# **ROBOT.SI**





KATALOG OB RAZSTAVI TEHNIŠKEGA MUZEJA SLOVENIJE



Robot.si: Začetki slovenske industrijske robotike Katalog ob razstavi Tehniškega muzeja Slovenije

Tiger je skočil na krotilca

in ga raztrgal.

Zveri se ne da dresirati.

Za prirodo ni dresure.

Ljudi se ne da mehanizirati.

V mehaniki ni kulture.

Učite se od tega zgleda:

Karel Čapek eR U eR.

Iz Homunkulusov izbruhne človek.

Tisočkrat strašnejši.

Harmonija je dobrota.

Stopi z odra dompter.

Človek: to je nova beseda.

Uničite taylorjanske

TVORNICE! HIŠA IZ

UNIČITE! OPEKE

Človek ni avtomat.

(Srečko Kosovel, Kons 1)

#### KAZALO



- 1.1. dr. Barbara Juršič: Uvodna beseda
- 1.2. dr. Orest Jarh: Robot.si

# PRIČEVANJA USTVARJALCEV

prof. dr. Uroš Janez Stanič: **Razvoj slovenskih industrijskih robotov v obdobju** 

Jugoslavije in v samostojni Republiki Sloveniji

akad. prof. dr. Alojz Kralj: **Študij robotike in prve robotske celice v tovarnah Iskre** 

dr. Hubert Kosler Od Iskre do Yaskawe

prof. dr. Karel Jezernik: Začetki robotike na Univerzi v Mariboru

Rudi Zorko: Razvoj robotike 1985-1990, ISKRA KIBERNETIKA KRANJ

prof. dr. Zlatko Matjačić: Robotski sistem CORBYS

# KAREL ČAPEK IN R.U.R.

Katarina Batagelj: Tovarna razuma in stoletje univerzalnih robotov

4. ROBOT.SI / RAZSTAVA O ZAČETKIH ROBOTIKE V SLOVENIJI

Robot ali avtomat

Kratka zgodovina robotov

Od vodne ure do Leonarda Od Tesle do prvega industrijskega robota

Robotika v Sloveniji

Prvi koraki
Serija robotov Goro
Robot za zahtevne naloge
Institut "Jožef Stefan" uspešno uvaja robotiko v industrijsko proizvodnjo
Robotika na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Robotika na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani
Robotika na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo

in informatiko Univerze v Mariboru

**UNISOP** – Martin Krpan med roboti

**CORBYS** – učitelj hoje

Slovarček strokovnih izrazov

DR. OREST JARH: ROBOT.BO?



# UVODNA BESEDA

Če parafraziram ICOM-ovo definicijo muzejev, je muzej ustanova v službi družbe in njenega razvoja. V Tehniškem muzeju se tega še kako zavedamo. Tema naše nove občasne razstave, ki jo odpiramo 18. septembra 2020, je področje robotike, zlasti razvoj industrijske robotike na Slovenskem. Poudarili bomo njeno pomembnost tako na znanstveno-raziskovalnem tehničnem področju kot tudi na družbenem področju.

Razstava bo obeležila pomembni obletnici, povezani s to temo. V letu 2020 mineva 100 let od prve uporabe besede robot, ki jo je v svoji kolektivni drami R.U.R. zapisal Karel Čapek. Čapkovo delo je nit razstave, njegovi citati nas vedno znova osupnejo s svojo aktualnostjo. Še vedno se namreč sprašujemo, ali lahko robot prekosi človeka, ga lahko ogroža, celo nadvlada, vendar kljub tem spekulacijam ugotavljamo in priznavamo njegove prednosti za človeka na določenih področjih.

Že vsestranski Leonardo Da Vinci je izdelal robota/-e, plod iznajdljivosti, znanja, radovednosti in pretanjenega dojemanja človeka. S svojim delovanjem je pričaral nek sanjski, neznani svet tistim, ki so bili priča njegovim iznajdbam, saj v veliki meri zakonitosti še niso razumeli. Od renesanse do danes se je sestavil zgodovinski mozaik robotov, ki so posegli v kar nekaj sfer našega življenja. S pridobivanjem znanja in razvojem na področju robotike pa se nam ne odpira samo bolj praktičen svet, temveč tudi vpogled v njegove zakonitosti in tehnične rešitve.

Ker pa je poslanstvo TMS predvsem preučevanje in predstavljanje slovenskega znanja in razvoja, smo prej omenjeno obletnico povezali z začetki industrijske robotike na Slovenskem v poznih sedemdesetih in osemdesetih letih prejšnjega stoletja, ko je ta doživela razcvet.

Od besede do delujočega robota je sicer preteklo precej časa, a Slovenci na tem področju nismo kaj

dosti zaostajali za tedaj tehnološko razvitejšim svetom. Raziskovalcem z Instituta »Jožef Stefan« so sledili učitelji in strokovnjaki tehniških fakultet v Ljubljani in Mariboru. Pomembno je poudariti, da so na akademskih ustanovah neprestano potekali raziskovalno delo, načrtovanje, razvoj in preskušanje robotov, kar je vodilo tudi v oblikovanje samostojne študijske smeri, za izdelavo in uporabo robotov v praksi pa so se povezali s takratno industrijo. Na temeljih domačega znanja je nastalo kar nekaj robotov in še več sistemov uporabe robotov ali avtomatov v industriji.

Tehniški muzej Slovenije hrani edinstveno zbirko s področja industrijske robotike, ki jo je pridobil v zadnjih letih in jo bo na razstavi postavil na ogled. Gre za industrijske robote, predstavljamo pa tudi rehabilitacijskega robota Corbysa, najnovejšo pridobitev Tehniškega muzeja Slovenije.

Poslanstvo muzeja je, da predstavi zgodovinski razvoj na podlagi eksponatov, je pa tudi prostor srečevanja. Vabimo vas, da nas obiščete in se v Tehniškem muzeju Slovenije srečate s tehniško dediščino, tokrat povezano z robotiko, da vas bodo, čeprav je slišati absurdno, roboti vodili do vaše identitete in do človeka. Na podlagi znanstveno-raziskovalnih tehniških dosežkov se imamo namreč možnost spraševati o njihovi in naši družbeni vlogi nekoč in v današnjem svetu.

Naj vam razstava zbudi radovednost, željo po znanju in po raziskovanju, delavnice, prikazi in spremljajoči dogodki pa naj vas popeljejo v zgodbo, v katero se boste rade volje vračali in jo pripovedovali naprej po svoje.

#### dr. Barbara Juršič,

direktorica Tehniškega muzeja Slovenije

#### **ROBOT.SI**

Dobre muzejske razstave ni brez muzejskih eksponatov, in zbirka robotov je ena najnovejših v fondu Tehniškega muzeja Slovenije. Njeni začetki segajo v prva leta 21. stoletja, ko je robot Roki nastopal na Dnevih elektrotehnike, ki potekajo v sodelovanju s Fakulteto za elektrotehniko v Ljubljani. Ko se je Roki dokončno upokojil, je dobil svoje mesto med eksponati muzeja. Dobrih deset let pozneje je moj sošolec iz gimnazije Leon Žlajpah muzeju ponudil robota Riko in Goro kot darilo odseka E1 na IJS. Prenos je bil hitro zaključen in vse tri robote smo pospravili v depo, ki je čisto po naključju v neposredni bližini takrat še neobstoječe tovarne Yaskawa v Kočevju.

Februarja 2018 je na Gospodarskem razstavišču v Ljubljani prvič potekal sejem Robotics. Na povabilo organizatorja in ob pomoči Uroša Staniča in Zlatka Katalenića smo razstavili omenjene tri robote, poleg njih pa še robota Goro-102, ki ga je hranil IJS. Po zaključku sejma je tudi četrti robot prešel v zbirko TMS, vsi pa so našli svoje mesto v novo zgrajenem depoju nacionalnih muzejev v Pivki, kjer si jih je bilo mogoče tudi ogledati. Hkrati z zbiranjem smo začeli razmišljati o predstavitvi. Izoblikovala se je zamisel, da pripravimo razstavo v Bistri, k publikaciji pa povabimo tudi nekatere akterje iz tistega obdobja.

Za odprtje smo izbrali leto 2020, v katerem praznujemo več obletnic: stoletnici imena robot in rojstva legendarnega pisca znanstvene fantastike Isaaca Asimova ter malo manj zanesljivo štiridesetletnico prvega domačega industrijskega robota. Med pripravo razstave smo odkrili še množico zanimivih projektov. Od večine razen slikovnega gradiva žal niso ostali nobeni materialni dokazi, a jih kljub temu vsaj omenjamo. Gotovo je še veliko takih, za katere ne vemo, zato bomo z zbiranjem informacij nadaljevali.

Tik pred zaključkom priprav smo po zaslugi prof. Alojza Kralja razstavo obogatili še z eno izjemno vsebino. Zbirka učbenikov za študij robotike slovenskih avtorjev dokazuje, da je bilo to področje že od 80. let na zavidljivi strokovni ravni. Čeprav so bili prvi roboti, ki jih predstavljamo, izdelani v malih serijah, so imeli dolgoročne posledice in sadove dela iz tistih časov žanjemo še danes.

