

Harry Trentelman

Johann Bernoulli Instituut voor Wiskunde en Informatica
Rijksuniversiteit Groningen
h.l.trentelman@rug.nl

In Memoriam Jan Willems (1939–2013)

Een diepe denker

Op 31 augustus 2013 is op 73-jarige leeftijd Jan Willems overleden in Brasschaat, België. Met het overlijden van Jan Willems heeft de internationale onderzoeksgemeenschap in de wiskundige systeem- en regeltheorie een van zijn belangrijkste vertegenwoordigers verloren. Harry Trentelman, hoogleraar Systems and Control aan de Rijksuniversiteit Groningen, blikt terug op leven en werk van deze inspirerende wetenschapper.

Jan Willems behoorde tot een selecte kern van onderzoekers in de systeem- en regeltheorie die het onderzoeksveld rond de jaren zeventig van de vorige eeuw vorm gaven. Hij combineerde creativiteit, associatieve kracht, fysisch inzicht, en een enorm brede kennis, met energie, enthousiasme, perfectionisme en de wil om tot de essentie van problemen door te dringen. Daarbij was hij charismatisch, en had die speciale eigenschap die tegenwoordig wel de 'X-factor' wordt genoemd. Binnen de internationale systeem- en regeltheoriegemeenschap was hij een iconisch persoon. Een mooie eigenschap was dat dit hem niet echt scheen te interesseren: gedreven door de wil om tot de essentie van dingen door te dringen en ideeën over te dragen praatte hij net zo lief met jonge, beginnende PhD-studenten als met gearriveerde topwetenschappers. Bij Jan Willems ging het altijd om wetenschappelijke inhoud en nooit om status.

Promotieonderzoek

Jan Willems werd geboren in Brugge, op 18 september 1939. Na zijn basisschooltijd in Maldegem en Gent, en zijn middelbareschooltijd aan het Sint-Barbaracollege in Gent, studeerde hij ingenieurswetenschappen aan de Universiteit van Gent. In 1963 vertrok hij naar de Verenigde Staten. Hij behaalde daar in 1965 het MSc-diploma in electrical engineer-

ing aan de Universiteit van Rhode Island, en in 1968 zijn PhD in electrical engineering aan het Massachusetts Institute of Technology (met als promotor Roger W. Brockett). Zijn proefschrift, over input-outputstabiliteit van open dynamische systemen, werd gepubliceerd als

het tekstboek *The Analysis of Feedback Systems* door MIT Press in 1971. Van 1968 tot 1973 werkte hij als assistant professor aan de afdeling Electrical Engineering van MIT. Zijn onderzoek in deze periode was gericht op een aantal onderwerpen, waaronder het zogenaamde lineair-kwadratische regelprobleem, de netwerksynthese van elektrische circuits, en de algemene theorie van dissipativiteit van input-outputsystemen in toestandsruimteform. Uit deze periode stammen zijn baanbrekende artikelen 'Least squares stationa-



Jan Willems in Rome

ry optimal control and the algebraic Riccati equation', verschenen in de *IEEE Transactions on Automatic Control* in 1971, 'Dissipative dynamical systems, General theory' en 'Dissipative dynamical systems, Linear systems with quadratic supply rates', beide verschenen in *Archive for Rational Mechanics* in 1972. In deze artikelen combineerde Jan Willems optimale regeltheorie en de daarmee geassocieerde algebraïsche Riccati-vergelijking met het fysische idee van dissipativiteit. Het belangrijke concept *linear matrix inequality* (LMI) werd in deze artikelen geïntroduceerd. Later, vanaf de jaren negentig van de vorige eeuw, werden dissipativiteit en LMI de centrale begrippen in de theorie van robuuste regelsystemen, zowel voor lineaire als niet-lineaire systemen.

