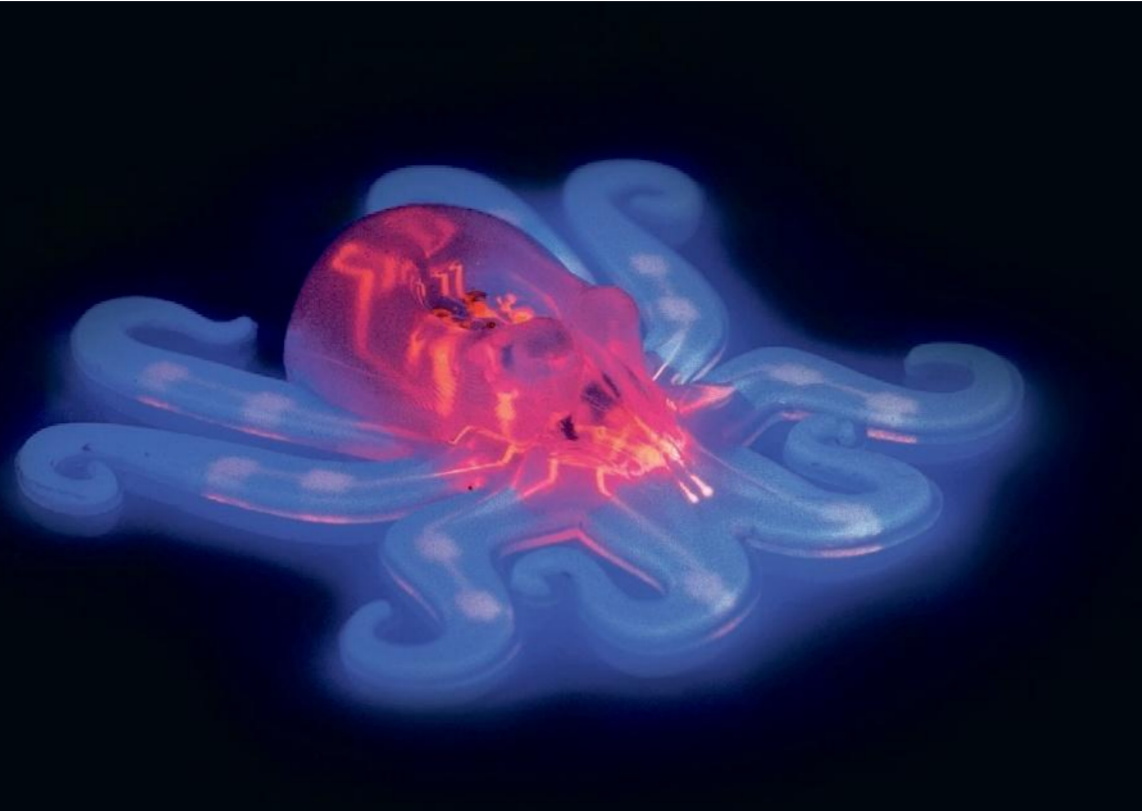


OCTOBOT

Een en al zacht materiaal

De vorige week gepresenteerde octobot is de eerste robot die compleet van zachte materialen is gemaakt, inclusief de interne aandrijving voor de acht armen. Lijf en armen bestaan uit een gegoten mengsel van siliconenrubbers. Hierin is een netwerk van reservoirs en kanalen gelaserd. In de achterste reservoirs zit vloeibaar waterstofperoxide dat in een chemische reactie wordt omgezet in water en zuurstof, die gereguleerd naar de armen stromen. Zuurstof is als gas aanwezig, en verhoogt de druk in de armen, waardoor die in beweging komen. Dat gaat nog wat onbeholpen: octobot tilt vier armen tegelijk op, eventjes, en daarna de andere vier armen. En dat zolang de energievoorraad strekt: tot zo'n 8 minuten. Octobot is gemaakt aan Harvard University.



Door Marcel aan de Brugh

Op tafel liggen allerlei vouwwerken van plastic en papier. En een halfcirkelvormig rubberen slangetje, ongeveer 15 centimeter lang. „Dit is mijn speelgoed”, zegt Bas Overvelde. Hij is met een eigen groep gestart bij onderzoeksinstituut Amolf in Amsterdam, na drieën-half jaar promotieonderzoek aan Harvard.

Overvelde werkt aan zachte robots. Dat zijn robots die deels, of geheel, uit zachte, vervormbare materialen bestaan. Ze moeten de huidige, volledig metalen en onhandige robots veiliger en beweeglijker maken.

