosoi interesseert zich ook voor de technologie van de fiets. “Dat begon toen ik een keer met een mountainbike een berg afdaalde. Dat was fantastisch maar mijn fiets was niet geschikt en ik vloog over het stuur. Op een echte downhill bike kun je je gewicht heel anders verdelen en dat is een heel andere ervaring. Ik denk na over hoe je dat kunt optimaliseren en ik zou er een student op willen zetten. Veel van mijn collega's op MIT zijn enthousiaste sporters die in hun vrije tijd bezig zijn met dit soort problemen. Maar waarom zou je dat in je vrije tijd doen? Het gaat allemaal over mechanisch ontwerp en hydrodynamica, dat kan net zo goed deel uitmaken van je onderzoek, want dat is precies waar we ons mee bezighouden: het ontwerpen van betere materialen, vermindere van weerstand, mechanische efficiëntie. Dus ik werk nu aan een nieuw centrum, STE@M, Sports Technology and Education at MIT. Daar gaan we bedrijven, faculteiten en studenten samenbrengen die interesse hebben in deze uitdagingen. Ik wil ook een website met ‘huiswerkopgaven’, vraagstukken gerelateerd aan sport. Er bestaan hele verzamelingen van en ze zijn zeer geschikt om studenten te interesseren voor onderwerpen als hydrodynamica.

Wat is de nieuwste robot waar je aan werkt? “Ken je BigDog van Boston Dynamics? Dat is een robot die over het meest onregelmatige terrein kan bewegen [3]. BigDog is zo populair dat er als parodie zelfs een filmpje is gemaakt van mensen verkleed als BigDog [4]. BigDog werkt hydraulisch, met een motor bij elk gewricht. Boston Dynamics vroeg ons of we een LittleDog kunnen bouwen. Maar dat is problematisch, want als je alles veel kleiner wilt maken dan heb je hele kleine afsluitkleppen nodig en die zijn erg duur. Als ze in de orde van een centimeter groot zijn, kosten ze 10.000 dollar per stuk. Dus dat is onbetaalbaar. We proberen nu een LittleDog zonder kleppen te maken. Veronderstel dat we een vloeistof gebruiken met bijvoorbeeld silicadeeltjes erin. Je zet er een elektrisch veld op dat een dipoolmoment in de deeltjes induceert en die dipolen wisselwerken met elkaar en vormen structuren, kleine pootjes. Door de overgang kunnen

materiaaleigenschappen vijf ordes in grootte veranderen. Dus je verandert als het ware zonnebloemolie in pinda-kaas. In plaats van hydraulische olie laten we deze vloeistof door de robot stromen. In plaats van regelkleppen hebben we nu alleen een elektrode van een dollar nodig en een batterij. Als je de batterij aansluit krijg je pindakaas en stopt de stroming. Haal je het veld weg, dan stroomt het weer. Zo maken we een hydraulisch systeem op kleine schaal mogelijk. Je kunt ook twee platen nemen met de vloeistof ertussen. Deel de platen op in pixels en zet daar een schakelaar op, dan krijg je een dynamische architectuur. De spanning bepaalt hoe de vloeistof kan vloeien. Zo kunnen we nu een LittleDog laten lopen op zes poten. Hij lijkt alleen meer op een krab dan op een hondje.”

Dus nu ben je helemaal enthousiast over het bouwen van robots?

Ja, en met zulke goed opgeleide studenten is het eigenlijk heel gemakke-

lijk. In mijn groep werken nu mensen die op het gebied van robotica goed getraind zijn, anderen met een uitstekende achtergrond in vloeistofmechanica, plus mensen die goed zijn in analyse. Zonder deze goede mix van verschillende vaardigheden en uitwisseling van ideeën waren we nooit zover gekomen in het verkennen en ontwerpen van de robotdierenwereld.



Referenties

- 1 Links naar de lezing en workshop van Anette Hosoi tijdens Physics@FOM Veldhoven 2013: www.fom.nl/live/agenda/physicsatFOM/Archives.pag.
- 2 B. Chan, N. J. Balmforth, A. E. Hosoi et al., *Building a better snail: Lubrication and adhesive locomotion*, *Phys. Fluids* **17** (2005) 113101.
- 3 www.youtube.com/watch?v=xqMVg5ixhdo.
- 4 www.youtube.com/watch?v=mXl4WWHPn-U.