Hoogleraar in Groningen

Op 1 februari 1973 werd Jan Willems benoemd tot hoogleraar aan het Mathematisch Instituut van de Rijksuniversiteit Groningen, om het nieuwe specialisme wiskundige systeem- en regeltheorie op te zetten. Al snel werden de colleges lineaire systeemtheorie van Jan populair bij de studenten. Jan bleek een inspirerende docent en werd ook erg gewaardeerd om zijn manier van omgaan met studenten en promovendi. Hij verwachtte veel van zijn studenten, en befaamd waren zijn 'take home-examens', verzamelingen van systeemtheoretische problemen waar de studenten thuis individueel aan moesten werken om tot een eindcijfer te komen. Jan had ook veel aandacht voor andere aspecten van de opleiding, en organiseerde regelmatig bij hem thuis borrels voor studenten en promovendi, waarbij hij het energieke middelpunt was van allerlei intellectuele en politieke discussies. Ook meer prozaïsche onderwerpen zoals de Vlaamse voorjaarswielerklassiekers bleven niet onbesproken. Jan vond het heerlijk om eindeloos te discussiëren, en had dit ook nodig om zich emotioneel op te laden. Op het Mathematisch Instituut in Groningen trok hij veel knappe studenten aan als afstudeerders en promovendi, en zo stond hij aan de wieg van de 'Groningse school' in de systeem- en regeltheorie. Veel van zijn promovendi uit die tijd kregen later vaste aanstellingen op verschillende universiteiten en werden zelf hoogleraar. Gedurende de dertig jaar dat hij hoogleraar was in Groningen begeleidde hij meer dan zestig afstudeerders en zo'n twintig promovendi.

Gedurende de jaren zeventig in Groningen wijdde Jan zich in zijn onderzoek aan de onderwerpen *differential games*, realisatietheorie en fysische systemen. Geïnspireerd door

het baanbrekende boek *Linear Multivariable Control: a Geometric Approach* van W. Murray Wonham uit 1974, stortte hij zich aan het eind van de jaren zeventig op de zogenaamde 'geometrisch aanpak' van de lineaire systeem- en regeltheorie, en het storingsontkoppelingsprobleem. Dit onderzoeksonderwerp binnen de systeem- en regeltheorie trok enorm veel aandacht in die tijd, en werd later ook uitgebreid tot niet-lineaire systemen met behulp van ideeën uit de differentiaalmeetkunde. Jan introduceerde aan het eind van de jaren zeventig de begrippen 'bijna stuurinvariante deelruimte' en 'bijna conditioneel invariante deelruimte', en paste deze concepten toe in het oplossen van 'bijna' storingsontkoppelingsproblemen: regelproblemen waarbij wordt gezocht naar nodige en voldoende voorwaarden voor het bestaan van regelaars die de input-output-operator van het *closed loop*-systeem willekeurig klein maken. De theorie die hij hier ontwikkelde, paste hij in de jaren tachtig ook toe bij het vinden van een algemene oplossing van het singuliere lineairkwadratische regelprobleem.

Systems and Control Letters

In deze periode richtte hij ook samen met Roger Brockett het tijdschrift *Systems and Control Letters* op, oorspronkelijk met name bestemd voor korte publicaties in de systeem- en regeltheorie, met als specifiek doel een korte doorlooptijd tussen opsturen van het manuscript en publicatie daarvan. De eerste uitgave van het tijdschrift verscheen in 1981, en op het moment van dit schrijven is het toe aan zijn 34ste jaargang, volume 75. In de beginperiode van *Systems and Control Letters* runde Jan het blad als een soort familiebedrijf, waarbij zijn toenmalige vrouw Margherita en zijn kinderen Mark en Mia werden ingezet voor de secretariële ondersteuning. Om het doel van een snelle doorloop te bereiken werd het meeste reviewing werk gedaan door de beide managing editors Willems en Brockett. Daarbij moet worden opgemerkt dat het aantal ingezonden artikelen voor tijdschriften in die tijd natuurlijk veel minder groot was dan op dit moment in 2015. Van 1989 tot 1994 was Jan ook nog editor-in-chief van het tijdschrift *SIAM Journal on Control and Optimization*. Ook dat was in die tijd bepaald geen sinecure, aangezien alle correspondentie per gewone post moest worden afgehandeld.