En er verschijnen er steeds meer van. Alleen al dit jaar. Eerst was er de flexibele kakkerlak-robot (PNAS, online 8 februari), een paar maanden later de zwemmen-de-rog-robot (*Science*, 8 juli). En vorige week verscheen de octopus-robot, de eerste robot die compleet uit zachte materialen bestaat, inclusief de aandrijving van zijn acht armen (*Nature*, 24 augustus).

De ontwikkelingen gaan de laatste vijf jaar erg snel, zegt Overvelde. Dat komt doordat het maken van prototypes zoveel eenvoudiger is geworden. Dat beaamt Robert Wood, hoogleraar Microrobotica aan Harvard University, die de vorige week gepubliceerde studie over de octopus-robot coördineerde. „3D-printen, lasersnijden, kunststof gieten. Het is allemaal zoveel verbeterd”, schrijft hij in een e-mail.

Wood en Overvelde verwachten veel van zachte robots. Zeker omdat de ontwikkeling van robots in een stadium is

Octopus als robot

Technologie

Kakkerlak-robot, robo-rog en octo-bot – onderzoekers bouwen steeds meer robots die uit vervormbare materialen bestaan. Zachte robots moeten de metalen en onhandige robots veiliger en beweeglijker maken. De inspiratie komt veelal van waterdieren.

beland waarbij ze zich meer tussen mensen gaan begeven. In bejaardenhuizen, operatiekamers, pretparken. „Als je zacht bent is de kans kleiner dat je mensen beschadigt”, schrijft Wood.

Maar er is meer dan alleen veiligheid, zegt Cecilia Laschi, hoogleraar Biorobotica aan de Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa. „De belangrijkste eigenschap die zachte robots wel hebben, en gangbare robots nog missen, is *compliance*.” Het betekent zoiets als aanpasbaarheid. Denk aan een robot die na een aardbeving tussen het puin door naar overlevenden zoekt, zijn lichaam daarbij continue vervormend. Dat is voor een metalen, stijve robot onmogelijk.

Klassieke robot moet stijf zijn

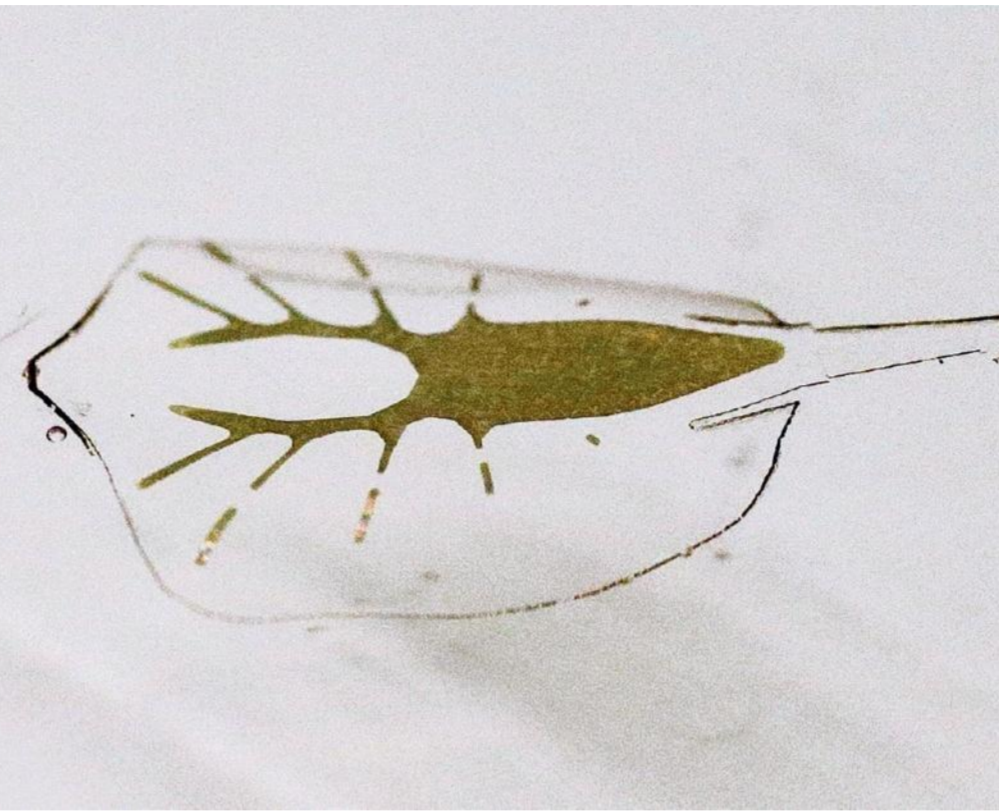
Laschi noemt een ander voorbeeld: de knie. Als een mens over ruw terrein loopt, passen spieren en pezen rond het kniegewricht zich voortdurend aan, door te verstijven en te verslappen. De huidige robots missen dat vermogen om zich aan een steeds variërende omgeving te kunnen aanpassen. „Sterker nog”, zegt Laschi, „het wordt in de programmatuur juist bestreden.” Want die robots moeten heel nauwkeurig werken. Bijvoorbeeld bij het assembleren van een auto. „Ze mogen zich niet laten beïnvloeden door de buitenwereld”, zegt Laschi, die een Europees onderzoeksprogramma voor zachte robots coördineert.