**dr. Orest Jarh**, avtor razstave

# 2

# PRIČEVANJA USTVARJALCEV

# RAZVOJ SLOVENSKIH INDUSTRIJSKIH ROBOTOV V OBDOBJU JUGOSLAVIJE IN V SAMOSTOJNI REPUBLIKI SLOVENIJI

prof. dr. Uroš Janez Stanič

Robotika je v Sloveniji nastala na osnovi rezultatov predhodnih vrhunskih strateških jugoslovanskih projektov. Največjo težo je imel razvoj lastne nuklearne tehnologije, ki so ga izvajali trije instituti (v Beogradu, Zagrebu in Ljubljani) do leta 1968, ko je bilo finansiranje projekta ukinjeno. Zgrajena pa je bila odlična raziskovalna infrastruktura in ustvarjena kultura zasnove in izvajanja zahtevnih raziskovalnih projektov. Eno izmed raziskovalno tehnoloških področij, kjer je bila Jugoslavija med vodilnimi v svetu, je bilo »Gibanje pri človeku in stroju«, kjer je bila Ljubljana med vodilnimi v svetu v raziskavah in razvoju tehnologije funkcionalne električne stimulacije (FES) za rehabilitacijo gibanja delno hromih in hromih bolnikov, Beograd pa v razvoju aktivnih eksoskeletov za hojo paraplegičnih bolnikov in senzorske roke za gibanje hromih rok. Skupaj z vodilnimi raziskovalci ZDA so od leta 1970 do 1989 vsake tri leta v Dubrovniku organizirali mednarodno konferenco »External Control of Human Extremities«, kjer se je zbirala elita z vsega sveta. Raziskovalci iz ZDA, Japonske in Sovjetska zveze so se bolj posvetili uporabi mehanskih naprav za rehabilitacijo gibanja pri hromih bolnikih, ki pa teh rešitev niso sprejemali. Pač pa so te naprave, ko so jih začeli uporabljati v proizvodnih linijah, odlično delovale. To je bil začetek industrijske robotizacije v svetu. Glavni jugoslovanski strokovnjaki, md njimi Rajko Tomović in Lojze Vodovnik, ki sta vodila tudi dubrovniško konferenco, so na sestanku v Zagrebu okoli leta 1975 opozorili vlado, da mora finansirati raziskave, razvoj in uporabo industrijske robotike, vendar brez uspeha. Tudi v Sloveniji ni bilo posluha za premik, akademski krogi so se le pogovarjali in čakali, kdo se bo prvi lotil industrijske robotike. Glede na vedno bolj zahtevne visokotehnološke proizvode slovenske industrije pa je bil pravi čas za premik.

Odsek za avtomatiko in biokibernetiko Instituta »Jožef Stefan« je izvajal različne razvojne naloge za našo vodilno industrijo in vse projekte v dogovorjenem roku dokončal. Zato mi je leta 1973 Lojze Vodovnik predlagal, da se lotijo industrijskega razvoja treh FES stimulatorjev, ki bi omogočili intenzivno rehabilitacijo ohromelih bolnikov doma in v svetu. S pomočjo strokovnjakov delavnic IJS, biokibernetike iz FER, zdravnikov Zavoda za rehabilitacijo in kirurgov UKC so ustvarili izjemne medicinske naprave, ki jih je oblikoval mednarodno uveljavljeni slovenski oblikovalec Davorin Savnik (Iskrin telefon). Julija 1977 sta Gorenje in IJS sklenila pogodbo o prenosu treh FES stimulatorjev v serijsko proizvodnjo in globalno komercializacijo. Julija 1978 je v Gorenju stekla redna proizvodnja prvega UNIFES-a. Uspeh je odmeval v Sloveniji in ZDA, ki so osnovne raziskave finansirale. Gorenje se je okitilo z edino serijsko proizvodnjo FES stimulatorjev v svetu. Agencija NIHR, ZDA, ki je skupini Lojzeta Vodovnika več let finansirala FES raziskave, je bila navdušena nad tem uspehom in je IJS finansirala poročilo o tem tehnološkem transferu.

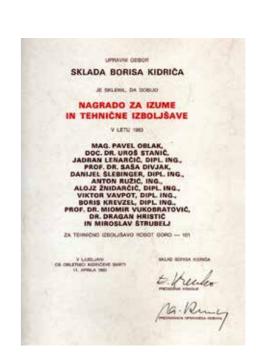
Generalni direktor in ustanovitelj Gorenja Ivan Atelšek je bil izredno zadovoljen z delom biokibernetikov Odseka IJS, saj je Gorenje čez noč zaslovelo kot proizvajalec visokotehnoloških medicinskih naprav, kar je povečevalo tudi ugled njihove bele tehnike. Zato mi je predlagal, da tudi avtomatiki Odseka za avtomatiko in biokibernetiko IJS začno razvijati projekte za Gorenje. Seveda se je predhodno pozanimal o njihovih dotedanjih uspešnih razvojnih projektih, kot sta bila »Razvoj in prenos procesnih računalnikov v Iskro in Karl Zeiss« (1975) in »Mikroračunalniško vodena betonarna za IMP« (1977). Dogovorili so se, da IJS avtomatiki in razvojni inženirji Gorenja skupaj obiščejo različne tovarne Gorenja in identificirajo urgentne proizvodne probleme, ki bi jih lahko skupaj rešili. Tako sta Pavle

Oblak in Tone Čižman s sodelavci tehničnega direktorja Gorenja Lojzeta Žnidarčiča obiskala več tovarn Gorenja. Skupaj so generalnemu direktorju Ivanu Atelšku predlagali dva razvojna projekta: računalniško krmiljenje mešanja sanitarne keramike SILIPOL in razvoj industrijskega robota za nanašanje emajla za površinsko zaščito sestavnih delov štedilnikov (bele tehnike). Glavni razlog za slednji projekt je bilo zelo zahtevno in težaško delo na emajlirni liniji. Tovarna je obratovala 16 ur (dve izmeni) in v vsaki izmeni so po štiri delavke osem ur stale ob liniji in obrizgavale sestavne dele štedilnikov z redko blatno mešanico emajla. Kar pomeni, da so delavke osem ur preživele v blatnem in mokrem delovnem okolju. Da bi se tega trpljenja znebile, so mnoge rajši zanosile. Fluktuacija delavk ne tem delovnem mestu je bila v povprečju leto in pol. Ker so se tako hitro izmenjavale, je bila kvaliteta emajliranja zelo slaba in posledično so bili tudi štedilniki slabše kvalitete.

Naj povzamem. Gorenje ni začelo proizvajati industrijskih robotov zaradi dolgoročnega strateškega načrta robotiziranja proizvodnje, temveč je bil poglavitni razlog odprava težkega, zdravju škodljivega delovnega mesta. Odsek za avtomatiko in biokibernetiko IJS je v avgustu 1978 sklenil s tovarno Gorenje pogodbo za razvoj in izdelavo dveh identičnih robotov GORO1. V razvoju je sodeloval tudi Institut »Mihajlo Pupin« iz Beograda. Čez eno leto, torej 1979, sta bila dva robota narejena in pripravljena za montažo na emajlirno linijo. Poskusno je linija začela obratovati v letu 1980.

Takrat je TV Slovenija v jugoslovanski dnevnik emitirala robota GORO1 na emajlirni liniji. Odziv slovenske in jugoslovanske javnosti je bil ogromen.

Zgodil se je tako imenovani ROBOTSKI VELIKI POK. Vodilna podjetja v Sloveniji in Jugoslaviji so se burno odzvala: »Tudi mi bomo začeli uvajati robote, tudi mi bomo robote proizvajali, prodajali in jih uvajali v proizvodne linije«. Mediji so tekmovali, kdo bo najbolje objavil to senzacijo. Robotizirana linija emajliranja v Gorenju je bila verjetno prva tovrstna v svetu. Z robotom GORO1 se je pričel razvoj industrijske uporabe robotov tako v Sloveniji kot v Jugoslaviji. Sklad Borisa Kidriča Raziskovalne skupnosti Slovenije je leta 1983 podelil razvojnemu timu nagrado za izume in tehnične izboljšave. Odločeni so bili, da v enem letu razvijejo in izdelajo dva prototipa delujočih robotov in jih naslednje leto že zaženejo na proizvodni liniji. Pot do uspeha je bila tlakovana s prijateljstvom, zaupanjem in podporo vodstvenih kadrov z dolgoročno vizijo.



Nagrada za tehnično izboljšavo robota Goro 1



# **ŠTUDIJ ROBOTIKE IN PRVE ROBOTSKE CELICE V TOVARNAH ISKRE**

akad. prof. dr. Alojz Kralj

#### VZPOSTAVLJANJE POGOJEV ZA RAZVOJ ROBOTIKE

Ob prelomu 50. in 60. let preteklega stoletja je na Univerzi v Ljubljani prišlo do odločujočih premikov v študijih naravoslovno-tehničnih smeri. Tedaj sta se ločila petletni, do tretjega letnika združeni študij strojništva in elektrotehnike in bila skrajšana v štiriletni študij. Od 1958 do 1959 se je začelo opuščati združeno izvajanje številnih temeljnih predmetov v študijih gradbeništva, fizike, strojništva in elektrotehnike (matematika, fizika, mehanika, statika, dinamika, osnove strojništva itd.). Do te razdružitve so imeli diplomanti petletnega študija na elektro-strojni fakulteti odlično teoretično podlago za razvoj proizvodnih sistemov in s tem tudi robotike.

Na Fakulteti za elektrotehniko (FE) sta, spodbujena z znamenito Wienerjevo idejo /1/ kibernetike, akad. prof. dr. Ludvik Gyergyek in akad. prof. dr. Lojze Vodovnik začela raziskovati upravljanje in komunikacijo pri živalih in strojih ter teorijo sistemov. Prof. Gyergyek je svoje raziskave usmerjal tudi na področje učenja ter samoreguliranih strojev in samoorganiziranih sistemov, ki ga je izpostavil Wiener (1961, umetna inteligenca). Prof. Vodovnik je raziskoval na področju biokibernetike, funkcionalne električne stimulacije (FES), biomehanike, delovanja živčevja, upravljanja in obnove gibanja ohromelih udov.

Prof. Vodovnik se je udeležil prve konference o zunanjem upravljanju človekovih ekstremitet (External Control of Human Extremities, ECHE) v Opatiji leta 1963 /2/, kjer sta bila navzoča tudi prof. dr. Norbert Wiener in prof. dr. James Reswick, direktor Engineering Design Centra, Case Western Reserve University, CASE, Cleveland, Ohio. Vodovnik je na povabilo Reswicka leta 1964 odpotoval v Cleveland na enoletno strokovno izpopolnjevanje kot štipendist Sklada Borisa Kidriča. V Clevelandu je raziskoval in zelo uspešno uvajal FES sisteme za obnovo gibanja, pretežno roke. Tam je tudi deloval izmenoma kot profesor do leta 1969.