Netwerk Systeemtheorie

Rond 1986 was Jan Willems de drijvende kracht achter het opzetten van het landelijke Netwerk Systeemtheorie, met het bijbeho-

rende programma van colleges voor promovendi in de systeem- en regeltheorie aan de algemene en technische universiteiten in Nederland. Hoewel het heden ten dage als vanzelfsprekend wordt gezien dat een dergelijk onderwijsprogramma enorm veel voordelen biedt, waren veel oudere hoogleraren in de systeem- en regeltheorie het hier niet mee eens, en zagen het als een aanval op hun gezag. De jongere generatie was echter unaniem voor. Het kostte veel moeite en vele pittige vergaderingen om het idee van een landelijk onderwijsprogramma aanvaard te krijgen. Vooral Jan nam het voortouw in dit experiment en zijn stijl van vergaderingen voorzitten en grondige voorbereiding, gecombineerd met zijn nimmer aflatende drang om mensen van zijn standpunten te overtuigen, leidde uiteindelijk tot de oprichting van het Netwerk Systeemtheorie met als 'penvoerder' de Rijksuniversiteit Groningen en Jan als voorzitter (van 1986 tot 1996). Het Netwerk Systeemtheorie leidde uiteindelijk tot de oprichting van de landelijke onderzoeksschool DISC (Dutch Institute for Systems and Control) die in 1995 werd opgericht. Ook hiervan was Jan voorzitter tussen 1995 en 1999.

Behavioristische benadering

In de jaren tachtig werd Jan zich meer en meer bewust van de beperkingen van het gangbare denken binnen de systeem- en regeltheorie in termen van inputs en outputs. Traditioneel worden in de analyse en synthese van open en geïnterconnecteerde systemen zoals die worden bestudeerd in de systeem- en regeltheorie de externe variabelen opgesplitst in twee soorten, namelijk de inputvariabelen en de outputvariabelen. Deze traditionele opsplitsing komt eigenlijk voort uit de oorsprong van het vakgebied, en vooral zoals het zich ontwikkelde in de jaren dertig van de vorige eeuw rond de uitvinding van de feedbackversterker door Harold Stephen Black bij Bell Laboratories in Manhattan. Bij Bell Labs werkten men aan het versterken van signalen in de langeafstandstelefonie. Het probleem was dat de versterkingsfactor van de gebruikte versterkers sterk afhankelijk was van de sterkte van het inputsignaal, met vervorming van het outputsignaal als gevolg. Harold Stephen Black kwam met een revolutionair ontwerp van een feedback-versterker. De essentie van zijn theorie is dat het outputsignaal via een terugkoppeling wordt teruggevoerd de versterker in. Hierdoor konden voortaan signalen op stabiele wijze, zonder vervorming, worden versterkt. Dit fysische input-outputdenken in de context van versterking van signalen



Jan Willems met zijn vrouw Doke op de Great Ocean Road bij Adelaide in Australië

werd het overheersend paradigma binnen de systeem- en regeltheorie toen ideeën en resultaten uit het vakgebied in een breder kader toepasbaar bleken.

Zoals gezegd, Jan Willems zette zich af tegen dit gevestigde paradigma, en ontwikkelde wat wordt genoemd de 'behavioral approach'. In de behavioristische benadering van open systemen wordt een dynamisch systeem, in plaats van met de wetten die het systeem beschrijven, geïdentificeerd met de verzameling van functies van tijd die aan deze wetten voldoen. Hiervoor is het niet nodig om de vector van systeemvariabelen (de zogenaamde 'manifeste variabelen') te partitioneren in inputs en outputs. Sterker nog, binnen deze theorie wordt een wiskundige definitie gegeven van het concept input: ruwweg gezegd wordt een vector van variabelen gedefinieerd als input indien deze 'vrij' is, in die zin dat de wetten van het systeem geen restricties opleggen aan deze variabelen. De overblijvende variabelen worden vervolgens outputvariabelen genoemd. Zo kan het voorkomen dat de systeemvariabelen op meerdere manieren opgesplitst kunnen worden in inputs en outputs, en is het fysisch vaak niet a priori duidelijk welke van de systeemvariabelen het predicaat input of output verdienen. In de behavioristische benadering wordt ook een belangrijke rol gespeeld door zogenaamde 'latente variabelen' in object georiënteerd modelleren (naast de 'manifeste variabelen' wiens gedrag door het model wordt gemodelleerd). In de behavioristische benadering

