

Hulde aan Gigas,

mechanica voor bouw en offshore

**Afscheidsrede
29 oktober 2003**

Prof.dr.ir. Johan Blaauwendraad

Hulde aan Gigas,
mechanica voor bouw en offshore

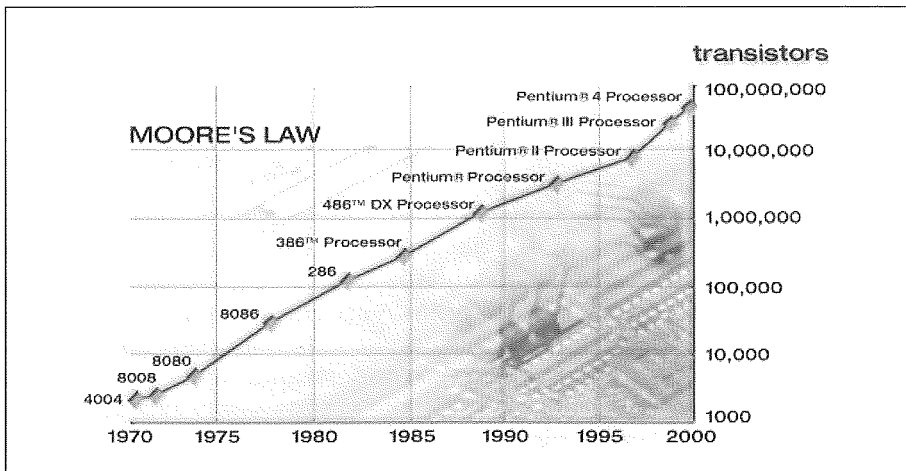
Rede bij afscheid
van TU Delft
29 oktober 2003

Prof.dr.ir. Johan Blaauwendraad

*Meneer de Rector Magnificus, collega 's,
allen die van hun belangstelling blijk geven,
dames en heren,*

Veranderingen

Volgt u mij voor een bezoek in de jaren zestig van de vorige eeuw aan het Building Research Station in Engeland. Voor een computerberekening loopt een gesloten papieren ponsband over rollers door het lab, verdwijnt door een deur naar de gang, komt door de volgende deur weer het lab binnen, passeert de ponsbandlezer (twee rollen die tegen elkaar indraaien), gaat opnieuw naar de gang, enzovoort. Zo voerde je een do-loop uit. Onvergetelijk is ook in mijn vroege TNO-tijd de zoekpartij naar de fout in een computerberekening, die pas succesvol werd toen ik de papierband tegen het licht hield om elke ponsing te controleren. Een vliegje was mee gevlogen de lezer in, waardoor een ponsgaatje werd dichtgewalst. Een vroege vorm van biomechanica. In de jaren zeventig van de 20^e eeuw was een geliefde computer bij ingenieursbureaus de 1130 van IBM. Een goede naam, want ook voor toenmalige begrippen werkte die letterlijk op zijn elfendertigst. Vanaf een bepaalde datum kon je voor versnelling een extra paneel bestellen en in de computer opnemen. We graptten dan: "nu zit er schot in".



Figuur 1. Groei van computerkracht in een aantal decaden

Er is sindsdien heel wat veranderd. Figuur 1 laat zien hoe het aantal transistors in een PC groeit in de loop der jaren en de reken capaciteit toeneemt. Samen met de verwensoftware van Microsoft hebben student, onderzoeker en constructeur in Maple, Matlab en Femlab gereedschap tot hun beschikking dat de verbeelding van elke ingenieur in de jaren zeventig van de vorige eeuw zou hebben getart. Zo'n uitrusting moet uiteraard consequenties krijgen voor het mechanica-onderwijs. Grote commerciële pakketten voor het berekenen van complexe constructies zijn voor iedereen toegankelijk, ervoor in zijn opleiding toegerust of niet.

Er is nog een andere ingrijpende verandering. Bij mijn aantreden in 1979, bijna een kwart eeuw geleden, staat nog altijd het product in de bouw in hoog aanzien. De ingenieur staat voor iets en om dat tot stand te brengen zijn algemene wetenschappen (wiskunde en fysica) en mechanica belangrijke bouwstenen in zijn of haar opleiding. Wie nu zijn oor te luisteren legt bij spraakmakende partijen in de bouw verneemt een roep om andere kennis. Meer dan ooit staat het proces centraal en wordt gevraagd om samenwerking, communicatie en sociale vaardigheden. Innovatie in de bouw wordt niet zo zeer verwacht van hoogwaardiger producten, maar van nieuwe paradigma's ten aanzien van voortbrenging. Dat betekent iets voor de plaats van toegepaste mechanica.

Mechanica en onderzoek

Laten we eerst samen de vraag stellen wat op het gebied van onderzoek wordt verwacht van de universiteit. Hoe willen markt en politiek de universiteit zien bewegen? De aandrang van de markt in de achterliggende decennia is wel duidelijk. De druk is groot om vooral of liever uitsluitend vraag-gestuurd onderzoek te verrichten. En de politiek neemt al jaren hetzelfde standpunt in, zodat er eigenlijk geen geldstroom meer is of de industrie zet de grote lijnen uit. Bij de 2^e geldstroom (voor ons vooral STW) moet je steun hebben van een of meer partijen buiten de universiteit voor de utilisatie, bij de Europese Unie is dat versterkt het geval en bij contractonderzoek (3^e geldstroom) is dat naar de aard van dat onderzoek vanzelfsprekend. Maar ook de eigen middelen van de universiteit (1^e geldstroom) worden grotendeels aangewend met inspraak van een relevante buitenwereld. Formeel heeft de universiteit nog steeds middelen zonder oormerk, maar ook die zijn niet veilig. Wij onderzoekers moeten ze inzetten als matching funds, een conditie die steeds vaker wordt gesteld om überhaupt in aanmerking te komen voor externe financiering. Denk onder andere aan de ICES/KIS-projecten. Ruimte voor écht vrij risicovol onderzoek is er vrijwel niet. Voor onze kraamkamerfunctie hebben we nauwelijks fondsen meer. Dank aan AWT die voor deze benauwende ontwikkeling aandacht heeft gevraagd.

Een hoopgevende minister

Maar er is hoop. Volgens Maria, onze minister. Zij heeft bij de opening van nieuwbouw voor NITG-TNO gezegd: "In de eerste plaats is de kerntaak van de universiteit om vrij en ongebonden, fundamenteel en vernieuwend onderzoek te doen. Dat kan en dat moet niet worden gestuurd door te wapperen met de geldbuidel. Dat zou leiden tot risicoloos onderzoek, en de rol van de universiteit als broedplaats van

nieuwe ideeën aantasten”¹. Een aardige vrouw, die minister, toch? Ik hoop inmiddels voor mijn opvolger dat háár geldbuidel dan wél wappert. De minister zegt nog meer mooie dingen. Ze herinnert aan het bestaan van de grote technologische instituten als TNO, WL en GeoDelft. Het is een typisch Nederlandse keus geweest om juist dit deel van de kennisinfrastructuur veel te laten werken voor bedrijven en de brugfunctie te laten vervullen tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen. Ze zegt: “de universiteiten hebben de ruimte om ongestoord broedplaats te zijn, doordat TNO en GTI’s ze uit de harde commerciële wind houden”. *Ik ben het ook hiérmee eens. Niet bij uitsluiting van alle onderzoek in 2^e en 3^e geldstroom, maar de universiteit moet substantiële ruimte hebben om weer academie te zijn. Het is de hoogste tijd om het praktisch nut weer meer op de achtergrond te laten. Dat lijkt me de beste garantie voor een kennis-intensieve samenleving en een bloeiend bedrijfsleven.*

Waardering en aanzien van de bouw

Het gaat even niet goed met de maatschappelijke waardering en het aanzien van de bouw. De overheid ziet vooral zaken staan als ICT, nanotechnologie, biotechnologie en duurzaamheid. EZ noemt ze sleutel-economieën. De bouw verwerft in het rijtje moeilijk een plaats. Dié komt voor in andere opsommingen, waarin zaken als Betuwelijn en bouwfraude hoog noteren.

| Techniek Top Tien | Speerpunten TU Delft |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Sensornetwerken Weefselinjecties Nanozonnecellen Mechatronica Grid computing Molecular imaging Nanodruktechnieken Koolstofnanobuisjes Fotonica Dendrimeren | <ul style="list-style-type: none"> Earth ICT Life science and technology Mechatronics and microsystems Mobility and transport Nanotechnology Water Multifunctional infrastructures Sustainable energy Sustainable industrial processes Sustainable urban areas Computational science and engineering Materials science |

Figuur 2. 'Top tien' in het onderzoek volgens De Ingenieur en onderzoekspeerpunten van de TU Delft.