Wat opvalt aan de bestaande zachte robots is dat er veel zijn gebaseerd op in het water levende dieren: octopus, vis, kwal, rog. Dat is geen toeval, zegt Laschi. Dieren die in het water leven hebben verhoudingsgewijs veel zachte delen. Dat is mo-

ROBO-ROG

Goud en rattencellen

Deze robot is bijna 2 centimeter lang en beweegt als een rog. Hij bestaat uit vier lagen: een frame van goud, met aan de boven- en onderkant een laag helder silicone, en helemaal onderaan een laag ratten-hartspiercellen. In die spiercellen is een extra gen gebracht dat ze lichtgevoelig maakt. Als vóór de rog met een lichtje wordt geknipperd, reageren eerst de voorste spiercellen door zich samen te trekken. Die prikkel zet zich voort naar belendende spiercellen, en zo verder naar de zijkant en de achterkant. De samentrekkende spiercellen laten de siliconen vinnen een golfbeweging maken. De rog zwemt in een oplossing met glucose, de energiebron voor de spiercellen. Hij is gemaakt door Amerikaanse en Koreaanse onderzoekers.



gelijk omdat de werking van de zwaartekracht er deels wordt opgeheven door de grotere dichtheid van het water. „Je hebt niet per se een hard skelet nodig om het inzakken van het lichaam te voorkomen.” Het maakt waterdieren interessant studiemateriaal.

Voor haar eigen onderzoek vroeg Laschi aan haar vader, een amateurvisser, om levende octopussen aan te leveren. Ze houdt ze in haar lab, en heeft hun fijne motoriek en anatomie uitvoerig bestudeerd. Elke arm zit vol met groepen spieren in allerlei richtingen, zegt ze. En in el-

Onderzoeker Laschi kreeg van haar vader, een amateurvisser, levende octopussen

ke arm zitten 50 miljoen zenuwcellen. „Je hoeft dat niet tot in detail na te bootsen”, zegt Laschi. „Als je het concept van de vervormingen maar begrijpt. Dat doen we inmiddels.”

Behalve een octopus-robot heeft ze met collega's ook een octopus-arm nabouwd. Die wordt getest in medische toepassingen. Bijvoorbeeld om endoscopen vloeïende bochten te laten maken tijdens operaties.

Maar hoe laat je nou een materiaal, bijvoorbeeld een stuk rubber, gecontroleerd bewegen? In zijn werkkamer pakt Overvelde het slangetje dat op tafel ligt en wiebelt het heen en weer. Hij vertelt dat het van verschillende soorten siliconen-

rubber is gemaakt. De vlakke onderkant is stijver dan de ronde bovenkant. Door de slang zitten kanaaltjes. Blaas je daar lucht door, dan zet je het rubber onder druk. Omdat de bovenkant slapper is dan de onderkant, buigt de ene kant meer dan de andere. Kortom, het slangetje kromt. Overvelde: „Voilà, je hebt beweging.”

Dit is het pneumatische principe: beweging door luchtdruk. Zo werken ook een paar van de vouwwerken die bij hem op tafel liggen. Eentje is er opgebouwd uit aan elkaar geplakte, open kubussen van transparant plastic. In de ribben zijn her en der opblaasbare luchtkamertjes aangebracht. Gaat er lucht doorheen, dan verandert de constructie van vorm. Totdat hij zelfs helemaal plat ligt. „Denk aan een dak dat van vorm verandert als het gaat regenen”, zegt Overvelde.