V letu 1968 je prof. Vodovnik kandidiral za triletni

raziskovalni projekt v ZDA in pridobil prestižno ter znatno financiranje za zelo aktualne in vodilne FES raziskave v Ljubljani. Ta projekt, ki je bil kasneje podaljšan za dve leti, je najprej vodil do ustanovitve ljubljanskega rehabilitacijskega raziskovalnega programa, zaradi odličnih raziskav pa takoj nato na pobudo iz ZDA do Rehabilitacijskega inženiring centra - REC (Rehabilitation Engineering Center Ljubljana). Že raziskovalni projekt iz leta 1968 je Laboratoriju za biokibernetiko na FE UL omogočil nakup najsodobnejše opreme za merjenje in registracijo gibanja, raziskave delovanja mišic in živčnega upravljanja. Številni mlajši sodelavci, veliko tudi z Instituta »Jožef Stefan« (IJS) so se tako lahko vključili v raziskave in aktivno sodelovali na vrsti mednarodno priznanih srečanj, še posebej na ECHE konferencah. Potovanja v tujino so bila praviloma povezana tudi z obiski več univerz in laboratorijev, kjer so raziskovali upravljanje, nevralne poškodbe in obnovo gibanja pri ljudeh. Domače financiranje raziskav in potovanj je bilo žal skopo odmerjeno in ni podpiralo mednarodnega udejstvovanja.

Udeleženci profesionalnih mednarodnih srečanj iz REC-a Ljubljana smo lahko navezovali stike ter spoznavali vodilne raziskovalne ustanove in raziskovalce v ZDA, Evropi in na Japonskem. Tako smo sodelavci REC-a in Laboratorija za biokibernetiko FE UL s kolegi iz IJS imeli odlične možnosti za poglobljeno raziskovalno delovanje, k čemur je pripomogla tudi interdisciplinarnost raziskav in uporaba najboljše opreme. Z nastankom REC-a je bilo financiranje zagotovljeno za nadaljnjih 15 let, z njegovo ukinitvijo leta 1988 pa je začelo usihati. V letih do okoli 1988 so znanje in sistemi za obnovo gibanja hitro rastli na področjih, ki so zanimiva tudi za robotiko. Tako so teoretična znanja in vrsta izkušenj za obnovo gibanja nog in rok v času ugašanja delovanja REC-a kar klicala po uporabi na sorodnem področju, to je uvajanju robotike v Sloveniji. Zato ni naključje, da se je na Fakulteti za elektrotehniko in Institutu »Jožef Stefan« robotika – celo po mednarodnih merilih - začela razvijati zelo zgodaj.

#### PRIKAZ ZAČETKOV ROBOTIKE V 70. IN 80. LETIH

Sledi kratek prikaz spominov na 70. leta in oris razmer na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo (FERI) Univerze v Ljubljani pri uvajanju robotike v raziskovalno in pedagoško dejavnost in kmalu tudi v industrijo.

Mnogi danes menijo, da so bili začetki robotike dokaj zgodnji in presenetljivo uspešni, kar se še danes odraža v razvoju robotike v Sloveniji. Znanje in izkušnje, pridobljene v raziskavah na področju gibanja pri ljudeh, so zagotavljale odlično osnovo. Idealne razmere, ki so nastajale več kot desetletje, so omogočale uvajanje robotike. Dodatna spodbuda so bile težave, s katerimi se je soočala industrija v Sloveniji, posebej na področju storilnosti, konkurenčnosti in zaostajanja v razvoju novih, tehnično zahtevnejših in naprednejših izdelkov. Znanje na področju sistemov obnove gibanja zapestja, roke, noge, pridobljeno v Ljubljani, je bilo izredno tehnološko napredno in vodilno v svetu.

V 60. in 70. letih so na področju ortotike, torej pomagal ob ohromelem udu, in protetike, kjer gre za nadomeščanje funkcije manjkajočega uda, nastajala znanja, ki so bila uporabna tudi pri zgodnjem razvoju robotike. Po uporabi prvega robota ob tekočem traku (General Motors, robot Unimate, 1962) so številne raziskave na področju rehabilitacije roke in še posebej zapestja ter manipulatorjev postale zanimive tudi za industrijsko robotiko. Dobro artikulirano zapestje (beograjska roka /3/) je bilo prodoren uspeh, ki je privabljal elitne raziskovalce in strokovnjake s področja robotike na ECHE konference v Dubrovnik. Navajam udeležence, ki so v kasnejših letih postali znani na področju raziskav manipulatorjev, danes lahko rečemo tudi na področju robotike. Na Case Institute so leta 1962 razvili ortozo za roko (Externally Powered Orthosis /4/). Tedaj je nastal tudi manipulator Rancho Golden Arm (J. R. Allen in A. Karchack, 1964, glej /5/). V Beogradu je prof. M. Vukobratović leta 1970 razvil motorizirani eksoskelet (Powered Exoskeleton /8/). General Electric je razvil 4-nožni hodeči tovornjak (Four-Legged Walking Truck, glej /6/), Frank in McGhee

pa »Phony Pony«, prvega avtonomnega štirinožnega robota z logičnim upravljanjem hoje (Shift-register logic controls walking, 1968 /7/).

Na Japonskem je prof. dr. I. Kato s sodelavci leta 1970 razvil multifunkcijsko roko /9, 10/, v Franciji pa je leta 1976 skupina prof. dr. P. Rabishonga razvila pnevmatski eksoskelet /11/. Mnogi našteti raziskovalci so prihajali v Dubrovnik na ECH konference, številni pa so tudi obiskovali in predavali v Laboratoriju za biokibernetiko v Ljubljani.

Spomladi leta 1969 sem odpotoval na trimesečno študijsko potovanje v ZDA (državna štipendija, USA program za znanstveno izmenjavo), kjer sem obiskal in spoznal številne raziskovalce ter videl, da na nekaterih univerzah razpravljajo o novem področju robotike. V bolnišnici Rancho Los Amigos pri Los Angelesu sta zaradi poudarka na robotiki moje zanimanje zbudila J. R. Allen in A. Karchack, ki sta napovedala, da bosta raziskovanje manipulacije razširila v zasebno dejavnost in industrijo. To je bilo prvič, da so raziskave v smeri robotike močno pritegnile mojo pozornost.

Že v začetku 70. let je prof. Vodovnik v raziskave večkanalne FES za obnovo gibanja vključil tudi mlade raziskovalce, ki jih je uspešno vodil prof. dr. Uroš Stanič na Institutu »Jožef Stefan« v Ljubljani. Po nastanku REC-a v letu 1972 smo spoznali in navezali stike s prof. dr. M. Vukobratovićem, ki je razvijal aktivne eksoskelete za obnovo hoje paraplegičnih oseb in teorijo za upravljanje manipulatorjev. V Ljubljani na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko smo tedaj namreč raziskovali obnovo stoje in hoje paraplegičnih oseb z večkanalno FES in začeli smo sodelovali s prof. Vukobratovićem in kolegi v Beogradu.

Ugotavljam, da so upravljanje, biomehanika, merjenja in analiza dosežene hoje in gibanja skupni vsem pristopom obnove gibanja, torej tudi robotiki. V ZDA so po nekaj letih napovedali ukinitev raziskovalne naloge



eksoskeleti in paraplegija, ker se je pristop s FES izkazal kot bolj priročen /12, 18/. Tedaj so na IJS v skupini prof. dr. Staniča uspešno raziskovali področje večkanalne (3 in 6) FES za obnovo hoje hemiplegičnih pacientov /12/, pri čemer so sodelovali tudi s prof. Vukobratovićem. V tistem obdobju je kolega Vukobratović zaradi izgube financiranja začel na področju robotike aktivneje sodelovati z industrijo in želel zaradi obojestranskih koristi ohraniti stike z Ljubljano.

Zaradi ugodnih razmer in možnosti na FE UL ter čedalje aktualnejšega razvoja robotike v svetu je bilo za nas razumljivo, da nadaljujemo sodelovanje s prof. dr. Vukobratovićem na področju robotike. To področje so mnogi, celo ožji kolegi, več let odklanjali in robotike niso priznavali kot perspektivno področje /15, 16, 19/. Kolega Vukobratović je bil skupaj z nami drugačnega mnenja. Bilo je tudi precej splošnih in tehtnih nasprotovanj, saj je nezaposlenost naraščala zaradi slabo konkurenčne industrije, posebno na mednarodnem tržišču. Nekateri so menili, da robotika ne bo zmogla odpraviti teh težav. Drugi so poudarjali, da bo robotika lahko celo povečala nezaposlenost.

V obdobju 1973–1974 sem predaval na losangeleški University of Southern California in raziskovalno deloval v bolnišnici Rancho Los Amigos, Downey, kjer sem podrobneje spoznal raziskave in dosežke kolegov Allena in Karchacka. Takrat me je obiskal prof. Vukobratović in dogovorila sva se, da ga bom povabil v Ljubljano in da bova na magistrskem študiju začela predavati Industrijsko robotiko kot občasni izbirni predmet. Na FE UL za uvedbo dodatnega predmeta v natrpanem programu magistrskega študija ni bilo podpore. Vendar sem z veliko vneme uspel; pri tem mi je pomagalo tudi mnenje, da za neperspektivno področje robotike študentje ne bodo pokazali zanimanja in da predmet ne bo stekel.

Na moje presenečenje je bil predmet Industrijska robotika kmalu sprejet in vsi smo si oddahnili od moje »velike vneme«. Z manjšimi začetnimi težavami je kolega Vukobratović leta 1976 začel predavati. Zaradi slabega vpisa so predavanja naslednje leto odpadla, ker je to bil izbirni predmet. Slabo zanimanje študentov je spodbudilo iskanje drugačne rešitve. V študijskem letu 1977/78 sem uredil, da je bil predmet Industrijska robotika uvrščen v redni univerzitetni študij na Merilno procesni smeri v izbirnem modulu Industrijska elektrotehnika in merilno procesni sistemi. V letu 1977 se je v delo laboratorija in FES raziskave vključil, tedaj kot asistent, akad. prof. dr. Tadej Bajd in z veliko vnemo in s sposobnostjo izredno pospešil naše raziskave in

aktivnosti. Skupaj sva začela dokaj uspešno snovati pristope za sodelovanje z industrijo na področju robotike.