De 'top tien' lijst in de Ingenieur van 21 maart 2003 is niet beter (figuur 2). De TU Delft met twee bouwopleidingen (meer dan een derde van de studenten) zal het wél beter doen, denkt u me al vooruit. Toch niet, in de gekozen onderzoekspeerpunten zoek je te vergeefs naar duidelijke bouwthema's. Hooguit zijn die impliciet aanwezig. De bouwfaculteiten waren kennelijk niet aangeschoven toen

de belangrijke keuzen werden gemaakt, en wie wel aan tafel zat, moet niet het vitale belang van de bouw hebben beseft voor onze dichtbevolkte delta met zijn specifieke problemen.

Ook ik ben trots op de grote naam van onze universiteit op zulke gebieden als nano- en biotechnologie. Onze collega's genieten terecht faam. Toch is de sterke focus op Nanos (dwerg in het Grieks) voor een deel een politieke hype. De betekenis van de grootschalige artefacten van de civiel ingenieur in bouw en offshore is voor ons dagelijks leven en onze toekomst ten minste even groot. Daarom: met het verschuldigde respect voor dwerg Nanos, óók hoera voor reus Gigas! De construerende wetenschappen van de bouwfaculteiten bewijzen de samenleving onschatbare diensten met *gigatechnologie*.



Figuur 3. Balgstuw Ramspol bij Kampen. Een probleem van doekmechanica



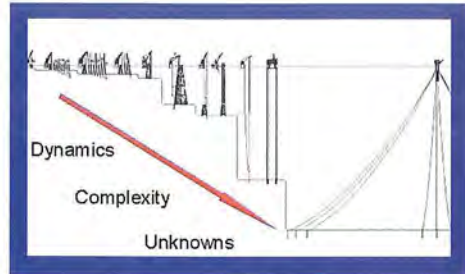
Figuur 4. Maeslantkering in Nieuwe Waterweg. Gigatechnologie in de waterbouw.



Figuur 5. Pont Normandie in Frankrijk. Een voorbeeld van gigatechnologie in Frankrijk.



Figuur 6. Voorbeeld van hoogbouw met complexe mechanica-aspecten



Figuur 7. Offshore-installatie voor olie-winning gaat tot 300 meter diep in water.

Denk aan de indrukwekkende prestaties van offshore-ingenieurs, hoogbouwdeskundigen en ontwerpers van stormvloedkeringen en geavanceerde infrastructuur. Hoe hield u anders droge voeten en had u in de Aula moeten komen? De figuren 3 tot en met 7 zijn voorbeelden van deze technische hoogstandjes.

Twee mogelijke oriëntaties

Als mechanicabeoefenaars kun je op twee manieren in het veld van wetenschappelijke onderzoek staan. Óf je richt je op mechanica als monodiscipline met een oriëntatie op de mechanicacollega's in andere opleidingen, óf je stemt multidisciplinair af op collega's in bouw en offshore. Voor beide oriëntaties bestaat een onderzoekschool in Ne-

derland. In de monodiscipline mechanica ligt het accent vandaag op zulke zaken als MEMS, de interactie van mechanica en nanotechnologie en de interactie tussen mechanica en biotechnologie. De grote vragen in de construerende disciplines liggen op het gebied van innovatieve bouwmaterialen met hoge sterkte, grond-vloeistof-constructie-interactie, ondergronds bouwen, niet-lineaire studies in wegbouw, railbouw en offshore en meer andere nieuwe probleemgebieden. Ikzelf heb zeer bewust de keuze gedeeld voor de multidisciplinaire oriëntatie, een keuze die de opleiding al jaren geleden gemaakt heeft. Daarom is de sectie ConstructieMechanica opgenomen in de afdeling Mechanica, Materialen en Constructies. Daar ligt de primaire missie voor toegepaste mechanica in de opleiding civiele techniek. Deze mechanica voor gigatechnologie hebben we de laatste jaren gebundeld in het programma *Mechanics of Structural Systems*. Hiér ligt vanouds de bestaansreden voor de sectie ConstructieMechanica; in dit onderzoek werken we nauw samen met construerende collega's, op dit gebied wordt al tien jaar onderzoek verricht waar de TU Delft trots op kan zijn en met dit onderzoek bevruchten we het onderwijs in de opleiding civiele techniek. Het zal niet verbazen dat we vanuit deze integrale invalshoek primair hebben gekozen voor participatie in de onderzoekschool Bouw. Voor onderzoek is die de natuurlijke partner. Omdat van alle doctores de helft doorstroomt naar ingenieursbureaus en aannemers, stimuleert deze onderzoekschool ook innovaties in de praktijk.

Ik zeg tegelijk met gepaste trots, dat de sectie óók sterk is geworden en het is gebléven op het gebied van numerieke materiaalmecanica. Op dát gebied gaan we graag samenwerking aan met mechanicabeoefenaars in andere technische disciplines. Dit noemen we ons programma *Computational Mechanics of Materials*. Vanuit dit deelveld participeert de sectie ConstructieMechanica in de onderzoekschool Engineering Mechanics.

Onderzoekthema's voor bouw en offshore

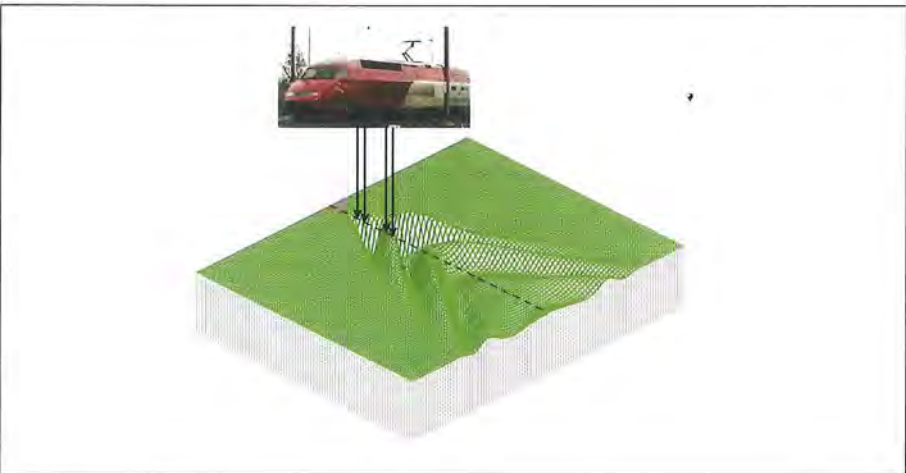
Het mechanicaonderzoek heeft zich de laatste kwart eeuw op een aantal facetten gericht. De nieuwe computer power zorgt voor een doorbraak op het gebied van numeriek onderzoek. In de jaren zeventig en tachtig van de vorige eeuw is een stimulans gegeven aan het onderzoek op het raakvlak van mechanica en betonconstructies. Ik denk met veel genoegen terug aan de vroege samenwerking met betoncollega Reinhardt van onze faculteit en Monnier van TNO Bouw die leidde tot het nationale CUR-programma Betonmechanica. De nieuwe numerieke methoden vroegen om een nieuw type onderzoek van de betoncollega's en hún expertise zette omgekeerd de mechanica-beoefenaars op een ander been. De nieuwe kennis is gesublimeerd in commerciële software waarmee collega Walraven en Van Breugel hun onderzoek voortzetten. Voor de mechanicabeoefenaars ligt de focus van het onderzoek daarna bij numerieke modellering van metselwerk