Naast het gebruik van luchtdruk zijn er op het moment nog twee andere methodes populair, zo schreef de Italiaanse Laschi in een overzichtsartikel (*Trends in Biotechnology*, mei 2013). Er wordt gewerkt aan materialen die vervormen door een spanningsverschil. Dit speelt een belangrijke rol in de zoektocht naar kunstmatige spieren. Daarnaast zijn er de geheugenmetalen die afhankelijk van de temperatuur van vorm veranderen. Het metaal zit dan bijvoorbeeld als een dunne spiraal in een zachte kunststof gegoten. Op basis van dit principe heeft Laschi die octopus-arm gebouwd.

„Alledrie de principes hebben voor- en nadelen”, zegt Laschi. Bij geheugenmetalen moet je alert zijn op oververhitting. Bij door een spanningsverschil vervormbare materialen is het ontwerp complex. Overvelde benadrukt dat het onder-

zoek naar zachte robots nog in de beginfase zit. Je ziet het op filmpjes van bijvoorbeeld de octo-bot of de robo-rog. Ze bewegen nog vrij onbeholpen. „Het onderzoek is speels, exploratief. We proberen en combineren van alles.”

Volgens Robert Wood liggen de grootste barrières bij het vinden van goede bewegende onderdelen, die de werking van spieren benaderen. Ook de energievoorziening is nog een probleem. Luchtdruk of hitte worden nu vaak van buitenaf aangevoerd, via slangen of kabels. Dat beperkt de bewegingsvrijheid. De octo-bot die hij mee heeft helpen ontwikkelen, is in die zin alweer een stap verder. Die had een ingebouwde aandrijving, die luchtdruk levert. Maar ook dit was nog beperkt. Na maximaal 8 minuten is de energievoorraad op. Bovendien reageert de robot nog niet op zijn omgeving. Hij mist sensoren. „Dit is onderwerp van toekomstig onderzoek.”

Liefst niet alle kanten op

Overvelde wil die functies allemaal combineren in liefst één materiaal. Dat bijvoorbeeld een verandering van druk of temperatuur in de omgeving aanvoelt, en daar dan automatisch op reageert door te vervormen. Maar wel gecontroleerd. Want dat is een ander probleem van zachte robots. Ze bewegen wel soepel, maar ze moeten ook weer niet alle kanten op willen. Dat dreigt de besturing, via bijvoorbeeld software, ingewikkelder te maken.

Laschi denkt ook al vooruit. „We willen gaan werken aan robots die schade bij zichzelf kunnen repareren, die zichzelf uit onderdelen kunnen opbouwen, of die van gedaante kunnen wisselen.”

KWALROBOT

Zwemt als echte oorkwal in badje met elektrische spanning

Deze kwalrobot bestaat uit niet meer dan een dun laagje transparante silicone (PDMS) met daarop ratte-hartspiercellen. Hij is gebaseerd op het jonge, vrijzwemmende stadium van een oorkwal. Zo is de spierangschikking vergelijk-

baar: centraal een ring van spieren, die uitlopen in acht lobben. Wel is bij de robot de vorm van die lobben, op basis van computersimulaties, iets aangepast. Werd de kwalrobot in een badje gezet met een elektrisch spanningsverschil,

dan trokken de spiercellen zich ritmisch samen, en zwom hij als een echte oorkwal. Na ongeveer een uur vertraagde hij, omdat zijn weefsel beschadigd raakte. De kwalrobot is 1 centimeter groot en hij is gemaakt aan Caltech in Pasadena.

