

Ontwerpwedstrijden in het ingenieursonderwijs

Gérard Vroomen

Reeds 25 jaar geleden constateerde het Massachusetts Institute of Technology dat zijn studenten vaak niet in staat waren de geleerde theorie in praktijk te brengen. Besloten werd ontwerpwedstrijden in het studieprogramma te introduceren waarin alle facetten van het ontwerpen aan bod kwamen. Voor het eerst merkte de student wat begrippen als brainstormen, ontwerpen, concipiëren, construeren, produceren, testen en consumeren betekenen, wanneer deze gecombineerd worden met het in de praktijk altijd geldende gebrek aan tijd, materiaal en kennis.

De geleerde kennis is namelijk toegepast op ideale situaties, op sommetjes die op gehele getallen uitkomen. In hoeverre deze kennis in de werkelijkheid toepasbaar is, wordt vaak niet gedeceerd. Het gewenste materiaal bestaat niet of is te duur. Tenslotte kost het bouwen van het "ideale" ontwerp teveel tijd en zal dus genoeg moeten worden genomen met een minder prestigieus ontwerp. Zelfs als al deze pro-

blemen zijn overwonnen blijft het risico bestaan dat de concurrent een eenvoudiger en meer effectieve oplossing heeft gevonden.

Uiteindelijk zijn de ontwerpwedstrijden uitgegroeid tot competities waarbij multidisciplinaire teams in een week tijd een constructie ontwerpen en bouwen waarmee een bepaalde taakstelling zo goed mogelijk kan worden uitgevoerd. Vervolgens komen de verschillende teams tegen elkaar uit in een competitie. Die competitie vormt de ultieme confrontatie met de "echte wereld", met de markt waarop de vele concurrenten actief zijn.

MIT Design Competition

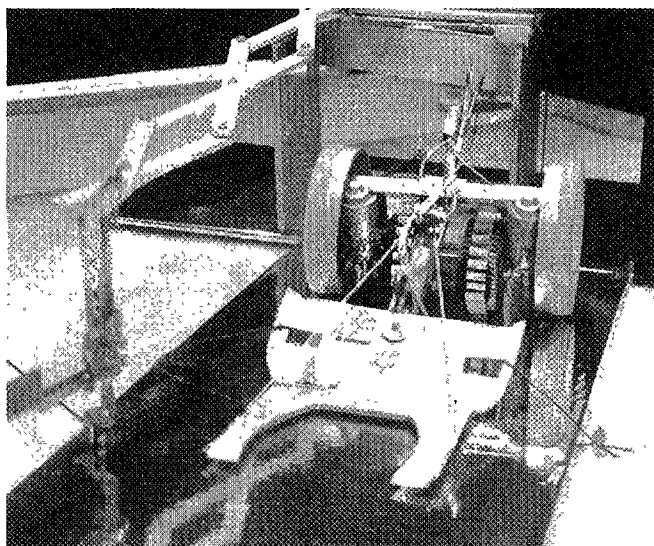
De design competition is het sluitstuk van de MIT Course 2.70, een verplicht vak voor werktuigbouwkundestudenten. Studenten doen individueel aan de wedstrijd mee maar mogen samenwerken. Daar zouden ze ook profijt van kunnen trekken, maar in de praktijk blijken de studenten zonder uitzondering alleen te werken. De winnaars van deze wedstrijd mogen deelnemen aan

de wereldfinale, samen met studenten uit Japan, Korea, Groot Brittannië, Duitsland en Brazilië. Bij deze finales wordt in multinationale teams gestreden, hetgeen een extra dimensie aan de wedstrijd toevoegt.