en de mechanica van cementgebonden materialen. Inmiddels legt het mechanicaonderzoek zich primair toe - hoewel niet uitsluitend - op drie aandachtgebieden: *numeriek, niet-lineair en dynamisch wegbouwonderzoek, niet-lineaire dynamica voor railbouw en offshore en numerieke materiaalmechanica*. Met de eerste twee aandachtsgebieden beweegt het mechanicaonderzoek zich op het gebied van de gigatechnologie (Mechanics of Structural Systems) en met het laatste onderwerp op het gebied van micro- en mesoschalen, met een tendens naar de nanoschaal (Computational Mechanics of Materials).

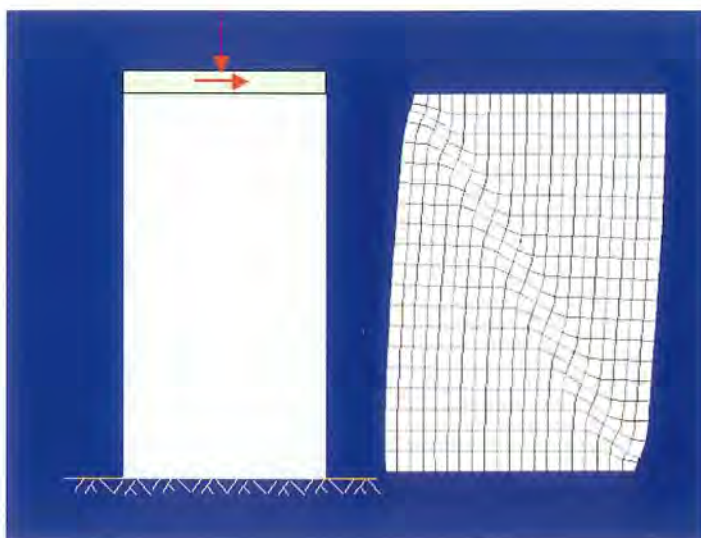
Het eerste gebied betreft nauwe samenwerking met de groep wegbouwkunde van collega Molenaar, het tweede met de groep railbouwkunde van collega Esveld en de groep offshoretechnologie van collega Meek en het derde met het micromechanisch laboratorium van collega Van Breugel.



Figuur 8 Het bepalen van grondeigenschappen uit de registraties van een valgewichtproef in de wegbouw is een complex dynamisch probleem.



Figuur 9. Het voorspellen van instabiliteit in banen voor hogesnelheidstreinen-vooronderstelt kennis van dynamica en wiskunde op specialistisch niveau.



Figuur 10. Voorbeeld van onderzoek op het gebied van materialen.

Naast deze drie hoofdgebieden kunnen schaalproblemen, onderhoudsstrategieën, responsie van hoge gebouwen en andere problemen aan de orde komen. De figuren 8, 9 en 10 geven voorbeelden van dit onderzoek.

Mechanica en aansturing

Leiding geven aan een universiteit is geen sinecure. Het aansturen van een broedstoof van kennis en kraamkamer van innovatie veronderstelt affiniteit met het klimaat en condities die voor een academische omgeving gelden. Maar als die omgeving duizenden medewerkers telt, moet er ook steeds brood op de plank en orde in het huis zijn. Dat is balanceren op een smal koord. Hoe wordt dat in de Nederlandse technische universiteit ingevuld? Het antwoord is bekend: steeds meer met managers die hun sporen hebben verdiend in het bedrijfsleven. "Why be a scientist if you can be his boss". Onze faculteit treft het met een decaan, die ingenieur is en eerder leiding heeft gegeven aan een kennisintensieve organisatie.

Tussen de wasmiddelen

We maken nu mee dat de universiteiten een deel van hun middelen gaan besteden aan reclame, voorlichting en marketing. "Tussen de wasmiddelen", kopt het NRC/Handelsblad (zaterdag, 7 juni 2003). De

universiteiten zijn supermarkten geworden. "Ik behandel de universiteit als een distributiemiddel van kennis", zegt een bruisende topman uit een reclamebureau in Italië (Roberto Piovani). "Het enige verschil is, dat in de schappen academische titels liggen". Een ander (Marinelli) zegt schaamteloos: "We zijn als een onderneming. We hebben diverse productiemiddelen: collegezalen, laboratoria, bibliotheken, en we moeten er zeker van zijn dat die niet onbenut blijven". Het organogram wordt er op aangepast. Stuitend toch? De universiteit heeft een slingerbeweging gemaakt. Eind jaren zeventig was er nog een bevoogdende en gecentraliseerde administratie, met bonnencultuur. Geleidelijk is aan de wetenschappelijke groepen groter vrijheid gegeven. In de secties gebeurt het! Die kregen krediet en droegen verantwoordelijkheid. Ik vind het jammer dat dit stimulerende model wordt verlaten.

Afrekencultuur

U hebt het misschien ook wel eens gezien. In de hal van sommige ondernemingen kan iedereen op een scherm de beurskoers volgen. Op een subtieler manier gebeurt iets dergelijks in de moderne universiteit. De groepen worden afgerekend op hun performance, gemeten in wetenschappelijke productie. Dus door in de achteruitkijkspiegel te kijken, en bovendien worden in deze afrekencultuur maatstaven aangelegd, die ik principieel oneigenlijk vind voor ontwerpende en construerende faculteiten en - met alle verbetering - nog altijd eenzijdig. De koerswaarde van de wetenschappelijke groepen wordt op regelmatige basis aan het volk getoond. Visitatie heet dat. Arie van den Beukel heeft er in zijn laatste boek een alternatieve naam voor: telgekte.²

Deze zomer vroegen we een erkende autoriteit uit de bouw-wetenschappen om de keynote lecture op het jaarlijks nationale PhD-congres van de onderzoeksschool Bouw te houden. In een indrukwekkende en buitengewoon inspirerende voordracht pleitte hij hartstochtelijk voor minder schrijven en meer lezen. Niet hun productie maar de academische vorming van onze jonge onderzoekers zou moeten wegen. Aldus sprak de erudiete professor Peter Marti van de ETH-Zürich. Hij verwoorde het ideaal van een academisch instituut met gecontroleerde disorde, met ruimte voor geleerdheid, met respect voor vakmensen, met beloning voor (alleen) zinvol publiceren, kortom een universiteit met academische cohesie en florerende diversiteit.

Inmiddels is tellen wel de basis voor de middelentoe wijzing aan de groepen. Landelijk is de kennisoverdracht van de universiteit naar het bedrijfsleven een aangelegen zaak. Die zou stagneren. Weet onze buitenwereld dat die activiteiten in het interne telsysteem vrijwel niets opbrengen? Een tip voor een gesprek van VNO-NCW met het CvB.

Mechanica en onderwijs

Dames en heren, ik heb de beste wijn tot het laatst bewaard: het onderwijs. Het toerusten van steeds weer nieuwe cohorten jonge civiel ingenieurs heeft me veel voldoening gegeven.