wordt interconnectie van systemen beschouwd als het aannemen door de signalen van gemeenschappelijke waarden, en regelen van een systeem als het interconnecteren van het systeem met een regelaar, met terugkoppeling als een belangrijk speciaal geval. De oorspronkelijke ideeën van de behavioristische aanpak werden naar voren gebracht in het artikel 'System theoretic models for the analysis of physical systems' in het niet meer bestaande tijdschrift *Ricerche di Automatica* in 1979. Een uitgebreidere behandeling werd gepubliceerd in de serie van drie artikelen 'From time series to linear system – Parts I, II and III' in het tijdschrift *Automatica* in 1986 en 1987. In 1988 werd aan Jan de Automatica Best Paper Award toegekend voor deze serie van artikelen. Een belangrijke bron van informatie voor zijn behavioristische ideeën vormt ook zijn boek *Introduction to Mathematical Systems Theory: A Behavioral Approach* uit 1998 (samen met Jan Willem Polderman). In 1988 ontving Jan de prestigieuze IEEE Control Systems Award voor zijn gehele wetenschappelijke oeuvre. In datzelfde jaar werd aan hem de IEEE Control Systems Magazine Outstanding Paper Award toegekend voor het artikel '300 years of optimal control, from the brachistochrone to the maximum principle' (samen met Hector Sussmann).

Bestuursfunctie

In 1993 was Jan de voorzitter van de organisatiecommissie van de European Control Conference, die hij in dat jaar naar Groningen had

weten te halen. De traditie volgend was hij daarna voorzitter van de European Union Control Association en wel van 1994 tot 1996. Van 1994 tot 1996 was hij ook de voorzitter van het Nederlands Wiskundig Genootschap. Dit zijn echter slechts hoogtepunten uit zijn carrière: hij was ook zeer actief in het politieke krachtenveld van onderwijs en onderzoek aan het Mathematisch Instituut in Groningen, en was wetenschappelijk directeur van het toenmalige Onderzoeksinstituut voor Wiskunde en Informatica in Groningen van 1993 tot 1998.

Ook na zijn emeritaat actief

In 2003 ging Jan Willems met emeritaat in Groningen en werd hij gasthoogleraar binnen de onderzoeksgroep Signals, Identification, Systems Theory and Automation (SISTA) van de afdeling Elektrotechniek aan de Katholieke Universiteit van Leuven. Twee jaar daarvoor waren zijn vrouw Doke en hij van hun stijlvolle appartement aan het Martini Kerkhof in Groningen verhuisd naar Antwerpen. Zijn officiële pensionering in Groningen betekende absoluut niet dat hij het rustiger aan ging doen. Jan bleef actief als altijd, bleef samenwerken met collega's, en bleef een actief bezoeker van internationale conferenties en workshops. Tot zeer recent was hij een vaste deelnemer aan de IEEE Conference on Decision and Control, de belangrijkste jaarlijkse bijeenkomst voor systeem- en regeltheorie. Daar genoot hij niet alleen van het contact en de gesprekken met oude vrienden en collega's, maar bleef hij ook jonge onderzoekers inspireren met suggesties en (meestal) positieve kritische opmerkingen. Zijn niet te remmen wetenschappelijke energie blijkt ook uit de nog bijna honderd publicaties die hij na zijn officiële pensionering produceerde. Veel van dit latere werk laat zien wat een diepe denker hij was, en tonen een opmerkelijke wetenschappelijke rijpheid en heldere visie op het vakgebied van de systeem- en regeltheorie. Een voorbeeld hiervan is het overzichtsartikel 'The behavioral approach to open and interconnected systems', dat verscheen in het tijdschrift *Control Systems Magazine* in 2007.

De systeem- en regeltheorie zonder Jan Willems is moeilijk voor te stellen. De vruchten van zijn wetenschappelijke activiteit, de manier waarop hij met zijn fundamentele bijdragen vorm heeft gegeven aan het vakgebied, en de invloed die hij heeft gehad op de wetenschappelijke smaak en het denken van zijn studenten en promovendi zullen echter altijd blijven bestaan. ◀