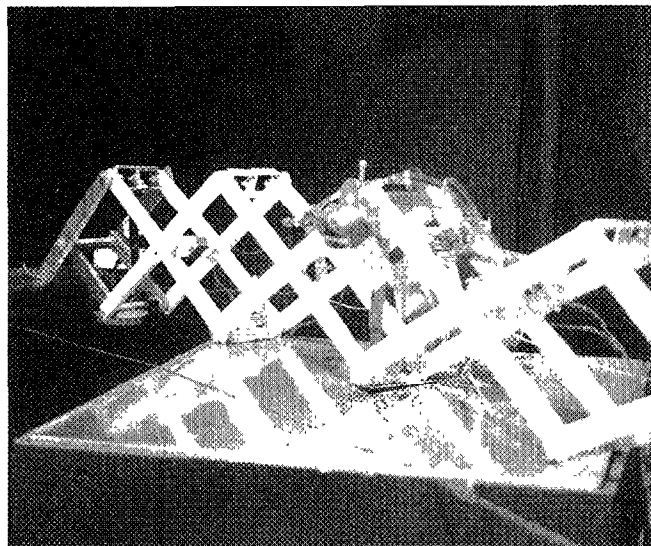
Het doel van de wedstrijd is inzicht te krijgen in de mogelijke bewerkingen, materiaaleigenschappen en verbindingstechnieken en niet in de laatste plaats bezig te zijn met een creatief ontwerpproces. Natuurlijk ligt in dit ontwerpproces besloten, dat gezocht moet worden naar een differentieel voordeel ten opzichte van de tegenstanders, binnen de beschikbaar gestelde materialen in de toolkit.

In 1994 was het thema het wereldkampioenschap voetbal, waardoor de naam van de wedstrijd "RoboSoccer" werd. De opdracht was dan ook het ontwerpen van een robot die met een voetbal overweg kon.

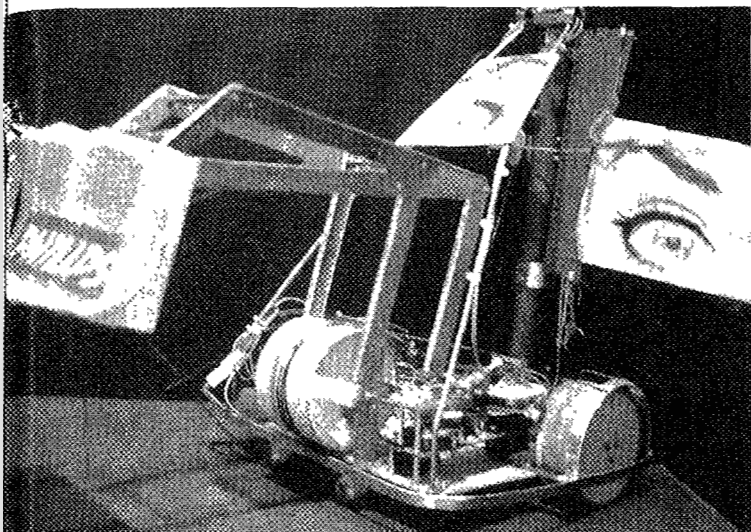
Net als bij voetbal was ook hier sprake van twee partijen die elk op hun eigen helft begonnen. De voetbal lag voor het startschot op de middenstip. De beide



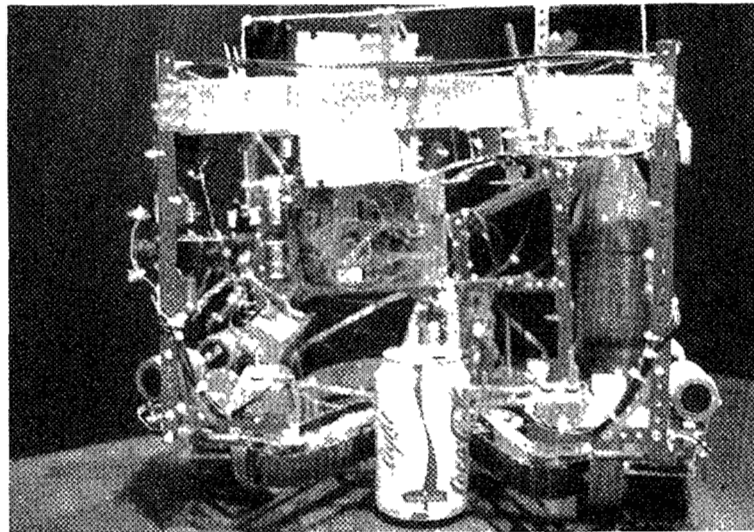
Figuur 1a De aan de linkerkant zichtbare "lazy-tong" kan de bal via de boarding in het doel schoppen. Het karretje kan bij onvolledig succes zelfstandig "voetballen". Door de de binnenste twee of de buitenste twee wielen op de grond te zetten kan de snelheid en duwkracht veranderd worden. (Foto: Monique Gofers)