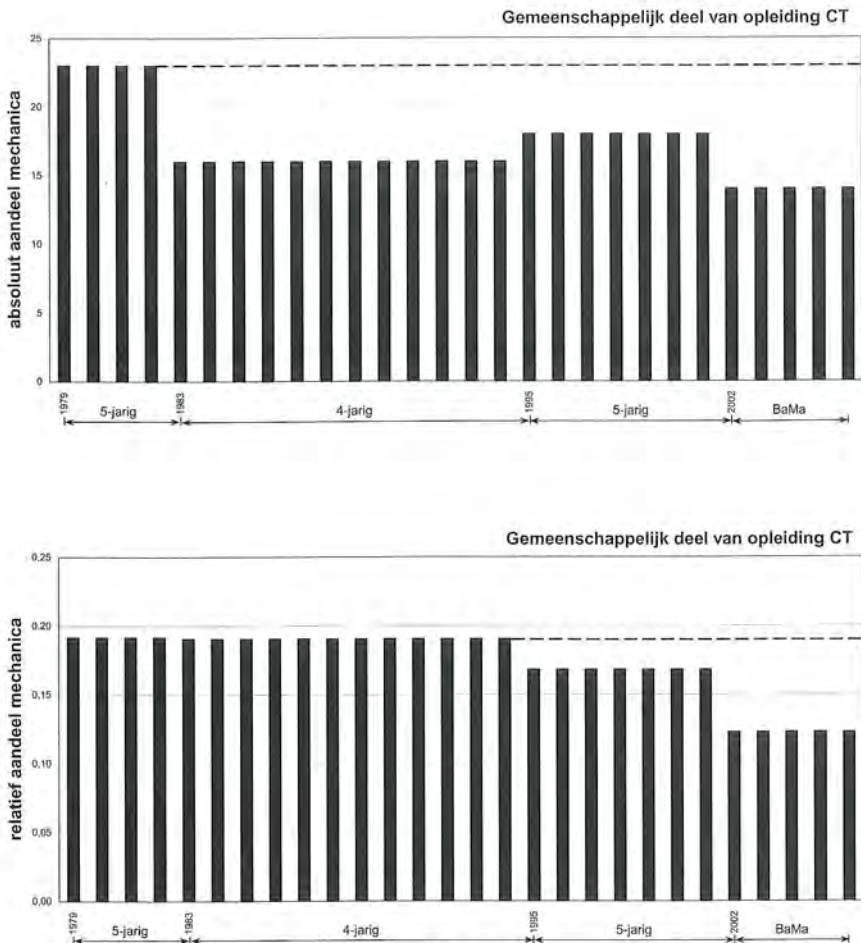
Vijf majeure wisselingen

Het onderwijs is bepaald geen constante in het leven van een hoogleraar. In de beschouwde kwart eeuw is het curriculum driemaal ingrijpend herzien. Ik maakte mee: een ombouw van vijf jaar naar vier in 1984, weer teruggaan naar vijf jaar in 1995 en de herstructurering door het invoeren van de BaMa structuur in 2002. In diezelfde periode hebben we ook het onderwijsmodel tweemaal veranderd. Vanouds werkte de faculteit met twee semesters, waarbij menig college een vol jaar duurde. In alle rust bouw je dan wat op. Rond 1990 zijn we overgegaan op een onderwijssysteem met vijf blokken, twee voor Kerst en drie erna. De onderwijskundigen hadden een greep naar de macht gedaan en beloofden hoger rendement, omdat de studenten geen uitstelgedrag meer zouden vertonen. De gedachte is immers om in één blok maar een klein aantal vakken aan te bieden, die in dat blok geheel te behandelen en direct erna te toetsen. Wij mechanici hebben wel een beetje gesputterd dat kennis beklijven moet en niet in korte tijd kan worden ingegoten, maar niet ook weer niet te hard want er zitten best aardige mensen onder die onderwijskundige collega's en zo trok de karavaan door. Als je toch kiest voor een bloksysteem, passen vijf blokken overigens mooi in het curriculumjaar en wordt de toetslast prettig over het jaar verdeeld. Maar het rendement is (u raadt het al) eigenlijk helemaal niet significant veranderd. Een student bepaalt nog steeds zelf of hij zich zal inspannen en wanneer.

Na ongeveer tien jaar had één recalcitrante faculteit zich nog steeds niet naar het model met vijf blokken gevoegd en ik mocht daar als laag overvliegende rector wat aan doen. Net nadat het verzet van deze faculteit breekt, kiest een nieuw college van bestuur weer voor een ander systeem. We verlaten het vijfblokken model voor wat dan heet vier perioden. Het moet toeval zijn dat de nieuwe rector uit de weerstrevende faculteit kwam. De motivering was om beter aan te sluiten op internationaal gebruikelijke indelingen en gelet op de beoogde uitwisseling van studenten lijkt het een valide argument. Maar in de praktijk is het natuurlijk een drogreden omdat het cursusjaar van de meeste buitenlandse universiteiten toch niet spoort met ons cursusjaar. 'Keep smiling' hielden we ons voor.

Als u hebt meegeteld, kunt u vaststellen dat ik in totaal vijf keer een majeure systeemverandering meemaakte in een verblijftijd van

24 jaar, zeg één keer in de vijf jaar. En ik verzeker u dat er ongeveer veel energie in gaat zitten, mede door allerlei ingewikkelde overgangsregelingen. Eén wijziging per vijf jaar. Een student verblijft gemiddeld 6 jaar in de faculteit, dus we veranderen het systeem al weer voordat één generatie studenten doorstroomt. Om goed te kunnen evalueren zou je toch wel een aantal uitstromen willen hebben. Je hebt 8 tot 10 jaar nodig voor je een oordeel kunt hebben over de effectiviteit van een ingevoerde verandering, maar wij wijzigen gerust de spelregels tijdens het spel.



Figuur 11. Aandeel van constructiemechanica in het gemeenschappelijk deel van de opleiding Civiele Techniek als functie van de tijd.

Softening

Hoe heeft het vak toegepaste mechanica zich gehouden onder alle wijzigingen van buiten en van binnen? Laten we eens kijken naar het mechanicaonderwijs dat verplicht is voor elke student. In figuur 11 wordt getoond hoe het aandeel in het gemeenschappelijke basisdeel van de opleiding verloopt. Ik heb het laatste deel van de grafiek maar vast vijf jaar vooruit getekend. Dan zal er zo ongeveer wel weer een verandering langskomen. De trend is duidelijk; het aandeel van 'droge' mechanica is merkbaar afgenomen. 'Softening' heet dat in ons vak.

Vanouds was elke civiel ingenieur min of meer een bouwingenieur. Dat is ook niet zo dwaas als je let op de markt waarvoor we opleiden. De meer natte sector Grond-, Weg- en Waterbouw vormt tenslotte hooguit 20% terwijl de droge sector Bouw en Utiliteitsbouw zeker 80% uitmaakt. Goed, de Delftse civiel ingenieur van de 21^e eeuw is niet meer vanzelfsprekend een bouwingenieur. Nu is dat één van de profielen binnen de opleiding civiele techniek, zij het gelukkig nog altijd een aantrekkelijke en sterke: Mechanica, Materialen en Constructie (MMC), voortaan Bouw geheten.

Ik ben van mening dat de afkalving van mechanica een doorgaand proces zal zijn. Op goede gronden wordt in de opleiding ruimte gemaakt voor nieuwe belangen. Wellicht zijn we daarin zelfs nog niet ver genoeg gegaan. Daarom zal de mechanicacomponent in de bachelorfase in de toekomst verder afnemen, of - breder gezien - het fundamentele karakter van de bachelor. Tegelijk constateren we een brede bezorgdheid over het beta-gehalte van het VWO. Misschien neemt het aantal jongelui dat kiest voor een beta-profiel in relatieve zin niet hard af, maar het "soortelijk gewicht" van het profiel doet dat wel. De student komt minder toegerust binnen.