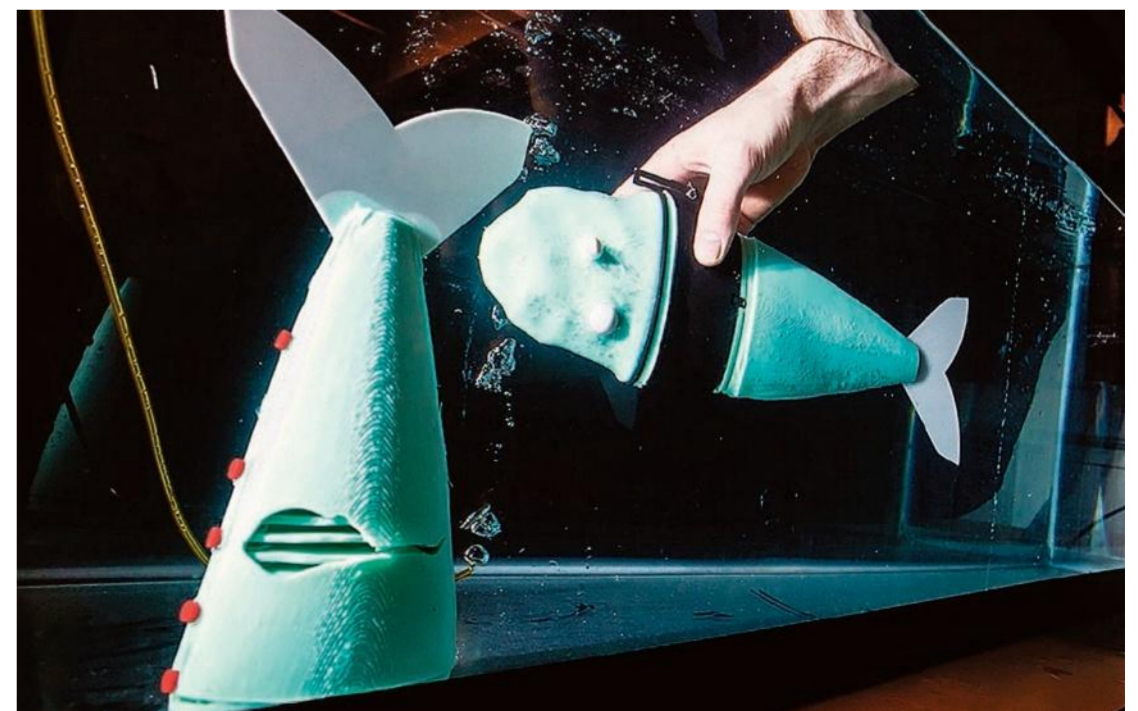
**ROBOTVIS**

Zwemt soepel dankzij staart met laagjes siliconenrubber

De robotvis zwemt soepel, hij kan duiken en zich in een fractie van een seconde uit de voeten maken. Die beweeglijkheid dankt hij aan zijn staart, die is opgebouwd uit verschillende lagen siliconenrubber met verschillende stijfheden. Door