Figuur 1b Dit hek, hier uitgeklaapt tot 150 cm breedte, rijdt over de boarding. De wielen (linksachter is één paar te zien) zetten zich tegen elkaar af en zorgen zo voor een grotere normaalkracht op de wielen (en daarmee een grotere duwkracht) dan bij het karretje. (Foto: Monique Gofers)



Figuur 2a Deze shovel kan zeer nauwkeurig flessen en blikken oppakken en deze zelfs vanaf het laagste niveau van het parcours in bakken deponeren. Dit spaart rijtijd, maar de overige functies werken relatief traag (Foto Monique Gofers)



Figuur 2b Deze machine kan intern blikken en flessen scheiden. Rechtsachter is reeds een fles zichtbaar, het blikje zal zo dadelijk naar links verdwijnen. Helaas liet de bestuurbaarheid te wensen over (Foto Monique Gofers)

robots stonden opgesteld tussen doel en bal. Na het startschot was het zaak de bal zo te manoeuvreren, dat deze bij het stopsignaal ofwel in het doel van de tegenstander lag, danwel op diens helft.

Het apparaat mocht niet groter zijn dan 30x30x30 cm, althans: voor het startschot. Na het startschot mocht van alles uitgeklapt, weggeschoten, verlengd en verreden worden. Het totaalgewicht mocht niet meer dan vier kilogram bedragen.

Voor voortbeweging en krachtopbouw kon gebruik gemaakt worden van zowel elektriciteit als luchtdruk. De robot werd hiervan voorzien via een "umbilical", ofwel navelstreng. Deze streng hing vanaf het plafond naar beneden, en was loskoppelbaar. De beschikbare materialen in de toolkit bestonden uit bijna uitsluitend gewone mechanische onderdelen zoals vijf motoren, twee pneumatische cilinders, veren, kartonnen platen en kokers, hout, aluminiumplaat en assen en ABS-materiaal. Hiernaast zaten er wat ongewone onderdelen in zoals een klein stukje spiegel en een blauw kunststof robohoofd. Bijna alle onderdelen uit de toolkit waren afkomstig van sponsors (ongeveer 30 in totaal), waaronder Ford Motor Company, Polaroid Corp. en 3M.

Het speelveld was een rechthoek van 3 x 1,5 m met rondom een rand van 10

cm hoog. Er mocht geen schade worden toegebracht aan de wedstrijdtafel, bijvoorbeeld ook niet door smeermiddelen achter te laten.

Doordat de opdracht niet erg goed doordacht was, was er weinig variatie tussen de ontwerpen. Bijna iedereen bouwde een eenvoudig duwkarretje, hetgeen saaiere wedstrijden tot gevolg had. Twee uitzonderingen (toevalligerwijze van Nederlandse deelnemers) worden getoond in de figuren 1a en 1b.

International Design Competition Inventech

Deze technische ontwerpwedstrijd werd in 1993 voor het eerst in Nederland gehouden, met 48 deelnemers verdeeld over twaalf teams. Dit is dus een verschil met de individualistische aanpak van het MIT. De wedstrijd werd mogelijk gemaakt door Philips Nederland en is dus een particulier initiatief. Zodoende is niet elke student in de gelegenheid deel te nemen.

De probleemstelling van Inventech '93 (toen nog Kreatech geheten) was overgenomen van de MIT Course 2.70 van 1991. De opdracht bestond uit het ontwerpen van een op afstand bestuurbare robot die op een parcours met twee niveaus zoveel mogelijk blikjes en PET-flessen kon verzamelen en gescheiden in afvalbakken deponeren.