Master of Structural Engineering; Bachelor of Engineering Science

In de nieuwe BaMa-structuur zou ik twee aanbevelingen willen doen. Als ik de voorkeur van de universiteit goed begrijp, wordt gekozen voor brede bachelors en voor specialisatie in de master-opleidingen. De eerste aanbeveling is: pronk met de mooie afstudeerrichting MMC en zet deze in de etalage als een afzonderlijke opleiding Master of Structural Engineering, aansluitend bij de onderzoeksschool Bouw.

De tweede aanbeveling betreft de bachelorfase in de opleiding. Het is realiteit, zei ik, dat het fundamentele karakter afneemt. Ja, maar de behoefte aan fundamenteel opgeleide mensen zal alleen maar toenemen. Het mag waar zijn dat voor het verbeteren van de winstmarges in de bouw vooral procesinnovatie nodig is, een verbeterd proces zonder een hoogwaardig product is als een roer zonder schip, als een dirigent zonder koor. Het product wordt voortdurend geavanceerder

en complexer: offshore-technieken voor oliewinning op een diepte van kilometers, ondergronds bouwen onder historische woonwijken, hogesnelheidslijnen op slappe bodem, grote werken op zee en zaken als windenergieproblemen vragen om diepstekende kennis, kennis die niet meer kan worden opgebouwd in de (daarvoor te korte en volle) masteropleidingen. Voor menig fundamenteel PhD-project is de Nederlandse vooropleiding inmiddels te licht en is de wetenschappelijke bagage ontoereikend. Daarvoor komen nu primair buitenlandse kandidaten in aanmerking. Hier is daarom mijn tweede advies aan de TU Delft: richt een afzonderlijke bacheloropleiding *Engineering Science* in. Leg hierin de nadruk op de diverse vormen van wiskunde, mechanica, natuurkunde, scheikunde, probabilistische methoden, systeemleer, modelvorming, informatica, software engineering en andere vakken die een fundamentele basis leggen voor geavanceerd construeren en beheren van constructies. Vul hiermee in de orde van tweederde van het curriculum. Voor een goed huis, moet je eerst een gedegen fundament leggen. Zo vraagt een écht goede masteropleiding om een excellente bachelor. Deze opleiding 'bachelor plus' zal niet groot worden, maar kan faculteiten-overspannend zijn, want gaat toeleveren aan vervolgopleidingen op het gebied van bouw, offshoretechnologie, maritieme techniek, vliegtuigbouw en werktuigbouw. Voor onderzoek op het gebied van gebouwen, civiele kunstwerken en offshore zullen collega's graag doorstarten met deze goed opgeleide mensen. Ik ben ervan overtuigd dat het ook geldt voor construerende disciplines in andere faculteiten. Dit 'Delft University College' met een elitair en zwaar programma zal studenten aantrekken die wat in hun mars hebben, willen werken en het nog in drie jaar doen ook. Voor dit College geen studenten die vragen om een cultuur van eindeloos deel nemen aan tentamens. Het idee staat dwars op de tijdgeest. Het is als parallelspoor ook het omgekeerde model van wat de TU nu koestert. Nu wordt ingezet op brede bachelors en wordt specialisatie beoogd in de masteropleidingen. In het voorgestelde parallelspoor is de bachelor fundamenteel en waaiëren de afgestudeerden uit over masteropleidingen die ten opzichte van de specialistische bachelor breed genoemd kunnen worden. Kundige en bereidwillige docenten heeft Delft genoeg in huis, en een talentvolle jonge generatie wacht er op. Dit worden de beroemde Nederlanders waar een NRC-artikel recent om vroeg in een bespreking van een Nota van EZ, OC&W en Sociale Zaken terzake.

College geven is een feest

Ik heb erg genoten van mijn werk als docent. College geven is een feest. Studenten inwijden in de schoonheid van de toegepaste mechanica is een voorrecht. Door de aard van het vak moet je voortdurend een beroep doen op de wiskundekennis van de student - en daar smullen sommigen al van - maar het wordt pas écht leuk als je na het voltooien van een al dan niet gecompliceerde afleiding een

stapje terug doet, door je oogharen kijkt en laat zien wat er fysisch schuil gaat achter alle wiskundig geweld. Het doel is tenslotte niet verstóuwen, maar verståán.

Voor mij betekent het vooral vreugde om aan de hand van eenvoudige educatieve modellen essentiële aspecten van constructiegedrag te laten zien. Ik laat daarvan twee voorbeelden zien.

Model voor plaatbuiging

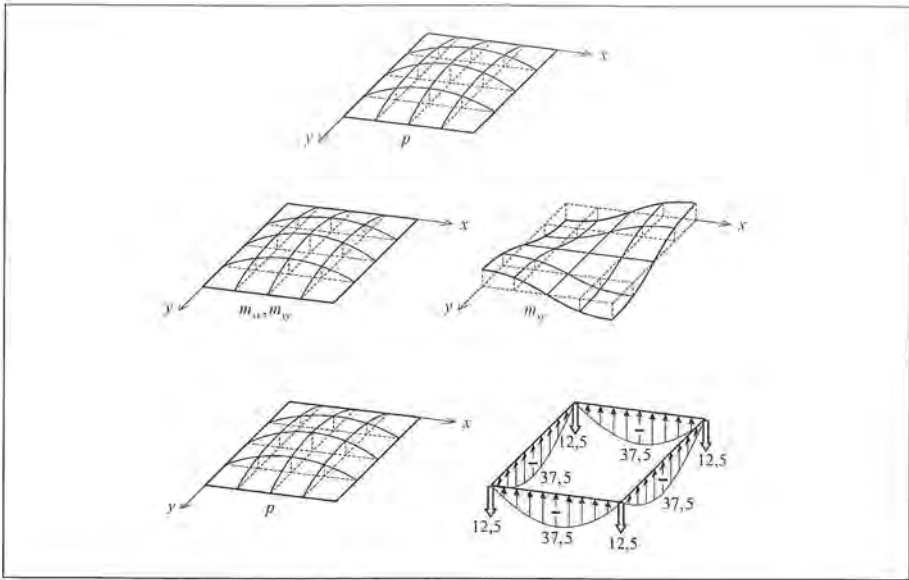
Het eerste educatieve model betreft het elastisch gedrag van op buiging belaste dunne platen, een element dat in civieltechnische constructies vaak voorkomt. Laten we eerst een exacte oplossing bespreken. We kiezen een vierkante vrij opgelegde plaat in een assenstelsel x,y . Het probleem wordt voor rustende belasting beheerst door de biharmonische differentiaalvergelijking:

$$D \nabla^2 \nabla^2 w = p$$

met ∇^2 de operator van Laplace, D de plaatstijfheid en p de verdeelde belasting. In uitgewerkte vorm luidt de differentiaalvergelijking:

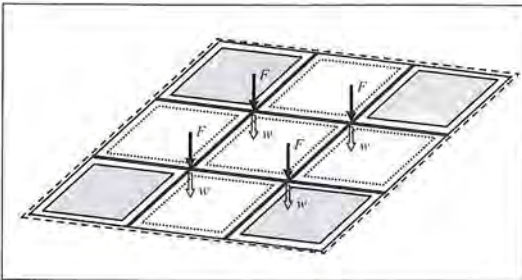
$$D \left\{ \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4} \right\} w = p$$

De eerste en derde term beschrijven liggergedrag in twee loodrechte richtingen en de middenterm staat voor wringing. De afleiding staat op naam van Lagrange (1811), maar is eigenlijk te danken aan ene Sophie Germain¹. Op voorstel van Napoleon schreef de Franse Academie een prijsvraag uit voor een mathematische beschrijving van een trillende plaat en de enige inzending was van haar. Ze gebruikte variatierekening om de differentiaalvergelijking af te leiden. Ze koos wel de goede integraal voor de potentiële energie, maar bij het stationair maken van de uitdrukking maakte ze een fout bij het variëren. De toen 75-jarige Lagrange was één van de juryleden, merkte de fout op, corrigeerde die en vond zodoende als eerste de correcte vergelijking. Negen jaar later zou Navier een afleiding leveren op basis van evenwichtsvergelijkingen, constitutief gedrag en kinematische relaties, de manier waarop ik het zelf heb gedoceed.