Začela sva priprave za ustanovitev Laboratorija za robotiko. V jeseni 1978 so stekla prva predavanja iz Industrijske robotike v rednem študiju na FE UL. Tudi Laboratorij za robotiko je že deloval, ni pa bil uradno registriran in financiran. Bilo je precej nasprotovanj, češ da je robotika nepotrebna, neperspektivna in da je delovna sila iz tedanjih južnih republik cenejša kot robotika. S temi pogledi se nismo strinjali. Razvoj v svetu je bil v teku in ni ga bilo mogoče prezreti. Zato sva s kolegom Bajdom v programu strokovnega in dopolnilnega izobraževanja iz merilno procesne tehnike pripravila še dodaten seminar iz Industrijske robotike. Izvajati smo ga začeli v septembru 1979 ob presenetljivo veliki udeležbi inženirjev iz industrije. Ta seminar dopolnilnega izobraževanja iz robotike je izzval precejšnja nasprotovanja, celo pri tistih, ki bi morali uvajanje robotike v industrijo močno podpirati. Na FE smo v bran robotiki kot argument uporabili trditev, da uvajamo robotiko zato, da bi z roboti nadomestili človeka na nevrednih in nevarnih delovnih mestih. Pri tem smo zavestno sledili izkušnjam, da robotika prinaša uporabniku velike izdelovalne in ekonomske prednosti ter profit in hkrati prevzema težka, nevarna in človeka nevredna dela.

V letu 1980 smo kot pomoč kolegom iz industrije izdali pripomoček - učbenik /14/ na 135 straneh, ki so ga uporabljali tudi redno vpisani študentje. Seminar je bil dobra iztočnica za navezavo stikov z vodilnimi industrijskimi obrati v Sloveniji. Tako smo v študijskem letu 1980/81 izvedli raziskavo potencialnih uporabnikov industrijske robotike v Sloveniji /15, 16/. Kmalu za tem so stekle priprave za raziskovalno razvojno sodelovanje in uvajanje robotov za izbrane tovarne elektronske industrije. V obdobju 1984–1985 smo izdelali tudi ocene o možnostih robotizacije omenjene industrije /17/. Konkretizacija dogovorov je stekla s tovarnami Iskre. Prve pogodbe za razvoj in izdelavo robotskih celic so bile podpisane. To sodelovanje se je v zadovoljstvo vseh tovarn v Iskri nadaljevalo še mnoga leta (glej poglavje 4, SI robotika in /20/) in ob veliki zavzetosti direktorja razvoja Iskre Kibernetike, mag. Rudija Zorka, dipl. inž., s katerim smo že več let sodelovali, vodilo do uspešnega razvoja robota ROKI- 200.

Vpis v študij robotike se je z leti povečeval. Predmet Industrijska robotika se je od leta 1978 do 1989 predaval na oddelku za splošno elektrotehniko na merilno procesni smeri FE UL.

#### PRIKAZ RAZVOJA PO LETU 1990

Do večjih sprememb je prišlo v študijskem letu 1989/90 in kasneje leta 1992. Predmet Industrijska robotika smo nadomestili z vrsto predmetov. V 3. letniku univerzitetnega študija Avtomatika in Merilno procesna smer se je začel predavati predmet Osnove robotike. Uvedena je bila izbirna skupina predmetov (modul), in sicer Robotika I, Robotika II, Robotika III ter Zaznavanje in umetna inteligenca. Kmalu so se uvedli še predmeti Biomehanika, Neelektrična krmilja in Elementi za avtomatiko in robotiko.

Že v letu 1990 je več obveznosti in del v Laboratoriju za robotiko ter vodenje vaj prevzel prof. dr. Marko Munih, tedaj kot asistent. Samostojno vodenje laboratorija je prevzel akad. prof. dr. Tadej Bajd in skrbel, da se je pedagoško in raziskovalno delo uspešno izvajalo in napredovalo. Do polovice 90. let smo izdali več vse bolj izpopolnjenih učbenikov robotike. Študij robotike je tudi zaradi dosežkov v sodelovanju z industrijo postajal čedalje bolj aktualen. V laboratoriju je tedaj začelo sodelovati več študentov, med njimi sedanji prodekan FE UL prof. dr. Roman Kamnik, idejni oče več robotskih celic na področju montaže avtomobilskih akumulatorjev.

V šolskem letu 2003/04 je bil uveden kreditni sistem točkovanja težavnosti in zahtevnosti predmetov. V tem letu je bil na novo zasnovan visokošolski (strokovni) študij smeri Avtomatika in smeri Zagotavljanje kakovosti. Začela so se predavanja iz predmeta Robotika in Robotika in proizvodni sistemi. Do leta 2008/09, ko se začnejo predavanja po bolonjski prenovi študijskih programov, pri študiju robotike ni bilo večjih sprememb.

Po bolonjski reformi se je znatno povečalo število predmetov na področju robotike in s tem tudi profesorjev. Na univerzitetnem študiju 1. stopnje so Osnove robotike na voljo kot izbirni predmet vsem usmeritvam, Avtomatiki pa imajo predmet kot obvezen. V zadnjih približno desetih letih posluša predmet Osnove robotike med 70 in 80 študentov letno.

Na drugi bolonjski stopnji, to je magistrskem študiju, je Robotika ena od sedmih možnih smeri študija na FE UL in je v skladu s splošnimi pogoji na voljo vsem študentom na UL. Pogosto se poleg študentov FE vpišejo tudi diplomanti Fakultete za strojništvo, Fakultete za matematiko in fiziko in Fakultete za računalništvo in matematiko. Predavanja na Robotiki

so se razširila z novimi predmeti, kot so Roboti v stiku s človekom, Vodenje robotov, Robotski in merilni vgrajeni sistemi. Uvedena je bila vrsta sprememb in dopolnitev pri več drugih predmetih. V tem obdobju se je v delo Laboratorija za robotiko vključil kolega prof. dr. Matjaž Mihelj in kmalu kot asistenta tudi doc. dr. Janez Podobnik in dr. Sebastijan Šlajpah, dipl. inž..

V obdobju od leta 1985 do 1997 so izšli trije učbeniki, v naslednjih letih pa še vrsta drugih, danes zelo aktualnih učbenikov in znanstvenih knjig (glej 4. poglavje, SI robotika: seznam učbenikov in znanstvenih knjig na področju robotike). V približno zadnjih desetih letih so kolegi v Laboratoriju za robotiko s sodelavci Instituta Jožef Stefan – tu velja izpostaviti odlično sodelovanje s prof. dr. Jadranom Lenarčičem – pri prestižni nemški založbi Springer izdali vrsto učbenikov in znanstveno odmevnih publikacij. Nekatere od njih so izšle tudi v Ljubljani pri različnih založbah (glej 4. poglavje: SI robotika).

V tej zvezi izpostavljam učbenik ROBOTICS (2010) avtorjev T. Bajd, M. Mihelj, J. Lenarčič, A. Stanovnik in M. Munih, ki ga je leta 2011 ameriška knjižnična revija CHOICE uvrstila na seznam najboljših knjig za leto 2010 in mu podelila prestižni naziv »Outstanding Academic Titles«. Kot priporočeni učbenik je našel svoje mesto na policah več kot 700 knjižnic po vsem svetu. Začeli so ga uporabljati na številnih univerzah in tako je založba Springer v letu 2019 izdala drugo, dopolnjeno izdajo avtorjev M. Mihelj, T. Bajd, A. Ude, J. Lenarčič, M. Munih, J. Rejc in S. Šlajpah. Springer je prodal pravice za prevod in tiskanje tega učbenika v arabskem jeziku, v letu 2020 pa še pravice za prevod in tisk učbenika na Kitajskem.

To je izjemni mednarodni uspeh robotike v Ljubljani, ki dokazuje, da je učbenik zanimiv, odličen in v uporabi na mnogih svetovnih univerzah. V zadnjih petnajstih letih je študij robotike v Ljubljani pridobil velik mednarodni ugled in postal priznan in prestižen. Ugotovimo lahko, da so se študij in raziskave na področju robotike od uvedbe leta 1978 do danes močno uveljavile, razširile in postale pomembne za Slovenijo in domačo industrijo. Pri tem velja poudariti, da so odlične in v znanstvenorazvojnem pogledu mednarodno odmevne raziskave osnova za odlično poučevanje.



V Laboratoriju za robotiko je bilo razvito in izdelano večje število robotskih celic za slovensko industrijo (glej 4. poglavje: SI robotika: Robotski sistemi ...). V tej zvezi v nadaljevanju izpostavljam dosežke petih robotskih sistemov: prvo izdelano celico za sestavljanje usmerniških mostičev, celico za montažo tiskanih vezij v SMD tehnologiji, celico za montažo pokrovov avtomobilskih akumulatorjev in robotsko dvigalo za montažo panelnih plošč, ki je bilo razvito za tovarno TRIMO, Trebnje. Prve tri naštete celice z nekaterimi posodobitvami delujejo še danes. Celica za montažo panelnih plošč je robotski makromanipulator in mikromanipulator (2007-2008), ki so ga razvili in izdelali pod vodstvom mag. Danijela Zupančiča, Trimo Trebnje, prof. dr. Marka Muniha, FE UL, in dr. Igorja Kovača, sodelavca s Tehnične univerze v Gradcu. Organizaciji European Robotics Technology Platform

in European Robotics Research Network sta leta 2010 v sklopu EUROP/EURON Robotics Technology Transfer Award robotskemu high-tech manipulatorju podelili tretjo nagrado. Izpostavljam še peti robotski sistem, in sicer robotski invalidski voziček, ki se lahko vzpenja po stopnicah /18/. Voziček je leta 2016 dosegel tretje mesto na mednarodnem tekmovanju CYBATHLON in v letu 2018 še vrsto priznanj v Sloveniji. Opisani dosežki so najboljši dokaz, da imajo raziskave in razvojni dosežki Laboratorija za robotiko veliko mednarodno težo in se uvrščajo v sam vrh odličnosti.

Menim, da je zgoraj opisano in predstavljeno pomembno prispevalo ne samo k mednarodni veljavi raziskav in študija robotike na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, ampak tudi ugledu Slovenije v svetu.