De toolkit was anders samengesteld dan aan het MIT, omdat meer nadruk was gelegd op elektronica. Onder andere bevatte de toolkit een afstandsbediening met twee kanalen, meccano, twee krachtige elektromotoren en vijf zwakere, en plaatmateriaal. Elektrische componenten konden met enige beperkingen naar wens gebruikt worden. De onderdelen uit de toolkit mochten met behulp van machines en gereedschappen aanwezig op de verschillende dependances van Philips worden bewerkt. Hierbij kon worden gedraaid, gefreesd, geboord, gezandstraald, etc.

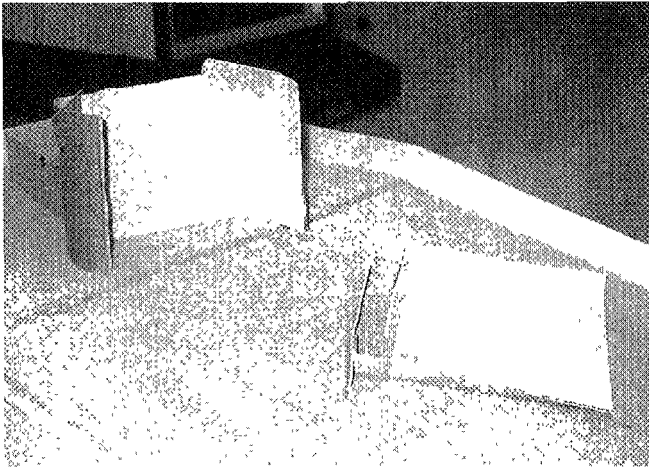
Na een week werken bleken alle twaalf robots te functioneren, zij het niet altijd tot volle tevredenheid van de ontwerpers. Opvallend was de grote diversiteit van de robots, zoals blijkt uit de figuren 2a en 2b. Sommige ontwerpen waren de eenvoud zelf, andere hadden zeer ingenieus en precies werkende functies zoals een shovel of een robot die intern de blikken van de flessen wist te scheiden. Een team heeft het gehele ontwerpproces opgetekend, hetgeen in het navolgende is weergegeven.

Het ontwerpproces

Brainstormen

Omdat alle leden van het team goed bekend waren met de principes van het brainstormen verliep deze fase van het ontwerp soepel. Zeer vele oplossingen

Ontwerpwedstrijden in het ingenieursonderwijs



Figuur 3a Twee "prototypes" om de vorm van de laadbak (links) en de voorwielophanging gebogen uit één plaat (rechts) uit te proberen (Foto Monique Gofers)

voor nog meer problemen werden geopend, slechts onderbroken door de organisatie die de teams enkele malen bijeen riep om wijzigingen in het reglement door te geven. De teams bleken namelijk zonder uitzondering te kiezen voor oplossingen die de tegenstander het scoren onmogelijk zouden maken, in plaats van oplossingen waarbij men zelf tot scoren zou kunnen komen. Deze aanpassingen van het reglement waren de Kreatech-variant van de ontwikkelingen in de markt en de veranderende wetgeving die men in het echte leven tegenkomt.

Voorwaarden

Zonder veel discussie werden door het team de voorwaarden voor een goed ontwerp vastgelegd. Het ontwerp diende snel, simpel en stevig te zijn.

Snel:

De wedstrijden duren slechts drie minuten. Daarin moet men, gehinderd door de tegenstander, een bepaalde taak volbrengen. Om dit te halen en de hinderende acties van de tegenstander te kunnen ontwijken moet de robot snel zijn.

Simpel:

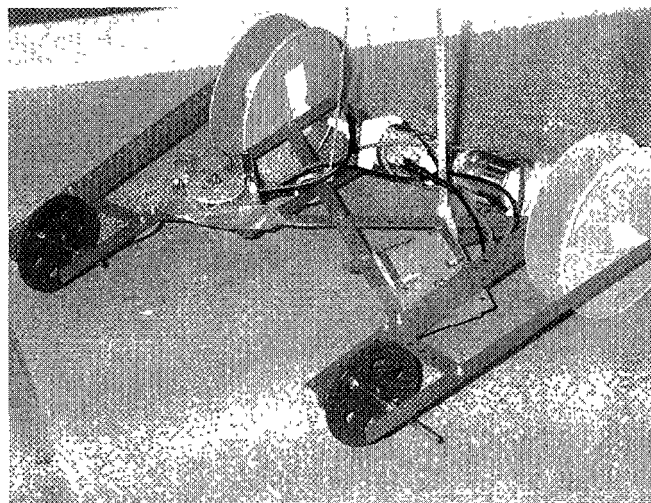
Wat er niet is kan niet kapot. Bovendien is het niet zo moeilijk om moeilijke functies te ontwerpen, maar wel om ze feilloos werkend te krijgen. Er waren zelfs teams die probeerden EPROM's te programmeren, iets wat niemand feilloos gelukt is. Een week is zo voorbij. Tenslotte was het vertrouwen in eigen kunnen niet zo groot dat moeilijke oplossingen haalbaar leken.

Stevig:

Vanwege het contact dat tijdens wedstrijden op kan treden dient de robot stevig te zijn. Ook dienen eventuele functies robuust te worden uitgevoerd. Een kleine verandering in de instelling mag geen grote gevolgen voor het resultaat van de functie hebben. De stevigheid is ook vereist omdat er een aantal wedstrijden kort na elkaar moet worden gereden, zonder een reële mogelijkheid tot reparatie.

Toetsing aan voorwaarden

In beginsel probeerde het team een oplossing te bedenken die onder alle omstandigheden en tegen alle mogelijke tegenstanders aan het langste eind zou trekken. Alras bleek dit een onmogelijke opgave. Elke functie die een bepaald soort tegenstander met succes zou kunnen bestrijden zou het juist moeten afleggen tegen een ander soort tegenstander.



Figuur 3b Prototype om het principe van de besturing uit te testen. Hierbij bleek dat de standaard potentiometers niet voldeden voor een precieze besturing (Foto Monique Gofers)

Verschillende blik-fles scheidingsmechanismen werden voorgesteld en verworpen, statische oplossingen met rondzwaaiende armen bleken evenmin de juiste oplossing. Uiteindelijk stelde iemand voor een robot te bouwen zonder speciale functies, die blikken en flessen in de bakken zou kunnen duwen. In plaats van ons te concentreren op moeilijke functies zou kunnen worden gewerkt aan een goede bestuurbaarheid van de robot, een in het heetst van de strijd onmisbare eigenschap. Het ontwerp voldeed per definitie aan de voorwaarden, en werd daarom in principe aanvaard als te bouwen oplossing.

Controle op toetsing

Om er zeker van te zijn dat de goede keuze was gemaakt, werden de voor- en nadelen van het ontwerp op een rijtje gezet:

Voordelen:

- Volledig mens-bestuurd, anticiperen op tegenstander is mogelijk, niet afhankelijk van één tactiek.
- Geen extra functies, dus een snelle en kleine robot.
- Eenvoudig ontwerp, dus grote kans dat het binnen een week werkt.

Nadelen:

- Volledig mens-bestuurd, dus als de mens niet optimaal functioneert (zeenuwen), faalt het systeem.
- Kleine robot, weinig verzamelcapaciteit, dus vaak heen en weer rijden tussen objecten en verzamelbakken

De voordelen wogen ons inziens ruimschoots op tegen de nadelen, zodat het concept definitief aangenomen werd. De presentatie aan het panel - bedoeld om de haalbaarheid en het realiteitsgehalte van het ontwerp te toetsen - verliep voorspoedig. Terwijl bij andere teams, zo hoorden wij later, door het panel situaties werden bedacht waarbij het ontwerp zou falen, lukte dit bij ons ontwerp niet. Onze schaamte over de te eenvoudige oplossing sloeg dan ook al snel om in triomf, ondanks de ongelukkige blikken van verschillende organisatoren, die de hoeveelheid elektronica in het ontwerp tot een minimum beperkt zagen.