Figuur 12. Vierkante vrij-opgelegde plaat onder een dubbele sinusbelasting met momentverdeling en verrassende oplegreacties.

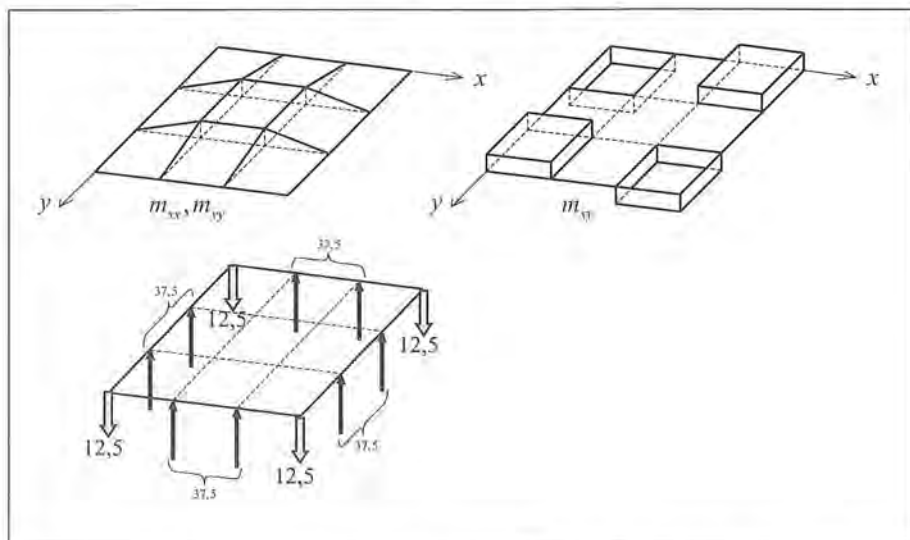
Terug naar onze vierkante plaat. Als je een dubbele sinusbelasting kiest, zie figuur 12, kun je alle bijzonderheden van plaatgedrag aangeven. De buigende momenten zijn maximaal in het plaatmidden en wringende momenten in de hoeken. De som van alle opwaartse verdeelde oplegreacties langs de zijden is verrassend genoeg 50% groter dan de totale belasting op de plaat (voor een Poissonconstante nul), wat gecorrigeerd wordt door een grote neerwaarts gerichte oplegreactie in elk van de vier hoeken. Elke construerende civiel ingenieur hoort dit te weten. Wie denkt dat een kwart van de belasting wordt afgevoerd naar elke zijde, tast dus behoorlijk mis. Het befaamde constructeurgevoel laat ons hier in de steek.



Figuur 13. Discreet model voor de plaat van figuur 12, een rooster van liggers voor buiging en panelen voor wringing. De liggers bestaan uit door rotatieveren gekoppelde starre delen.

Het aardige is dat je hetzelfde resultaat vindt aan de hand van een mechanisch modelletje. Je kunt de eerste en derde term in de differentiaalvergelijking (3) benaderen met een rooster van liggers. We kiezen hier een equidistant rooster met twee liggers in elke richting, zie figuur 13. Elke ligger laat zich vervangen door een samenstel van drie starre staafdelen die in de roosterknopen door rotatieveren zijn gekoppeld en in elk van de vier knopen kiezen we een verticale verplaatsingsvrijheidsgraad. De belasting brengen we aan in de vorm van puntlasten in de vier knopen. Door de dubbele symmetrie hebben we in feite maar één vrijheidsgraad, want ze zijn alle vier gelijk.

Het model dat zo ontstaat is aangevuld met panelen, die ter plaatse van de knopen aan het rooster worden bevestigd. Zo'n paneel zal vervormen onder een evenwichtsstelsel van vier hoekkrachten waarbij in het paneel uitsluitend een wringend moment optreedt en omgekeerd zullen de hoekkrachten en het wringend moment in het paneel nul zijn als het paneel niet vervormt. Kennelijk representeren de panelen de wringterm in de differentiaalvergelijking. Op grond van symmetrieoverwegingen treedt geen vervorming op in vijf van de negen panelen (die zijn gestippeld), zodat alleen in de vier hoekpanelen een wringend moment voorkomt. Zo kun je zonder rekenen al kwalitatief laten zien dat de wringing optreedt in de hoeken en dat in de hoeken een trek-oplegreactie optreedt. Maar ook kwantitatieve informatie is snel verkregen. Voor het model kan op eenvoudige wijze een handberekening worden uitgevoerd. Er is tenslotte maar één vrijheidsgraad. Het resultaat bevestigt de uitkomst van de exacte



Figuur 14. De momentverdeling en oplegreacties in het discrete model van figuur 13.

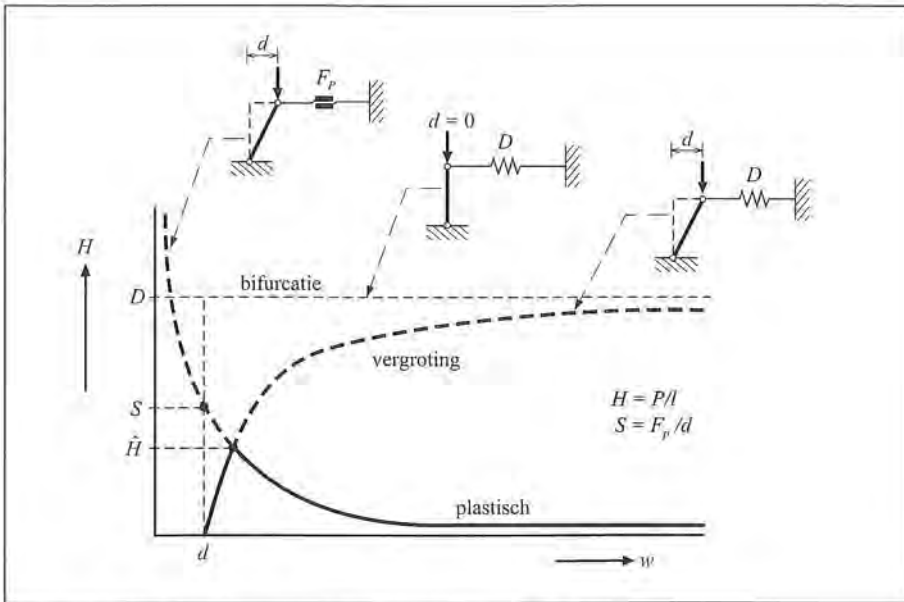
aanpak met de differentiaalvergelijking: maximale buigende momenten in het plaatmidden, wringende momenten in de hoeken, oplegreacties die 50% groter zijn dan je verwacht en grote neerwaartse trekkrachten in de plaathoeken voor goed evenwicht, zie figuur 14.



Figuur 15. Foto van ingestort Gammadak.