#### LITERATURA

- 1. Wiener, Norbert: Cybernetics or control and communication in the animal and the machine, The Technology Press and John Willay&Sons, and Herman&Cie Editors, Paris 1948.
- 2. External Control of Human Extremities, ECHE, zborniki od leta 1963 do 1990, založba ETAN Beograd.
- Kralj, Alojz: Začetki in mejniki razvoja biorobotike v Sloveniji, Biorobotika, uredila T. Bajd in I. Bratko, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana 2016, str. 19–57.
- 4. Corker, Kevin in Lyman, John H.: A preliminary evaluation of remote medical manipulators, Bull. Prosth. Res., BPR 10-32, 1979, str. 107-134.
- 5. Leifer, Larry: Rehabilitation robotics, Robotics ASge, May/June, 1981, str. 4–15.
- 6. Reibert, Marc H.: Legged Robots that Balance, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1986, str. 8.
- 7. Brady, Michael: Robotics Science, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts 1989, str. 36, 37.
- 8. Glej /3/ str. 36 in 37.
- 9. Kato, I., Yamakowa, S., Khikawa. K. in Samo, M.: Multifunctional myoelectric hand prosthesis with pressure sensory feedback system: Waseda hand 4P, Proc. of the 3rd ECHE, Dubrovnik 1970, ETAN, Belgrade 1970, str. 155–170.
- 10. Kato, I., Morita, H. in Oyozuka, T.: Development of myoelectric control system for an above-knee prosthesis, On Theory and Practice of Robots and Manipulators, Ro. Man sy.-76, Sept. 1976.
- 11. Rabishong, P.: The Amoll Project, Active modular orthosis for lower limbs, Proc. of the 5th ECHE, Dubrovnik, ETAN, Belgrade 1970, str. 33–42.
- 12. Kralj, Alojz (ur.): Lojze Vodovnik, znanstvenik in humanist 1933-2000, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana 2019.
- 13. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Informacija o strokovnem izpopolnjevanju in dopolnilnem izobraževanju iz merilno procesne tehnike, Merilno procesni seminarji, seminar MP/3, Ljubljana 1979, str. 8.
- 14. Kralj, Alojz in Bajd, Tadej: Industrijska robotika, pripomoček za dopolnilno izobraževanje, FE, Univerza v Ljubljani, Ljubljana 1980.
- 15. Kralj, Alojz: Robotizacija, Elektrotehniški vestnik, letnik 51, 4, Ljubljana 1984, str. 125–129.
- 16. Kralj, Alojz, Bajd, Tadej in Golob, V.: Raziskava potencialnih uporabnikov industrijske robotike v Sloveniji, Zbornik, Drugi jugoslovenski simpozijum za primenjenu robotiku, Portorož, junij 1981, str. 288–296.
- 17. Kralj, Alojz, Bajd, Tadej in Šolar, V: Značilnosti robotizacije elektronske industrije, Zbornik JUROB 1985, str. 3/22-24.
- 18. Biorobotika, uredila T. Bajd in I. Bratko, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana 2016.
- 19. Munih, Marko (ur.), SI robotika, Slovenska matica, Ljubljana 2017.
- 20. Zorko, Rudi: Razvoj robotike 1985-1990, Iskra kibernetika, Kranj, Tehniški muzej Slovenije, Katalog ob razstavi ROBOT.SI, poglavje 2, Pričevanja ustvarjalcev, Ljubljana 2020.

#### **OD ISKRE DO YASKAWE**

#### Dr. Hubert Kosler

Moja pot se je začela, ko sem kot štipendist podjetja Iskra Avtomatika, z nazivom univ. dipl. ing. strojništva, leta 1985 uspešno zaključil študij na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Takoj po diplomi sem svojo kariero začel v Iskri Avtomatiki, takratnem TOZDU z nazivom Sistemi industrijske avtomatizacije – SIA. Začel sem opravljati delo projektanta in varilnega tehnologa na področju težke avtomatizacije.

Svoje prve izkušnje iz avtomatizacije sem pridobil na projektiranju konzolnega varilnega stroja – KVS, predhodnika robotskega varjenja. Zajemalo je avtomatizacijo varjenja vagonskih vzdolžnih nosilcev po postopku »varjenja pod praškom«. Takrat smo v Iskri, ob uporabi taktilnih senzorjev, prvič implementirali avtomatsko-adaptivno sledenje varilne glave zvarnemu robu.

Naslednji korak v smeri robotizacije je bil projekt »Razvoj robotskega varjenja cistern po postopku MIG MAG«. Iskra Avtomatika je za podjetje Vozila Gorica iz Nove Gorice izvajala varjenje cistern za prevoz naftnih derivatov.

V istem obdobju smo v Iskri, v sklopu projekta JUROB, začeli razvijati robotske pozicionerje za potrebe varjenja za avtomobilsko industrijo. Po postopku MIG MAG smo koncipirali prvo robotsko celico za varjenje, v katero smo vgradili petosne robote, ki jih je po licenci ASEA Brown Boveri (današnji ABB) izdeloval Institut za avtomatizacijo Mera Piap iz Varšave. Projekte smo vsako leto prikazovali na sejmu robotizacije JUROB. V tem obdobju se je za naš razvoj na področju robotskih pozicionerjev začela zanimati nemška firma ROBOTEC GmbH iz Dachaua, ki je od leta 1986 že tesno sodelovala z YASKAWO.

V obdobju med 1985 in 1988 smo veliko sodelovali pri različnih robotskih projektih. Pod vodstvom dr. Uroša Staniča in njegove ekipe smo sodelovali z oddelkom za robotiko na Institutu Jožef Stefan, pod vodstvom prof. dr. Karla Jezernika in njegovega tima pa s Fakulteto za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru.

Zaradi stečaja Iskre Avtomatike je program robotike v Iskri leta 1988 zamrl. V obdobju od leta 1988 do 1990 sem izvajal dela pomočnika stečajnega upravitelja, leta 1990, še v obdobju Jugoslavije, pa je zaživela moja ideja o ustanovitvi podjetja v mešani lasti med podjetjema Robotec GmbH iz Dachaua in Iskro Holding. Tako je nastala Iskra Robotec d.o.o., podjetje za projektiranje, gradnjo in trženje industrijskih robotskih sistemov na trgih takratne države. Danes se prav to podjetje imenuje Yaskawa Slovenija d.o.o.

Sledilo je prelomno leto 1991, z njim pa burni časi in hud boj za preživetje, saj je odcepitev od Jugoslavije povzročila velik padec naročil.

Leta 1994 je nemškega partnerja Robotec GmbH prevzelo podjetje Yaskawa, ki je takoj želelo spremeniti strategijo poslovanja v Evropi. Leta 1996 je bil pred menoj nov izziv – postavitev tovarne za proizvodnjo robotskih pozicionerjev in robotskih celic v Sloveniji.

Tako kot Iskra je tudi podjetje Riko iz Ribnice v letih od 1985 do 1989 veliko vlagalo v razvoj robotike. Institut Jožef Stefan je po njihovem naročilu razvil šestosnega robota Riko 106. S namenom robotizacije je podjetje Riko leta 1988 zgradilo tovarno za proizvodnjo robotov. Ker je po razpadu Sovjetske zveze izgubilo večino trga, je leta 1992 pristalo v stečaju.

Mojo vizijo proizvodnje robotskih pozicionerjev in robotskih celic na lokaciji bivše Rikove tovarne v Ribnici sem leta 1996 predstavil Yaskawi. Koncept se je izkazal kot odličen, saj danes na tej lokaciji zaposlujemo preko 150 ljudi, od tega 65 visoko strokovnih inženirjev.

Zaradi velikega zaupanja, ki smo ga pridobili pri japonskih lastnikih, nam je ta zgodba o uspehu odprla nove možnosti. Leta 2018 smo na lokaciji v Kočevju zgradili novo tovarno za izdelavo industrijskih robotov. Tovarna z vsemi detajli procesov je bila popolnoma zasnovana v digitalnem okolju, preden se je gradnja sploh začela, kar je izjemen tehnični dosežek, ki Slovenijo na tem področju postavlja na svetovni zemljevid. Prvi roboti so bili izdelani v novembru leta 2018. Kratkoročni plan predvideva 155 novih delovnih mest in proizvodnjo 5000 robotov letno, z možnostjo proizvodnje do 10.000 robotov letno. Vse to ima izjemno velik pomen za Slovenijo, predvsem pa za občino Kočevje, ki se je doslej soočala z visoko brezposelnostjo.



# **ZAČETKI ROBOTIKE NA UNIVERZI V MARIBORU**

prof. dr. Karel Jezernik

Veliki cilj izobraževanja ni vedeti, temveč delovati. Herbert Spencer

Roboti so naprave oz. stroji, ki so človeštvo zanimali od pradavnih časov. So stroji ali aparati, ki delujejo samodejno (avtomatsko) ali so vodeni na daljavo. Danes se uporabljajo pri številnih opravilih, kot je raziskovanje vesolja (Mars Rover) ali domača uporaba robotskih sesalnikov za čiščenje prostorov. Roboti so kompleksni in uporabni v industriji že več desetletij. Sodobni roboti izdelujejo avtomobile, varijo sestavne dele strojev, raziskujejo za ljudi nevarne prostore. V prihodnosti bodo humanoidni roboti prevzeli številna dela, ki jih sedaj opravljamo ljudje.

Prvi industrijski robot Unimate je bil uporabljen v General Motorsu leta 1961. Bil je robusten stroj, ki je vseboval kombinacijo mehatronskih elementov, in sicer strojne gradnje, hidravličnih aktuatorjev in preprostih mikrokrmilnikov. Predvsem velika teža robota v primerjavi s težo manipuliranega objekta raziskovalcem in inženirjem ni bila samo izziv, ampak tudi spodbuda za raziskave in tehnološki razvoj robotike in z njo povezane kompleksne tehnologije.

Univerza v Mariboru je bila ustanovljena leta 1975 in ni mogla imeti razvite akademske tradicije. Temelje za raziskovalno in pedagoško delo je zato črpala iz povezave z industrijo. Robotska veda in z njo povezana tehnologija je vsebovala času primerno osnovo za raziskave in predvsem pedagoško delo po načelu učenja z delom (Learning by doing). Leta 1981 je bil na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Mariboru ustanovljen Institut za robotiko.