Het uiteindelijke ontwerp, zie de figuren 3a-d, bestond uit een aluminium bakje, waarin en waaraan de volgende onderdelen waren gemonteerd:

- *Voorwielen*

De wielen zijn speciaal gefabriceerd, er is geen gebruik gemaakt van de standaard beschikbare wielen. Hierdoor konden wielen met een grotere diameter worden gemaakt, zodat zonder het gebruik van een tandwieloverbrenging toch een hoge snelheid zou kunnen worden behaald. De diameter is zo bepaald dat de beschikbare rupsband zonder aanpassingen om het wiel past. Hierdoor is een goede bevestiging mogelijk en bestaat de "band" uit één stuk. Dit verkleint de kans op defecten.

- *Voorwielophangpunten*

Ook aan de buitenkant van de wielen is een wielophangpunt gemonteerd, zodat beide wielen tweezijdig zijn opgehangen. Dit is steviger dan een eenzijdige

ophanging, en voorkomt dat de tegenstander de robot letterlijk in de wielen kan rijden.

- *Achtersteunpunt*

Aan de achterzijde waren eerst twee wielen gepland, maar dit ontwerp bleek niet op enige logica gebaseerd te zijn. Er was namelijk geen goede reden om de robot in de vorm van een klein autootje te bouwen. Volstaan werd met een sleepplaatje, dat de achterkant van de carrosserie van de grond hield. Door de (onterechte) gedachte van een aantal teamleden dat dit teveel wrijving veroorzaakte, is dit plaatje later nog vervangen door één heel klein wieltje. Uiteindelijk bleek dit wieltje niet te rollen maar over de baan te slepen.

- *Elektromotoren*

Deze gelijkstroommotoren werden direct op de wielen gemonteerd, één motor per wiel. Door de directe koppeling was wederom de kans op falen geminimaliseerd.

- *Stuursignaalontvanger*

Deze is bovenop de robot gemonteerd om een ongestoorde ontvangst te bevorderen. Het gehele hierna genoemde stuursysteem was gesplitst in een linker en een rechter tak. Elke tak zorgde dus afzonderlijk voor de aansturing van één wiel (De helft van) de som van de twee stuursignalen vormt aldus de voorwaartse snelheid, het verschil de hoeksnelheid van de robot. Door bij de afstandsbediening een joy-stick een kwartslag te draaien correspondeerden de bewegingen van de bestuurder precies met deze aansturing.

- *Servo's*

De servo's werden aangestuurd door de stuursignaalontvanger.

- *Potentiometers*

De gebruikte potentiometers waren niet de in de toolkit geleverde potentiometers. Deze waren slecht en hadden slechts een "aan-" en een "uit"-stand. Voor een goede besturing waren meer accurate potentiometers vereist.

- *Tandwieloverbrengingen*

Aangezien de servo's een bereik van 90 graden en de potentiometers een bereik van 270 graden hadden moest hier een tandwielkast tussen worden gemonteerd. Met de beschikbare tandwielkasten was geen overbrenging van circa 3 te realiseren. Om deze reden zijn met de hand tandwielkasten uit hout gefabriceerd. Ander materiaal was niet meer voorhanden.

Noot: De serie stuursignaalontvanger-servo-tandwieloverbrenging-potentiometer, ofwel een elektrisch-mechanisch-elektrisch-omzetting, had op zich vermeden kunnen worden door de elektrische uitgang van de stuursignaalontvanger meteen naar de pulsmodulator te sturen. Door gebrekkige documentatie omtrent de precieze werking en het precieze uitgangssignaal van de ontvanger is dit achterwege gelaten.

- *Accu*

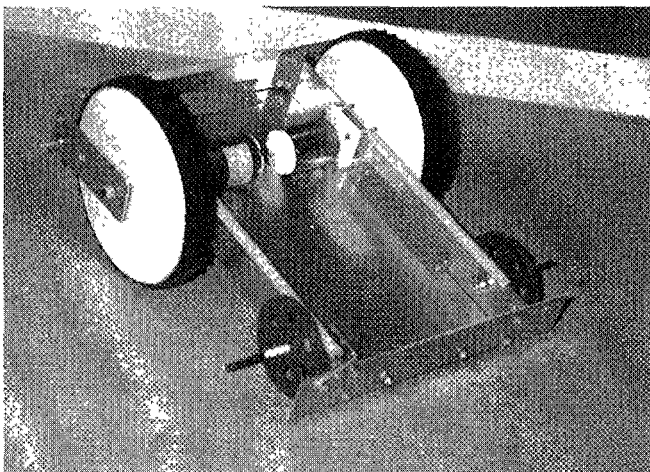
De accu was bovenop gemonteerd zodat deze zonder veel problemen te demonteren was voor vervanging door een opgeladen exemplaar.