Model voor wateraccumulatie

Ik wil u een ander voorbeeld geven van een inzichtverschaffend model. Nederland heeft een actueel probleem met grote platte daken. Water is een geniepige belasting als de afvoer verstopt is. Dan komt er een laag water op het dak te staan tot aan de noodoverlaat. Daardoor zal het dak uiteraard doorbuigen, met het gevolg dat er extra water bij kan, waardoor vervolgens de doorbuiging toeneemt, er weer meer water bij kan, de doorbuiging weer aangroeit, nog meer water op het dak komt, enzovoort. De constructeur kent dit fenomeen onder de naam 'wateraccumulatie'. Op de een of andere manier heeft hij vandaag de dag kennelijk niet onder de knie hoe je hiermee moet omgaan, want er gaat nog al eens wat fout. In tien jaar tijd zijn in Nederland 200 instortingen geregistreerd. Figuur 15 laat een foto zien van een ingestort Gamma-dak, maar ik zou ook een Ikea-dak kunnen tonen. Voor dit probleem kun je een modelletje maken dat geïnspireerd is door en geënt op een bekend model uit een andere tak van mechanica, namelijk knik. Dat model zal ik eerst laten zien.

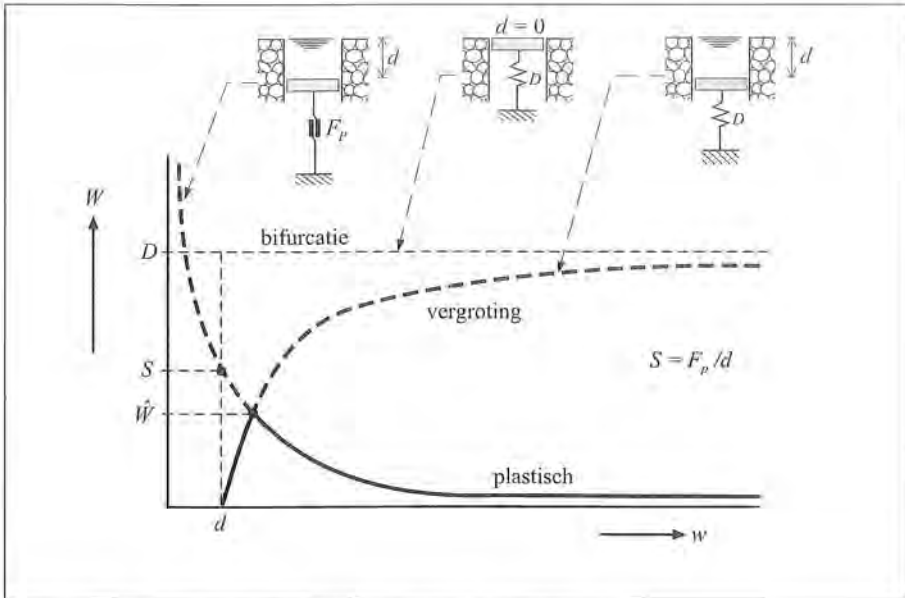


Figuur 16. Het probleem van knik herleid tot zijn kern.

Het zal ongeveer 40 jaar geleden zijn dat ik professor Witteveen instabiliteit tot zijn kern zag herleiden. Figuur 16 geeft in grote lijnen het model weer. De steunconstructie wordt óf geïdealiseerd tot een serieschakeling van een veer en wrijvingselement. De veer representeert de elastische fase en het wrijvingselement het plastisch gedrag. De stijfheid van de veer is D en de sterkte van het wrijvingselement F_p . Bij een zijdelingse verplaatsing w wordt de serieschakeling door de verticale belasting P aangedreven. Per eenheid van verplaatsing w heeft de aandrijvende kracht in de richting van w de grootte P/l , waarvoor we de notatie H invoeren. Elastisch treedt bij een systeem zonder imperfectie bifurcatie op en in het geval van een imperfectie (scheefstand) is er sprake van een vergroting van de beginverplaatsing d . Wie de vergrotingsfactor klein wil houden moet de stijfheid D groot kiezen ten opzichte van de optredende H . Voor het plastische systeem neemt de opneembare belasting H af bij aangroeiende verplaatsing w . In de curve die hierbij hoort is de specifieke sterkte S , het quotient van F_p en d , een belangrijke parameter. Op elegante wijze laat het eenvoudige model zien hoe de belasting bij aangroeiende verplaatsing w eerst kan toenemen om van af een waarde \hat{H} weer af te nemen. Voor deze maximaal opneembare belasting laat zich een eenvoudige formule afleiden (regel van Merchant):

$$\frac{1}{\hat{H}} = \frac{1}{D} + \frac{1}{S}$$

Dames en heren, dit is dit toch puur genieten?



Figuur 17. Parallelle van wateraccumulatie met knik.

En nu naar het water accumulatieprobleem. Een groot dak bestaat doorgaans uit spanten met daartussen gordingen waarover dakplaten worden gelegd. Ik betrek vandaag alleen de gordingen in de beschouwing en modelleer een dak met een zuiger in een cilinder. De gordingen worden geïdealiseerd tot een serieschakeling van een veer en wrijvings-element onder de zuiger, te vergelijken met de aanpak bij het stabiliteitsprobleem. De grootte d , die in het stabiliteitsprobleem de initiële scheefstand was, is nu de afstand van het dak tot de noodoverlaat. Figuur 16 gaat nu over in figuur 17. Het enige verschil is dat de kniklast H van het stabiliteitsmodel wordt vervangen door de specifieke waterbelasting W in het model voor wateraccumulatie. Deze definieer ik als het watergewicht van een laag water op het dak met de eenheid van dikte (bijvoorbeeld een millimeter). De specifieke sterkte S wordt weer berekend als het quotiënt van F_p en d . De maximaal opneembare specifieke waterbelasting \hat{W} wordt op dezelfde wijze uit de stijfheid D en specifieke sterkte S berekend als \hat{H} in het knikprobleem:

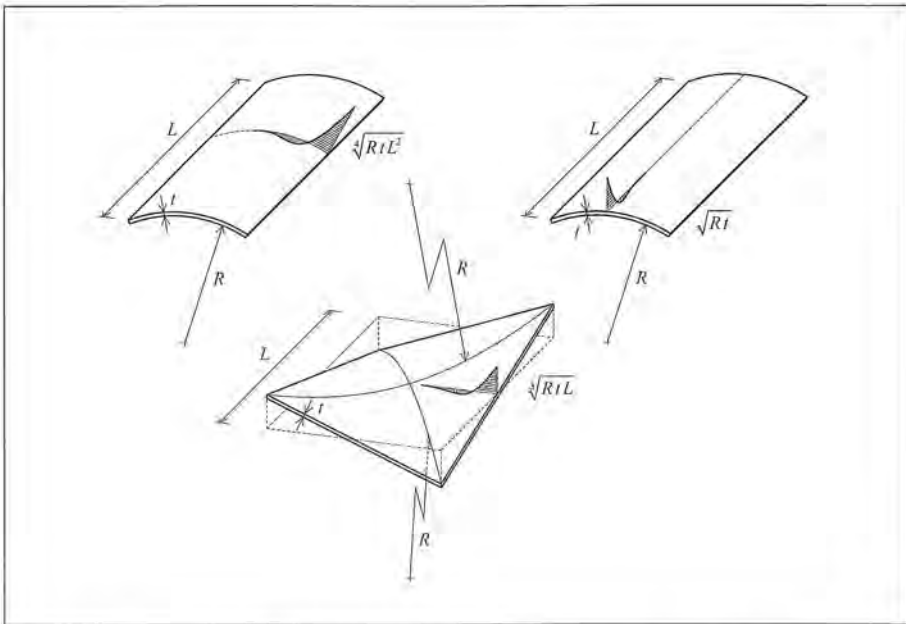
$$\frac{1}{\hat{W}} = \frac{1}{D} + \frac{1}{S}$$

De uitbreiding naar een systeem van spanten, gordingen en dakplaten is eenvoudig te maken. De stijfheid D van het totale systeem volgt uit een serieschakeling van de stijfheden van de genoemde drie delen en voor de specifieke sterkte S moet de kleinste waarde worden aangehouden van de drie onderdelen. Met zo'n eenvoudig overzicht verschaf je de constructeur *inzicht*, is er voor hem weer *uitzicht* op een tevreden bouwtoezicht en spint de eigenaar die het gebouw *inricht*.