Institut je raziskovalno delo združil s Fakulteto za elektrotehniko v Ljubljani in Institutom »Jožef Stefan«. Slovenija je tehnološki razvoj robotike podpirala v organizaciji Področne raziskovalne skupnosti za tehnološki razvoj, kjer so skupaj z akademskimi raziskovalci delovali tudi razvojni inženirji. Takrat močna in napredna industrija je v svojih razvojnih oddelkih ali tovarniških institutih ustvarjala nove konkurenčne izdelke. Med njimi so takratni roboti, ki so predstavljeni na pričujoči razstavi.

Raziskave Instituta za robotiko UM so razvijale nova znanja elektromehanskih aktuatorjev in posebej intenzivno industrijskih mikroračunalnikov. Uporabnost raziskovalnih rezultatov smo preverjali v razvoju industrijskih robotov skupaj z industrijo. Prvi med njimi je bil industrijski varilni robot IVR 10 za Iskro Avtomatiko. Vodenje robota po zvezni trajektoriji je bilo izvedeno z lastnim mikrokrmilnikom, ki je uporabljal samostojno razvit robotski jezik.

Posebej odmevne raziskovalne rezultate smo dosegali v razvoju industrijskih krmilnikov, od začetkov 8-bitnih prek 16-bitnih ter transputerskih in digitalnih signalnih procesorjev. Industrijske robote smo razvijali za industrijo, med drugim za železarni Ravne in Štore, industrijske krmilnike za orodne stroje pa za Iskro Avtomatiko in Gorenje Point. Dosežke smo predstavljali na sejmih elektronike v Ljubljani, na razstavi tehnoloških dosežkov Technova v Gradcu, kjer smo leta 1991 osvojili plaketo, in na Industrijskem sejmu v Hannovru (1992).

Opisani rezultati in dosežki so bili mogoči v času, ko sta bila znanost in posebej tehnološki napredek gonilna vzvoda slovenskega gospodarstva. Podpirali sta ju republiška politika vzgoje mladih raziskovalcev in seveda sodobno organizirano poklicno tehniško izobraževanje. Danes so v Sloveniji te povezave prekinjene in vsak deležnik – znanstvena politika, poklicno izobraževanje in storitveno gospodarstvo - deluje samostojno. Veliko vprašanje je, kako bomo nepovezani kos novim izzivom organiziranja družbe v prihodnje!

# **RAZVOJ ROBOTIKE 1985-1990.** ISKRA KIBERNETIKA KRANJ

Rudi Zorko

#### **ROBOTIKA V SLOVENIJI**

Začetki slovenske robotike segajo v konec sedemdesetih let, ko so slovenski raziskovalci z inštitutov in univerz skupaj s strokovnjaki iz industrije razvili prve industrijske robote. V teh ustanovah in podjetjih so bili na ključnih mestih ljudje, ki so doumeli svoje poslanstvo in so delovali v smeri uvajanja robotov in s tem napredek te stroke in gospodarske panoge v Sloveniji.

Ob tem velja za ta čas omeniti sodelovanje slovenskih fakultet in inštitutov z vrhunskimi inštituti v razvitem svetu na področju ustvarjanja tehniških rešitev in uporabe robotizacije. Za izobraževanje in osveščanje splošne javnosti so skrbele strokovne ustanove, revije in tudi elektronski mediji (radio, televizija, internet).

naprej razvijali tisti, ki so v 80. letih predstavljali naslednje panoge:

Od izdelkov, ki so sestavljali prvi Iskrin plan, so se

- telekomunikacije
- merilna, regulacijska in stikalna tehnika
- avto elektrika
- električno ročno orodje
- usmerniki
- kino akustika (opuščena 1971).

Podjetje ISKRA Tovarna za elektrotehniko in finomehaniko, Kranj se je glede na višjo stopnjo tehnološke specializacije leta 1961 preimenovalo v ISKRA Elektromehanika Kranj.

V nadaljevanju je leta 1981 prišlo do reorganizacije, ko se je ISKRA Elektromehanika, Kranj razdelila na tri delovne organizacije, in sicer ISKRA Telematika, ISKRA Kibernetika in ISKRA ERO (električna ročna orodja). Vse tri delovne organizacije so bile članice združenega podjetja ISKRA.

#### **ISKRA**

Iskra Elektromehanika Kranj je nastala 8. 3. 1946 s preimenovanjem tvrdke Strojna tovarna Kranj v novo registrirano podjetje ISKRA Tovarna za elektrotehniko in finomehaniko, Kranj. Na začetku je plan proizvodnje in prodaje temeljil na izdelkih elektrokovinske predelovalne industrije: električni vrtalni stroji, ročni vrtalni stroji, brusilni stroji, avtomati za svedre, ure, kinoprojektorji in ojačevalci, električni števci, rentgenski aparati, radio sprejemniki in mali oddajniki, transformatorji, električni stroji, ključavnice, armaturni deli in drugo.



#### **ROBOTIKA V ISKRI KIBERNETIKI**

S programi, ki so ostali v okviru delovne organizacije, se je snoval srednjeročni program razvoja Iskre Kibernetike. Nastali so pogoji za razvoj robotizacije z vidika potreb po tehnološki opremi kot tudi možnosti za ustvarjanje nove vrednosti in prodaje robotov.

Na tej osnovi smo se povezali s prof. dr. Alojzom Kraljem in sodelavci na Fakulteti za elektrotehniko.

Naše poti strokovnega dela z dr. Alojzom Kraljem so se zbližale pri uresničevanju pomembnih premikov ob uvajanju sprememb klasičnih proizvodnih sistemov v smeri fleksibilnih proizvodnih sistemov. Glede na strukturo proizvodov in tržne deleže, ki smo jih imeli v našem podjetju Iskra Kibernetika, je postalo uvajanje robotizacije objektivna nujnost. V okviru razvojne politike se je Iskra Kibernetika odločila za temeljne tehnološke in tržne cilje s pomočjo avtomatizacije in robotizacije proizvodnje.

Iskra Kibernetika je imela vrhunsko opremljeno lastno orodjarno, v kateri je delovala enota za avtomatizacijo in robotizacijo (EZAR). Na drugi strani je bila ustanovljena Razvojno raziskovalna enota (RRE) na nivoju delovne organizacije. Na vse te vire smo računali, ko smo se odločali za projekt »robotike«.

Pogovori z dr. Alojzom Kraljem in s sodelavci Laboratorija za robotiko na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani so nudili izzivalno priložnost za realizacijo in vstop v robotizacijo s skupnimi in lastnimi močmi. V okviru skupne strokovne skupine smo pripravili tehnično specifikacijo montažnega robota »Roki«, kakršnega smo potrebovali v montažnem okolju proizvodnje. Za produkcijsko okolje mehanskih sestavnih delov smo uporabljali tudi robote vrste ASEA.

V 80. letih prejšnjega stoletja je bil tako v Iskri Kibernetiki skupaj s Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani razvit montažni robot »Roki«. Naj še omenim, da sem strokovno delo po končanem fakultetnem študiju nadaljeval v Iskri Elektromehaniki na področju komponent krmilne (servo) tehnike. Zaradi vsebine dela sem ohranjal stike z nekaterimi profesorji na Fakulteti za elektrotehniko. Po petih letih inženirskega dela sem prevzel vodenje tovarne merilnih naprav v takratni Iskri Elektromehaniki, ki je bila zadolžena tudi za opremljanje z električno tehnološko opremo v Iskri Elektromehaniki.



Pri razvoju in izdelavi robota »Roki« smo v skupino vključili strokovnjake iz različnih strokovnih disciplin (poleg več strokovnjakov iz obeh organizacij naj po spominu omenim le nekatere: prof. dr. Tadej Bajd, prof. dr. Marko Munih, mag. Borut Šolar, dr. Ivan Verdenik, Ivan Čibej, Franc Levovnik, univ. dipl. el. inž., Milan Bavec, univ. dipl. str. inž., mag. Janez Oberstar, Borut Ahačič, Zdravko Debeljak, univ. dipl. str. inž.). Le tako smo lahko obvladali mehanske lastnosti, problematiko prijemanja robota, programske jezike, krmilja, posamezne primere uporabe (med drugim v začetku tamponsko tiskanje in montaža ležajev).

Ko je šlo za uvajanje robotov v Iskri Kibernetiki, smo se soočali z naslednjimi zadregami:

- strah, da bi delavci izgubili delo in službo;

- robotizacija in avtomatizacija, ki se vključujeta v obstoječe proizvodne procese, delujeta zaradi prilagojenih oskrbovalnih in organizacijskih pogojev na prvi pogled moteče;
- težnja po robotizaciji najzahtevnejših postopkov, namesto da bi se lotili monotonih, utrujajočih, napornih, škodljivih, nevarnih ali enostavnih del;
- delo z robotom je bilo počasnejše od človeka itn.

Seveda sva s prof. dr. Alojzom Kraljem nekaj časa pripravljala pogoje za sodelovanje, ki bi dali rezultate. S sodelavci na obeh straneh sva se držala dogovorov in postopno smo osvajali gradnike robota. Povezovanje teorije s prakso me je pri dr. Alojzu Kralju navdušilo, še posebej pa tehtno podajanje argumentov za napredne rešitve.



Leta 1981 sem prevzel naloge direktorja razvoja in programa v Iskri Kibernetiki. V podjetju smo proizvajali nekaj reprezentativno tehnično in količinsko zahtevnih izdelkov (električni števci, električni instrumenti, merilne naprave, stikala itn.) Na nivoju delovne organizacije smo imeli organizirano Razvojno raziskovalno enoto in Razvojno tehnološki center. To nam je pomagalo pri odločitvah za nove izdelke na osnovi novih tehnologij (poleg robota še digitalni osciloskop, elektronski števci električne energije, ultrazvočni defektoskop, računalniški merilni sistemi, itn.).

Robot ROKI-200 je robot, ki je bil v celoti razvit na slovenskih tleh. Namenjen je bil slovenski elektro industriji za montažo lahkih sestavnih delov ter raznim operacijam prestavljanj, paletizacije, privijanja, varjenja, spajkanja ali lepljenja.

Mehaniko robota je razvila Iskra Orodjarna, krmilni sistem pa so razvili raziskovalci Laboratorija za robotiko in biomedicinsko tehniko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Razvoj robota je bil končan leta 1987, sestavljenih je bilo sedem prototipov.