- *Pulsmodulator van 2000 Hz*

De pulsmodulator, beter gezegd een pulsbreedtemodulator, gaf met een frequentie van 2000 Hz pulsen af aan de elektromotoren. Afhankelijk van het signaal van de potentiometer waren die pulsen korter of langer. Dit resulteerde in een lagere of hogere snelheid. De snelheden van de twee afzonderlijke wielen, en daarmee de snelheid en de richting van de robot, waren zodoende zeer goed te controleren.

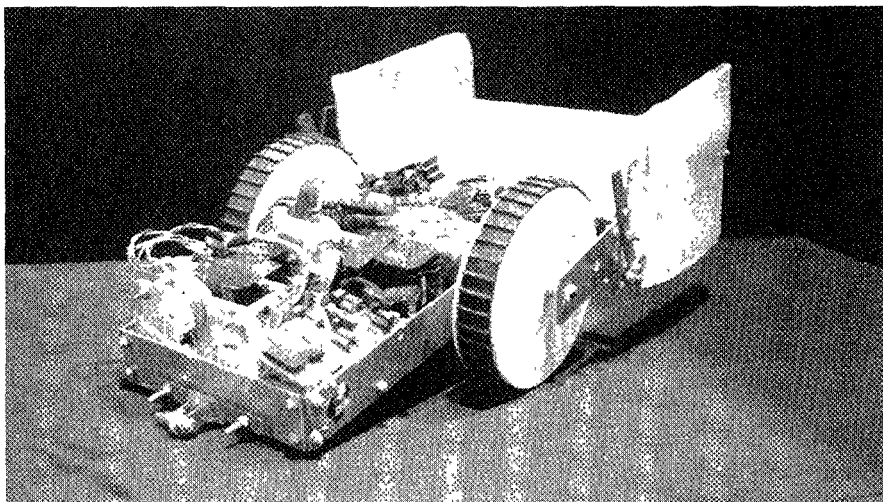
- *Laadbak*

De laadbak was een U-vormig karton dat ervoor zorgde dat de robot de voortgeduwde blokken en flessen niet zij-



Figuur 3c. Het uiteindelijke chassis, dat niet uit één plaat gebogen is, maar uit losse platen verbonden met boutjes. De twee kleine achterwielen zijn later verwijderd (Foto: Monique Gofers)

Ontwerpwedstrijden in het ingenieursonderwijs



Figuur 3d De uiteindelijke robot, met het minuscule achterwielje. Linksachter de twee houten tandwielkasten, rechtsachter de pulsmodulator, tussen de wielen de elektromotoren met daarbovenop de accu en vooraan de laadbak (Foto: Monique Gofers)

waarts kon verliezen. De vorm was aan de onderkant zo gemaakt dat de laadbak op de hellingen niet aan de grond kon komen maar wel onder de rand bleef die rondom het parcours was aangebracht. Zo kon men langs de rand "schrappen" en eenvoudiger voorwerpen meeslepen.

Verloop van de bouw

De bouw verliep relatief goed, waarbij eerst een aantal prototypes is gebouwd. Hierdoor was reeds in een vroeg stadium bekend dat de gekozen oplossing realiseerbaar was. Het fabriceren van onderdelen kostte vaak meer tijd dan van tevoren ingeschat was. Doordat het team bestond uit drie werktuigbouwers en één elektrotechnicus trad het vervelende probleem op dat de elektrotechnicus weinig zinnige feed-back van zijn teamgenoten kon ontvangen. Hierdoor verliep de realisatie van het elektronische deel moeizaam. Dit probleem werd achteraf door iedereen als het grootste ervaren.