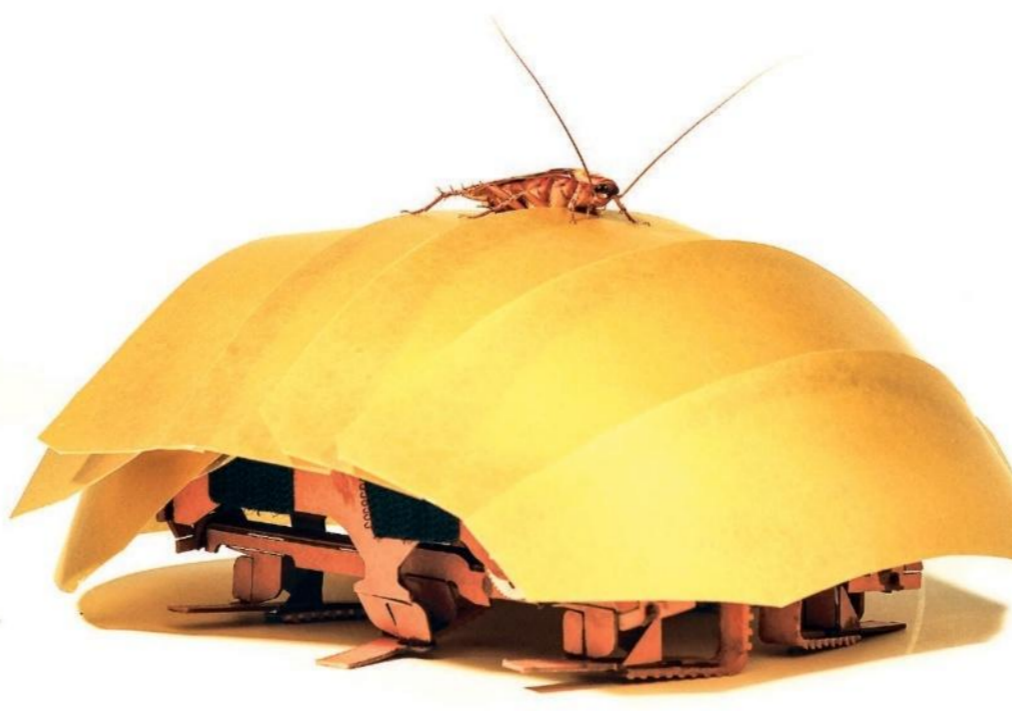
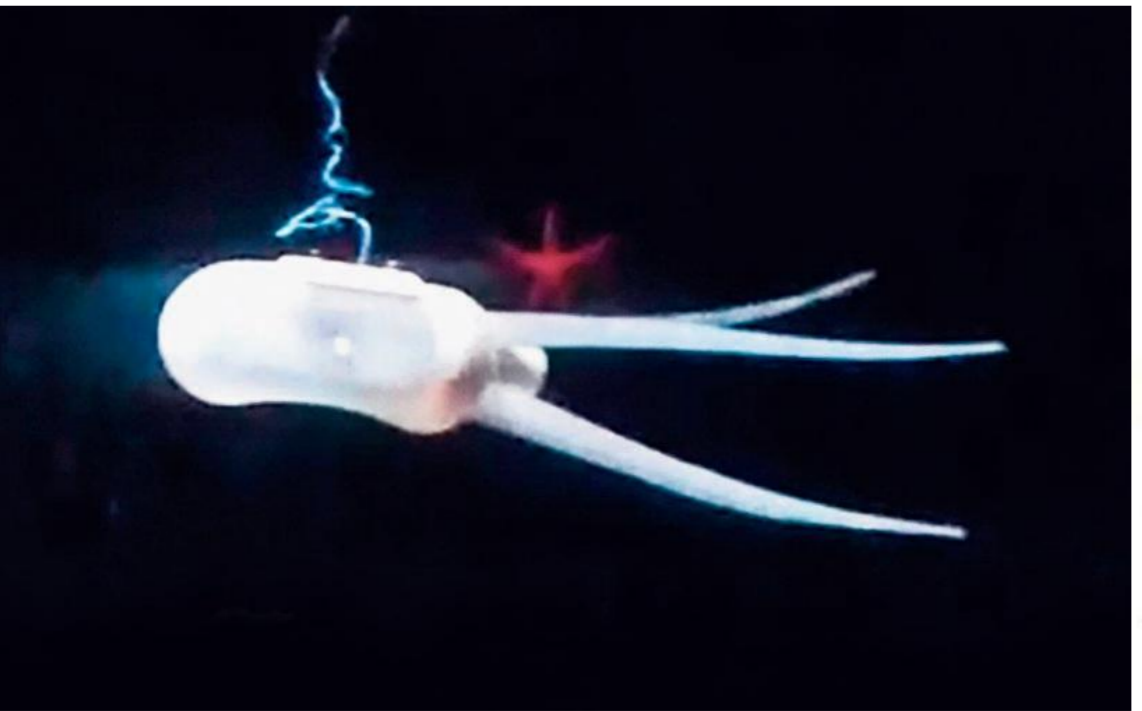
de staart lopen kanaaltjes. Als daar een gas (in dit geval koolstofdioxide, CO₂) doorheen stroomt zet het de siliconenrubbers zo onder druk dat ze de staart een zwemslag laten maken. De CO₂ is als vloeistof opgeslagen in een klein reservoir in de

kop van de vis, en voldoet voor 20 tot 30 vluchtmanoeuvres. In de kop zit ook de hardware voor de draadloze besturing. De circa 34 centimeter lange robotvis is gemaakt in het lab van Daniela Rus, hoogleraar Elektrotechniek aan MIT.

**OCTOPUS-ROBOTS**

Klaar voor expositie

Op het lab van Cecilia Laschi, aan de Scuola Superiore Sant'Anna in Pisa, zijn diverse octopusrobots gebouwd. Dit exemplaar is vrij eenvoudig. De armen kunnen niet bewegen. Deze robot is bedoeld voor een nog te openen tentoonstelling in Livorno. Het idee is dat bezoekers hem een paar seconden kunnen laten zwemmen door op een knop te drukken. Bij andere modellen bewegen de armen wel, en dan net zoals ze bij een echte octopus doen.

**KAKKERLAK-ROBOT**

Kan zoeken tussen puin

Kakkerlakken kunnen zich platdrukken, en toch blijven lopen. Dat kan deze 18 centimeter lange kakkerlakrobot ook – hoewel nog niet zo extreem als zijn levende evenbeeld. Kern van deze robot is zijn flexibele 'ruggengraaf' en een vervormbaar exoskelet. Zijn buitenkant is gemaakt van stukken geplastificeerd hard karton. De kakkerlak herbergt batterijtjes voor de gelijkstroommotor die de mechaniek van de poten aandrijft. De robot weegt 46 gram en kan 1 kilo aan gewicht dragen. Hij is gemaakt aan de University of California. Het kan een eerste stap zijn naar een robot die tussen het puin naar slachtoffers zoekt, na een aardbeving, orkaan of explosie.