Robot ima štiri prostostne stopnje gibanja, delovni prostor je cilindrične oblike višine 120 mm, sklepi so gnani z enosmernimi elektromotorji, maksimalna nosilnost je 2 kg, maksimalna hitrost gibanja pa 1690 mm/s.

Sposoben je gibanja od točke do točke ter gibanja po poljubni zvezni trajektoriji v delovnem prostoru. Demonstracija predstavlja nalogo pisanja s pisano pisavo. Naloga od robotskega krmilnika zahteva, da zagotovi, da vrh robota sledi trajektoriji, ki je predhodno določena z meritvijo. V tem primeru gre za učenje robotskega gibanja s posnemanjem človeka.

Glede na to, da smo bili izvozno orientirani pretežno v zahodne države, kjer je bila glavnina našega izvoza, je bila to dodatna spodbuda za tehnološke novosti, ki zagotavljajo višjo kakovost in učinkovitost v proizvodnji in s tem omogočajo ohranitev tržnih deležev in uvajanje izdelkov na nove trge.

Iskra Kibernetika je potrebovala robotizacijo proizvodnje, na drugi strani pa je imela tudi lastni potencial za snovanje, razvoj in proizvodnjo robotov. To je bila osnova, da je vodstvo podjetja potrdilo izvajanje del v skladu z načrtom.



#### **MARKETING IN TRŽENJE**

V tistih časih smo jugoslovanski proizvajalci robotike vsako leto prikazovali svoje dosežke na razstavi v Opatiji, imenovani JUROB. Zadnje leto smo z ROKI-jem pripravili sejemsko aplikacijo, kjer je robot posluževal tiskanje majhnih Iskrinih baterij, jih vlagal v naš stroj tampoprint in shranjeval na palete, s pritiskom na gumb pa jih je izročal gledalcu. Delal pa je samo en dan, potem pa so na ukaz jugoslovanskega političnega vrha celo robotsko celico odpeljali na velesejem v Hannover, ker smo tisto leto imeli poseben status prikazovanja jugoslovanskega tehničnega razvoja. Tako smo imeli čast, da je baterijo iz naše robotske celice prejel tudi nemški kancler Helmut Kohl. Imeli smo tudi začetek komercialnega uspeha. Neko podjetje iz Skandinavije je hotelo naročiti 30 robotov, vendar naročila nismo hoteli prevzeti. Menili smo, da je stvar preveč profesionalna, da bi jih lahko dobavili brez zahtevnejših preskusov na osnovi prototipa. Po povratku domov smo sklenili, da takoj izdelamo 10 robotov in jih instaliramo na 10 najzahtevnejših mestih v naših proizvodnjah.

Takoj smo lansirali nabavo in proizvodnjo in začeli iskati aplikacije. Obenem smo se povezali tudi s tovarno podobnih SCARA robotov v IBM z namenom razširitve ponudbe.

Leta 1990 je prišlo do gospodarske blokade znotraj Jugoslavije, prekinitve trgovinskih odnosov in razpada države. Po osamosvojitvenih vojnah na področju nekdanje Jugoslavije so bile velike težave v gospodarstvu. ISKRA je v obliki, kot je bila, razpadla. Sledila je privatizacija in pomembne programske spremembe.

Robotika v Sloveniji je po letu 1991 zaživela najprej v uporabi pri sodobnih proizvodnih procesih novih tovarn. V sodelovanju s tujimi partnerji in slovensko znanstveno stroko je prišlo do pomembnega deleža ustvarjanja novega dela družbene vrednosti s programom robotike.

#### VIRI IN LITERATURA

- 1. Arhiv Iskra
- ZGODOVINA SLOVENSKE ROBOTIKE, Tadej Bajd in Jadran Lenarčič.
- 3. Iskra: Industrija za telekomunikacije, elektroniko in elektromehaniko Kranj, Zbornik ob 35-letnici, Kranj 1982.
- 4. Iskra 1946 1976, Zbornik ob 30-letnici, Kranj 1976.

#### SPLETNI VIRI

https://en.wikipedia.org/wiki/George\_Devol https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\_Engelberger https://sl.wikipedia.org/wiki/Karel\_%C4%8Capek http://www.fe.uni-lj.si/aktualno/novice/2019040310313428/

#### **ROBOTSKI SISTEM CORBYS**

#### prof. dr. Zlatko Matjačić

Robotski sistem CORBYS je nastal v sklopu projekta 7. okvirnega programa EU z naslovom Cognitive Control Framework for Robotic Systems (CORBYS), v katerem je kot partner sodeloval Univerzitetni rehabilitacijski inštitut – Soča (URI Soča). Koordinator projekta, v katerem je sodelovalo 11 partnerjev iz šestih evropskih držav, je bila Univerza v Bremnu (Nemčija).

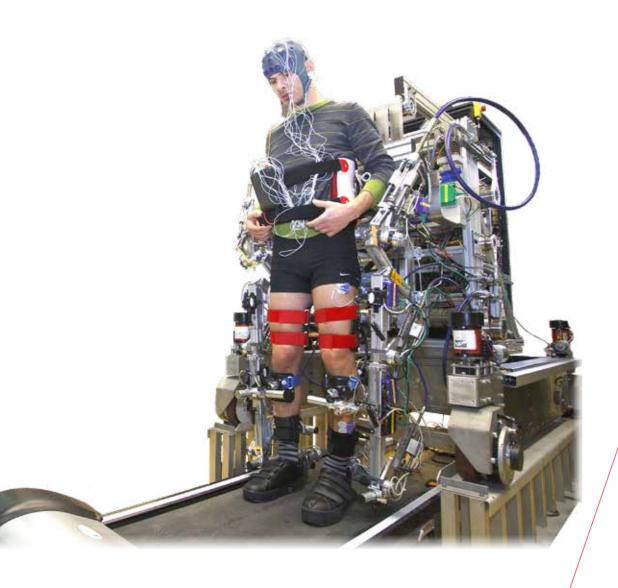
Projekt CORBYS je obravnaval robotske sisteme, ki imajo simbiotično povezavo s človekom, kar pomeni, da morajo biti takšni robotski sistemi sposobni avtonomno delovati v dinamičnih okoljih, ki vključujejo interakcijo s človekom. Glavni namen projekta je bil razvoj okvirja vodenja omenjenih robotskih sistemov, ki vključujejo multisenzorne sisteme za percepcijo dinamičnega okolja in ki so nameščeni tako na človeku kot tudi robotu. Ustrezna obdelava signalov ter senzorna fuzija omogočata skozi ustrezno delovanje sistema vodenja določeno mero kognitivnih sposobnosti robota, ki so potrebne za adaptivno spreminjanje robotove interakcije s človekom. Osrednji del projekta sta predstavljala razvoj in evalvacija demonstracijskega mobilnega robotskega sistema, ki omogoča rehabilitacijo hoje na tekočem traku.

Projekt CORBYS je bil sestavljen iz desetih delovnih sklopov (DS). Prvi je bil namenjen vodenju in administriranju projekta. V drugem delovnem sklopu smo partnerji identificirali zahteve uporabnikov ter začrtali specifikacije za razvoj različnih podsistemov robota CORBYS, ki je namenjen urjenju hoje. Tu smo imeli pomembno vlogo raziskovalci z URI Soča, saj

smo odločilno prispevali tako k zasnovi kinematike mehanizma eksoskeleta kot tudi k zasnovi različnih načinov delovanja robota CORBYS, ki so potrebni z vidika urjenja hoje pri ljudeh z različnimi nevrološkimi okvarami. Predlagali smo vsebino dveh načinov delovanja, ki smo ju poimenovali »Learning mode« in »Corrective mode«. V tretjem DS je konzorcij razvil senzorne sisteme, ki so nameščeni na človeku (brezžični EMG sistem za merjenje mišične aktivnosti izbranih mišic med hojo, senzor za merjenje naklona trupa ter EEG senzor za zajem in oceno stanja osredotočenosti človeka na hojo) in na robotu (merjenje položajev, hitrosti, pospeškov in sil eksoskeletnega mehanizma). Četrti in peti DS sta bila namenjena razvoju kognitivnega okvirja vodenja robota CORBYS. Prvi kognitivni modul je imel nalogo spremljati hojo človeka v eksoskeletu v načinu »Learning mode«, se naučiti njegove kinematike hoje in kinematike hoje, ki je nastala kot posledica fizične interakcije med hodečo osebo in fizioterapevtom, ki je med hojo človeka v robotu CORBYS po tekočem traku popravljal določene vidike patološke hoje. V drugem načinu delovanja robota CORBYS »Corrective mode« je prvi kognitivni modul v realnem času podajal optimalne referenčne trajektorije, ki jih je začrtal terapevt, po katerih naj bi se gibal človek v eksoskeletu robota CORBYS. Naloga drugega kognitivnega modula pa je bilo spremljanje kvalitete sledenja referenčnim trajektorijam ter spremljanje avtomatskega spreminjanja nivoja mehanske podpore, ki jo motorizirani eksoskelet nudi človeku med hojo.

Šesti DS je bil posvečen razvoju sistema vodenja posameznih motoriziranih stopenj prostosti eksoskeleta, sedmi pa je bil osredotočen na razvoj in izdelavo eksoskeleta, motornih pogonov ter motorizirane omni-direkcionalne platforme robota CORBYS. V osmem DS je potekala zelo zahtevna integracija vseh sklopov robota CORBYS in obeh načinov delovanja (»Learning mode« in »Corrective mode«). URI Soča je bil nosilni partner devetega DS, ki se je nanašal na eksperimentalno in klinično evalvacijo robota CORBYS. V dobrih dveh mesecih smo uspeli sistem preizkusiti in demonstrirati delovanje vseh podsistemov na eni zdravi osebi ter osebi po preboleli možganski kapi.

Razviti robot CORBYS je v prvi vrsti izjemno napreden raziskovalni prototip, ki omogoča testiranje različnih novih pristopov k urjenju hoje po nevrološki okvari. Ker je robot CORBYS v vseh pogledih preveč kompleksen, ni pričakovati nadaljnjega razvoja v smislu novega produkta. Vendar pa so različni razviti podsistemi, v prvi vrsti kinematika razvitega eksoskeleta, zelo zanimivi za implementacijo v enostavnejših sistemih.