Waarde van analytische methoden in de mechanica

Nog kort over de invloed van de computer op het onderwijs. Op het mechanicaonderwijs in de gemeenschappelijke basis - nu de Bacheloropleiding - heb ik om een aantal redenen weinig invloed uitgeoefend. Natuurlijk is er geen grafostatica meer, is de methode Cross opgenomen in het museum en heeft de verplaatsingsmethode voor staafconstructies zijn verdiende plaats gekregen. Gelet op de sterk verminderde hoeveelheid studiepunten in het gemeenschappelijke deel van de moet het onderwijs in de eerste twee jaren nog maar eens tegen het licht worden gehouden. We hoeven geen routine meer te hebben voor onderdelen die de computer van ons overneemt. Het kan voldoende zijn om te weten welke taak de computer uitvoert zonder zelf de vaardigheid te hebben om dat ook te doen.

In de masteropleiding Structural Engineering - nu nog onderdeel van de breed opgezette masteropleiding Civiele Techniek - hebben numerieke mechanicamethoden een stevige plaats gekregen in de vorm van de eindige-elementenmethode. Alle studenten van deze specialisatie maken verplicht kennis met de methode als een onderdeel van een college over platen, en kunnen hun kennis verdiepen in een speciaal voor EEM ingericht college. Voor fijnproevers en toekomstige onderzoekers is er tenslotte een specialistisch college voor niet-lineaire EEM.



Figuur 18. Karakteristieke golflengten in civieltechnische constructies

Naast deze numerieke collegeonderdelen behouden zowel de elasticiteitstheorie als de plasticiteitstheorie hun gewaardeerde plaats. Collega Vrouwenfelder stelt het belang van de plasticiteit veilig en zelf heb ik de behandeling van elasticiteit voor mijn rekening genomen. Ik heb met overtuiging tot en met het jaar 2003 college gegeven over het beschrijven van spanningsvraagstukken met behulp van differentiaalvergelijkingen. De grote waarde daarvan is voor mij onomstotelijk. Ik wil best met u breinworstelen over de vraag hoe grote vaardigheid nog nodig is om randvoorwaarden te verwerken, nu we gereedschappen hebben als Maple, maar niet over de analytische beschouwingen zelf. Die blijven uiterst waardevol, want ze onthullen karakteristieke aspecten van systeemgedrag, die we niet op het spoor komen met numerieke modellen.

Het kunnen afschatten van essentiële golflengten in verend ondersteunde liggers en schalen is onder andere belangrijk bij het kiezen van de netfijn in elementenmethode-berekeningen, zie figuur 18.

Ik heb wel eens zorgen gehad over de continuïteit van deze klassieke aanpak, maar nu niet meer. Het doet me deugd dat studenten opnieuw belangstelling tonen, zodat een nieuwe generatie vernuftelingen het estafettestokje overneemt. Het komt wel goed.

Werelden van verschil

Dames en heren, ik mag uw geduld niet langer op de proef stellen. We gaan afronden, maar ik wil graag nog iets heel anders aan de orde stellen: de relatie tussen levensbeschouwing en wetenschapsbeoefening. Er bestaat geen christelijke mechanica, maar er zijn wel christenen die van mechanica houden. Ik verzeker u: het zijn werelden van verschil. Mijn overtuiging heeft mij gestimuleerd om met volle inzet te gaan voor het vak. Tegelijk bestaat er een tamelijk heftige spanning tussen die overtuiging en het seculiere klimaat van de universiteit. Werken in de universiteit is een 'rat race', is dringen om de beste te zijn, pronken met je reputatie, overdrijven van de competenties van je team, je op de eigen borst kloppen, kortom letterlijk een *Vanity Fair*, om een woord te lenen uit *Pelgrim's Progress* van de fameuze 17^e eeuwse Engelse baptist John Bunyan. In mijn bijbel houdt Christus ons wat anders voor: "Leert van mij dat Ik zachtmoedig ben en nederig van hart" en ook "Uw kracht is uit mij gevonden". In dezelfde geest schrijft Paulus in één van zijn bewaard gebleven brieven⁴: "Wat heb je dat je niet ontvangen hebt". En in een andere brief: "Door ootmoed achte de een de ander uitnemender dan zichzelf". Dat is andere koek. Heerlijk relativerend om onder zulk onderwijs te zitten. Je zou menige collega mee willen nemen.

Twee werelden. Misschien weet u dat ik in beide heb gepubliceerd. Iemand moet gezegd hebben dat theologie te belangrijk is om aan theologen over te laten. Vandaar. Ik hield eraan over dat sommigen van u mij erg gelovig vonden, meen ik gemerkt te hebben. Curieus genoeg vond mijn kerk dat helemaal niet. U hebt zich vast vergist. Het is wel waar dat ik me binnen de universiteit met mijn levensbeschouwing niet altijd op mijn gemak heb gevoeld. Maar dat is sinds kort over na de interviews van Harm Visser met elf notoire atheïsten⁵. De motieven van mensen als Herman Philipse en Rudy Kousbroek maken mij niet jaloers. Verrassend genoeg houd ik er de indruk aan over dat zij zich óók ongemakkelijk voelen, misschien nog wel meer. Ik ervaar meer aansluiting bij een verrassend woord van de humanist Erasmus. Afgelopen winter las ik nog eens het dispuut over de vrije wil tussen hem en de reformator Luther⁶. Hij sluit dat af met: "Als ik Christus niet ken, heb ik het juiste doel nog zeer gemist". Míjn idee.

Mijn dank

In een ambt als dit breng je als eenling niets tot stand. Als we succesvol waren, waren we dat als sectie. Ieder op zijn eigen plaats droeg bij en in ons kernteam gaven we er als hoofddocenten en hoogleraren samen leiding aan. Een model om zuinig op te zijn. Een aantal jonge dames heeft me in de loop van de tijd als secretaresse ondersteund; dié zullen nu mijn dochters wel goed begrijpen. Algemene dienst: ook veel dank voor de prettige ondersteuning.

Construerende collega's in de faculteit: fijn om met jullie samen te werken. In de onderzoekschool zet ik dat nog graag even voort.

Mijn 25 promovendi (3 buiten Delft): jullie (mede) te begeleiden gaf mij veel voldoening en ik zie uit naar het proefschrift van de 10 die nog bezig zijn.

Studenten: onnodig te zeggen wat jullie voor mij hebben betekend. Ik hoop hartelijk dat jullie wederkerig profijt trekken van mijn onderwijs.

Mijn studentassistenten: buitengewoon bedankt voor de fantastische ondersteuning.

Henny, al 40 jaar lang mijn lieve correctrice en tegenwicht: ik beloof plechtig terughoudende bemoeienis met jouw programma van zelfontplooiing.

Dochters Bertina, Anneke, Gertie en Joke, nu allen het huis uit: dank voor het begrip als jullie je pa wéér in zijn werkkamer moesten zoeken. Ik op mijn beurt heb voor twee van jullie extra begrip, die met een bruisende civiel ingenieur door het leven willen. Je hebt thuis gezien wat dat betekent. En één van die civielen komt nog uit Twente óók.

Dames en heren, u begrijpt dat met zo'n thuisbasis elke baan een genoegen wordt.

Ik heb gezegd.

Referenties

- ¹ M.J.A. van der Hoeven, toespraak bij opening nieuwbouw TNO-NITG, 2003
- ² Beukel A. van de, Waarom ik blijf, 2003,
- ³ Evangelie naar Mattheus, 1^e eeuw
- ⁴ Paulus, brief aan Korinthe, 1^e eeuw
- ⁵ Harm Visser, Leven zonder God, 2003
- ⁶ Erasmus, Diatribe, 16^e eeuw