Ondanks de lange werkdagen bleek het niet mogelijk de planning aan te houden. Mede daardoor was de robot pas om één uur 's nachts, de avond voor de wedstrijd, rijklaar. De robot functioneerde prima, alleen bleek de topsnelheid te hoog te liggen voor een prettige controle. De elektrotechnicus stelde voor "de potmeters iets terug te draaien", maar de meerderheid zag meer in een mechanische oplossing. Vandaar

dat met elastieken de uitslag van de joystick werd beperkt.

Het enige dat nog restte was de naamgeving. Besloten wordt de robot "Karel" te dopen, naar Karel Appel. Wij hadden namelijk het gevoel dat veel mensen bij het zien van onze robot zouden denken: "Dat kan mijn zoontje van drie ook". Deze, ons inziens onterechte, reactie zou onze robot dan delen met de schilderijen van Karel Appel.

In de afsluitende wedstrijden bleken perfect werkende eenvoudige machines het vaak te winnen van ingewikkelde maar niet volledig uitgekristalliseerde concepten. De in het bovenstaande beschreven robot eindigde op de derde plaats en veroverde de jury-prijs vanwege het goed toepassen van ontwerp-wet nummer één: "Keep it simple, but not too simple".

Afsluiting

De hoge kosten van praktische ontwerp opdrachten hebben ervoor gezorgd dat de TU-student tegenwoordig vooral achter de computer en het boek te vinden is (met uitzondering van studenten Industrieel Ontwerpen). Het is jammer dat op die manier de terugkoppeling met de praktijk volledig verloren gaat. Want al lijkt het ontwerp nog zo eenvoudig, de kloof tussen ontwerp en werkend apparaat blijkt vaak moeilijk te overbruggen. Het argument dat een

ingenieur later ook niets hoeft te bouwen snijdt geen hout, hij/zij zal namelijk wel een goed begrip en gevoel moeten hebben van de (on-)mogelijkheden van produktietechnieken en constructies om goed te kunnen functioneren. Bovendien vormt rapid prototyping tegenwoordig vaak een onderdeel van de ingenieurspraktijk.

Een ander belangrijk aspect van een ontwerpwedstrijd is het leren werken in een team. Voor het bundelen van de individuele kennis moet de ingenieur onder druk kunnen communiceren met de overige teamleden. Men moet overleggen, elkaar corrigeren en overtuigen en in snel tempo besluiten nemen zonder de persoonlijke verstandhouding te verslechteren.

Om een student klaar te stomen voor de praktijk is oefening in bovenstaande aspecten onontbeerlijk. Daarvoor is de Inventech wedstrijd van Philips een goede mogelijkheid, ware het niet dat met iedere student aan deze wedstrijd mee kan doen. Philips voert daarom overleg met de drie TU's om ontwerpwedstrijden te introduceren op deze universiteiten die als voorrondes dienen voor Inventech. Delft en Twente hebben reeds dergelijke wedstrijden georganiseerd. In het ideale geval zullen deze voorrondes, in analogie met de wedstrijd aan het MIT, worden opgenomen in de curricula van de universiteiten, zodat alle studenten hieraan kunnen deelnemen. De winnaars kunnen vervolgens hun kwaliteiten etaleren bij Inventech, de landelijke finale.

De komende jaren zal blijken of de Nederlandse universiteiten, door middel van bijvoorbeeld de hierboven beschreven ontwerpwedstrijden, meer nadruk op de praktijkvaardigheden van hun studenten zullen leggen. Het zou een goede zaak zijn, zowel voor deze studenten als voor hun toekomstige werkgevers.

Auteursnoot

Gérard Vroomen is onlangs afgestudeerd aan de faculteit Werktuigbouwkunde van de TU Eindhoven, en heeft als student deelgenomen aan Kretech 1993 en de MIT Design Competition 1994. Momenteel werkt hij aan de oprichting van Cervélo, een Canadees-Nederlands bedrijf dat fietsen ontwerpt en construeert en professionele wielrenners adviseert op technisch gebied.