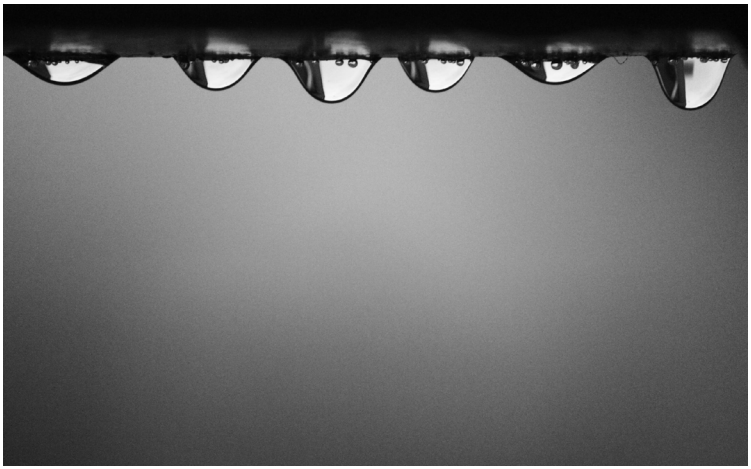
VIER MODELLEN IN EEN WEDSTRIJDJE DRUPPELBLAZEN

Vocht in je dure chipmachine is niet wat je wilt. VDL ETG vraagt de wiskundigen van de Studiegroep Wiskunde met de Industrie om de snelste manier om hangende druppels weg te blazen.

"En néé, jullie mogen geen andere oplossingen verzinnen. Geen hete lucht om de druppel te verdampen, geen doekjes, geen microgolven, enzovoort. Over al die mogelijkheden hebben wij al nagedacht. We willen alleen maar van jullie weten hoe we de druppels het beste weg kunnen blazen." Dmitri Shestakov van VDL ETG probeert er streng bij te kijken, tijdens zijn presentatie aan het begin van de studiegroep. Hij weet hoe wetenschappers zijn, is er zelf een geweest - dwarsdenkers, altijd op zoek naar net even anders. Hij weet ook dat de studiegroep slechts één week duurt. Geen tijd te verspillen dus. Hij komt hier voor antwoord op zijn vraag: hoe blaas je een hangende druppel het snelst van een plaat? Hij weet dat dit die vraag niet simpel te beantwoorden is, anders was hij hier niet geweest. Dus hij wil snel tot de kern komen.

Wim Munters is docent wiskunde aan de Technische Universiteit Eindhoven. Van de studiegroep Wiskunde met de Industrie had hij nog nooit gehoord, tot collega Mark Peletier hem vroeg eens mee te kijken naar een van de ingebrachte bedrijfsvragen. Die van VDL ETG om precies te zijn, over het wegblazen van hinderlijke druppels. Voor hij het wist, zat Munters een week in Tilburg. "Een leerrijke ervaring. Intens ook", lacht hij, "maar ook enorm interessant om met mensen met zoveel verschillende achtergronden samen te werken." Hij vond de grote senioriteitsverschillen een interessant gegeven: "De jongeren kijken fris tegen de vraag aan, de ouderen brengen hun ervaring in. Een mooie mix." Munters is van origine werktuigbouwkundige, en wandelde van daaruit de numerieke wiskunde binnen. Een fijne achtergrond voor de vraag van VDL ETG.

VDL ETG is gespecialiseerd in het ontwikkelen en produceren van precisieapparatuur en onderdelen daarvan. Voor chipmachinefabriant ASML maakt het bedrijf *waferhandlers*. De *wafer* is de silicium schijf waar de chips uit worden gemaakt. De waferhandler is de module die de wafers van en naar de machine van ASML verplaatst. ASML bouwt onder meer immersie chipmachines, waarbij water wordt gebruikt om de werking van de lens te verbeteren. Daar komt het vocht vandaan dat soms achterblijft onder de wafer. Er vormt zich dan een hangende druppel. Niet groot, hooguit een millimeter of twee, maar vocht in de machine is domweg onacceptabel. "Die druppel moet weg, zo simpel is het", benadrukt Dmitri Shestakov.



Hangende druppels (niet in de machine). Foto: Piqsels

De druppels weghalen is echter zo eenvoudig niet. VDL ETG gebruikt nu lucht om ze weg te blazen. "We willen die druppel zo snel mogelijk wegblazen, maar niet zo hard dat hij instabiel wordt en uiteenspat", vertelt Shestakov. Wanneer dat gebeurt, ontstaan er tientallen kleinere druppels die nog moeilijk weg te krijgen zijn.

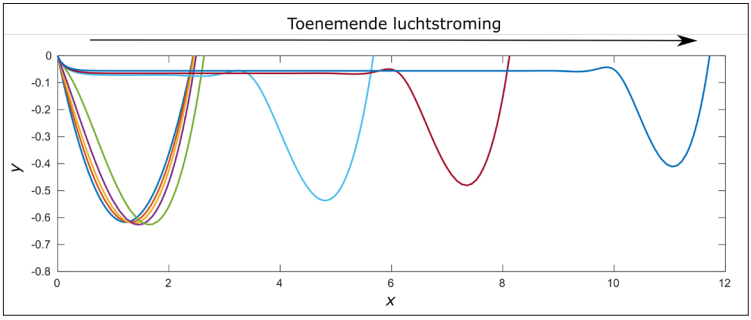
VDL ETG is naar de studiegroep gekomen voor inzicht in de snelste manier om de druppels weg te krijgen. Moet je steeds een beetje harder blazen, of gepulst misschien? Het gedrag van de druppel is complex, laat Shestakov met een filmpje zien. Zo oscilleert de druppel als hij wordt weggeblazen. Is dat gedrag van de druppel te modelleren?

"Voor VDL ETG was deze week een eerste exploratieve verkenning", vertelt Munters. De wiskundigen hadden dan ook weinig data om mee te werken, alleen het filmpje dat Shestakov had meegebracht. "In de wetenschap is er de heilige drie-eenheid theorie - simulaties - experimenten", zegt Munters. "Je kan een model niet echt uitwerken, wanneer je over weinig experimentele data beschikt." Voor de groep was het daarom helder wat er in de week moest gaan gebeuren: het vergelijken van geschikte modellen, zodat zij VDL ETG konden adviseren met welk model écht aan de slag te gaan.

De groep dook in de druppelliteratuur, om voeling te krijgen met het vakgebied en een gevoel voor ordegroottes te ontwikkelen. "Alleen dat was al prettig, ik heb nu een lange lijst relevante literatuur", zegt Shestakov. "Onze ambitie was niet om een eigen model te bouwen", aldus Munters. "We hebben vier in onze ogen geschikte modellen gekozen, van simpel tot complex, die zo goed mogelijk uitgevoerd en toen vergeleken."

Het simpelste model, om mee te beginnen, was een krachtenbalans. Zo is er de kracht van de luchtstroom en de adhesie, die in de druppel bij elkaar houdt. "Een heel eenvoudig model, met weinig aannamen", benadrukt Munters. Het model liet zien dat de druppel al snel een maximum snelheid bereikt. Blaas je dan nog harder, dan zorgt dat er enkel nog voor dat de druppel verder uitspreidt - niet dat hij harder gaat. Ook liet het model zien dat de vervorming van de druppel duidelijk van belang is voor de behaalde snelheid.

Na deze eerste stap haalden de wiskundigen het werkpaard van de stromingsleer van stal: de Navier-Stokesvergelijkingen. “Die hebben we op meerdere manieren toegepast, allemaal eerst maar eens in 2D”, vertelt Munters. Navier-Stokesvergelijkingen kunnen in rekentijd nogal uit de hand lopen. In de eerste toepassing namen de wiskundigen daarom aan, dat de druppel slechts invloed had op het profiel van een deel van de luchtlaag, en niet op de hele luchtlaag. Dat maakte het probleem beter behapbaar. Er werd gekeken hoe de druppel vervormde, naar kleine trillingen in de druppel. Ook werd gekeken of deze methode naar 3D uitgebreid kon worden.



Simulatie van de vervorming van de druppel bij verschillende luchtsnelheden.

Daarna zetten de wiskundige meerdere numerieke rekenpakketten in, ook nu weer met de aanname dat de luchtstroom zich niet teveel liet verstoren door de druppel. “We kregen de data die daar uitkwamen niet meteen sluitend, maar we zagen wel dat de modellen dezelfde fenomenen lieten zien”, aldus Munters. Zo had steeds harder blazen ook volgens deze modellen geen zin. De rekentijd bleef met een uur ook binnen de perken, een belangrijke voorwaarde.

Na het gepuzzel in 2D wilde de groep zich ook nog voorzichtig wagen aan de driedimensionale versie van het probleem, ook nu weer met een numeriek Navier-Stokesmodel. Om de rekentijd te beperken - de

studiegroep duurt immers slechts een week - werd wederom opnieuw gekozen om alleen de stroming in de druppel zelf te modelleren. "Hier zagen we dat de druppel ook in een constante luchtstroom kan gaan trillen", aldus Munters. De groep had weinig tijd om diep in deze simulaties te duiken, maar kon wel concluderen dat ook 3D-berekeningen voor dit probleem haalbaar zijn voor VDL ETG. Een conclusie waar Shestakov door verrast is: "Ik dacht dat dat niet te doen was, dus het is fijn te horen dat het mogelijk toch kan."

Op de exacte getallen moet je ons zeker niet vastpinnen, zegt Munters, maar alle vier de modellen gaven kwalitatief wel soortgelijke uitkomsten. De eerder genoemde conclusie dat harder blazen vanaf een bepaald punt geen zin meer heeft. Het trillen van de druppel, wat belangrijk is omdat de druppel daardoor immers uiteen kan spatten. "Ook lijkt er een soort natuurlijke trilling te zijn rond de 25 hertz", vertelt Munters. "Als je de druppelsnelheid wilt verhogen, valt daar misschien wat te rapen."

De groep raadde VDL ETG aan om een goede meetopstelling te bouwen, om data binnen te halen om de modellen mee te voeden. "Dat is ook hoe ik het aan zou pakken", vertelt Shestakov na afloop. "Met je modellen een strategie uitzetten, en die toetsen." Ook concludeerden de wiskundigen dat er met de lichtere modellen zeker al blaasstrategieën berekend kunnen worden, waarmee winst te verwachten valt. Voor goed inzicht is het echter aan te bevelen om vervolgens voor die gebieden de zwaardere driedimensionale berekeningen te gaan doen.

Shestakov kijkt tevreden terug op een succesvolle week. "Ik wist vooraf niet precies wat te verwachten, maar ik ben echt van mijn sokken geblazen. Met samenwerking kun je dus enorm veel bereiken in korte tijd. De groep heeft me geen magisch recept gegeven, maar dat had ik ook niet verwacht. Wat ze wel heeft gedaan, is me inzicht gegeven,

en richting", zei Shestakov na afloop van de week in zijn dankwoord. Hij pleit voor een uitbreiding van de studiegroep, als brug tussen onderzoek en bedrijfsleven: "Ik zou willen dat ik het hele jaar door zo'n team aan het werk kon zetten als ik met een vraag zat."