# KAREL ČAPEK IN R.U.R.

# TOVARNA RAZUMA IN STOLETJE UNIVERZALNIH ROBOTOV

#### Katarina Batagelj

Osnovno gibalo človeškega življenja je poleg golega preživetja tudi delati tisto, kar nas veseli, zato že od pradavnine razmišljamo, kako bi si olajšali delo, ki ni le nenehno utrujajoče prizadevanje, ampak naša osnovna, bistvena potreba.

Sočasno s tehnološkimi izumi in osvobajanjem od utrudljivega in težaškega dela, ki povzroča bolečine, izgubljamo del svoje primarne delavnosti, aktivnosti in sposobnosti za preživetje.

Kako naj bi si torej olajšali delo in obenem ohranili in spodbujali svoj telesni in miselni razvoj? Ali je to sploh mogoče?

Človeška narava je namreč nepredvidljiva. Nikoli nismo popolni in ni mogoče vnaprej določiti, kakšna bosta naš značaj in življenje. Ampak koliko lažje bi nam bilo, če bi imeli predvidljivega in zanesljivega pomočnika, ki ne zahteva veliko naše pozornosti! Načrtujmo in sestavimo ga, da bo delal po spominu ter po naših željah in načrtih! Kako pameten naj bo?

Kaj pa njegov razum, ki je univerzalna nadgradnja pameti in spomina, nadvse pomembna človeška sposobnost vključevati, sprejemati v zavest in ugotavljati vzročne in logične povezave?

Je sploh mogoče skonstruirati razumnega človekovega pomočnika za opravljanje raznovrstnih nalog?

Pod vplivom tehničnega razvoja v Rusiji je konstruktivizem med obema vojnama vplival tudi na umetnosti in arhitekturo.

Kritiko kolektivnega vpliva tehnicizma in univerzalnih izumov lahko zaznamo v razmišljanju Karla Čapka, ko je pisal prelomno dramsko besedilo, ki so ga kmalu igrali na vseh pomembnih svetovnih gledaliških odrih. Odzvanjali sta mu besedi v rodni češčini za težko tlačansko delo in razum, katerih korenine segajo v staro cerkveno slovanščino – RABOTA, ROSSUM -, da je skupaj z bratom Josefom, s katerim sta bila zelo povezana, prvič »skoval« besedo ROBOT, ki se je uveljavila po vsem svetu. Zapisal jo je v svoji kolektivni socialno-utopični drami R.U.R. (Rossum's Universal Robots – Kolektivní drámá o vostupní komedii `atřech aktech). Drama je izšla leta 1920 pri praški založbi Aventium. V slovenščino jo je že naslednje leto prevedel Osip Šest in jo leta 1922 tudi režiral v tedanjem Narodnem gledališču v Ljubljani. Naslov knjige, ki jo je je natisnila in založila Zvezna tiskarna v Ljubljani, je ostal popolnoma enak, poslovenil je le podnaslov: Kolektivna drama v treh dejanjih s predigro.

Kritika predstave v časopisu Slovenski narod je pozitivna, a nakazuje strah pred tehnološkim razvojem v prihodnosti in vzdušje, ki gledalca pospremi iz dvorane: Gledalec gre domov poražen, kakor če se zbudi iz dramatično stopnjevanih hudih sanj (Slovenski narod, 1922).

Vsebinska zasnova drame kaže, da avtorja ne zanima le prelomno tehnično odkritje, temveč njegov vpliv na družbo in človeka. Čapku ni šlo za robote, ampak za razmerje človeka do sveta in predvsem za odnose med ljudmi. Vplival je tudi na Srečka Kosovela, ki je v zbirki Integrali v pesmi Kons 1 med drugim zapisal: ... Ljudi se ne da mehanizirati. V mehaniki ni kulture. Učite se od zgleda: Karel Čapek <sup>e</sup>R U <sup>e</sup>R. .... (Kosovel, 1967).

Dvajseto stoletje je postalo doba tehnologije. Seveda jo vsi uporabljamo: vozimo se z avtomobili, vlaki in letali, vsak dan gledamo televizijske oddaje, plešemo na reproducirano glasbo.

In morda se sploh ne zavedamo, da s tem v življenju ne le pridobivamo in si ga bogatimo, ampak tudi

 $\frac{1}{2}$ 

3.

veliko izgubljamo, smo siromašnejši. Zagotovo se z avtomobilom vozimo hitreje, kot hodimo peš. Ampak ali lahko takšno potovanje nadomesti spomladanski sprehod? Televizija nam omogoča, da v miru gledamo program po lastni izbiri, kadar se nam zahoče. To je res prijetno, zabavno in kratkočasno. Posneta glasba je lahko popolna. Vendar, ali bo naprava nadomestila stik z živim glasbenikom? Ali naša identiteta, raznolikost, aktivnost, lastna pobuda, neposreden odnos z naravo in drugimi ljudmi ne izginjajo iz naših življeni?

Karel Čapek je nekoč napisal smešno kolumno o tem, kako je kupil švedski sesalnik. Opiše svoje navdušenje nad njegovo tehnično dovršenostjo in nato upodobi različne težave, ki jih delovanje in vzdrževanje naprave prinaša njenemu lastniku. Na koncu ni več prepričan, ali ima on oblast nad sesalnikom ali sesalnik nad njim (Holý, 1983).

Če ste lastnik robotskega sesalnika, vam je takšna zgodba morda domača.

Tudi drugi človeški izumi in organizacije, ki jih človek ustvari za zadovoljevanje svojih potreb, lahko sčasoma postanejo breme. Človek lahko postane odvisen od njih. Naprave lahko celo same nadzorujejo človeka ali živo človeško bitje spremenijo v mehanizem, nenaraven stroj, brez kreativnosti in vseh drugih človeških lastnosti. Če zanemarimo človeško srce in čustva, lahko postanemo sužnji naših genialnih dosežkov. Roboti so prispodoba našega mehaniziranega in nehumanega življenja.

Čapek v svoji drami gospodarju Dominu v usta položi besede: Bencinov motor ne rabi obeskov in okraskov ... A izdelovanje umetnih delavcev je enako izdelovanju bencinovih motorjev.

Izdelovanje naj bo čim najenostavnejše, a izdelek praktično najboljši. Kaj mislite, kakšen delavec je praktično najboljši? ... (Čapek, 1922).

... tisti, ki je najcenejši. Tisti, ki ima najmanj potreb. Mladi Rossum je iznašel delavca z najmanjšimi potrebami. Moral ga je poenostaviti. Zavrgel je vse, kar ne služi naravnost delu. Na ta način je pravzaprav zavrgel človeka, a naredil Robota. ... Roboti niso ljudje. Mehanično so popolnejši od nas, imajo silno inteligenco razuma, a nimajo duše. ... inženirski izdelek je tehnično bolj dovršen kot izdelek prirode. ... (Čapek, 1922).

Ali bi tovarni R.U.R. sploh lahko zamerili masovno produkcijo robotov, saj ... v desetih letih pridelajo Rossumovi Universalni Roboti toliko pšenice, toliko blaga, toliko vsega, da lahko porečemo: stvari nimajo več cene. Zdaj si vsak vzemi, kolikor potrebuješ. Ni več bede. Da, brez dela bodo. Toda dela sploh več ne bo. Vse bodo naredili živi stroji. Človek bo delal le to, kar mu bo ugajalo. Živel bo svobodno, da bi se izpopolnjeval. ...(Čapek, 1922).

Na razstavo s pomenljivim naslovom ROBOT.SI, ki spominja na del spletnega naslova ali pa nas izziva, da postajamo roboti, vstopamo skozi pisarno izmišljene tovarne R.U.R., ki smo jo poustvarili po scenografskih navodilih Karla Čapka z nekaterimi originalnimi eksponati iz dvajsetih let 20. stoletja in rekonstruiranimi elementi. Med razstavljenimi eksponati se nam odpira tovarniški svet s prikazom zgodovinskega razvoja nekaterih mehanskih naprav in avtomatov ter začetki robotike, s poudarkom na industriji.

Medicinski robot – pomočnik pri učenju hoje – pa naj nam bo izhodišče za končni razmislek o tem, kako bosta sodelovala in stopala v prihodnost človeški in robotski podmladek in v čigavi domeni bo razum.

#### LITERATURA

- Čapek, Karel (prev. Osip Šest): R. U. R.: Rossum's Universal Robots: kolektivna drama v treh dejanjih s predigro, Zvezna tiskarna, Ljubljana 1921.
- Holý Jiří, spremna beseda v: Čapek, Karel, , Lupežník, R.U.R. Rossums Universal Robots, Bilá nemoc, Češkoslovenský spisovatel, Praga 1983, str. 315-334.
- Kosovel, Srečko: Integrali '26, Cankarjeva založba, Ljubljana, 1967. https://sl.wikisource.org/wiki/Kategorija:Integrali\_%2726
- M., Z.: R.U.R. (Druga dramska premijera), Slovenski narod, Ljubljana, 13.3.1922, Štev. 233, str. 3.
- Lukan, Blaž (ur.): 500 dramskih zgodb : vodnik po svetovni in domači dramatiki, Mladinska knjiga, Ljubljana 1999, str. 107- 108.

#### SPLETNI VIRI

 $https://fran.si/193/marko-snoj-slovenski-etimoloski-slovar/4291429/robt?FilteredDictionarylds=193\&View=1\&Query=robot \\ https://fran.si/193/marko-snoj-slovenski-etimoloski-slovar/4291217/razm?FilteredDictionarylds=193\&View=1\&Query=razum \\ https://fran.si/193/marko-snoj-slovenski-etimoloski-slovar/4291217/razm?FilteredDictionarylds=193\&View=1&Query=razum \\ https://fran.si/193/marko-snoj-slovenski-etimoloski-slovenski-e$ 

# ROBOTI.SI - RAZSTAVA O ZAČETKIH SLOVENSKE INDUSTRIJSKE ROBOTIKE

#### **ROBOT ALI AVTOMAT**

Beseda robot je nastala pred 100 leti, ko še ni bilo nobenega pravega delujočega robota. Vse od antičnih časov pa so se na različnih koncih sveta pojavljale vsemogoče, bolj ali manj domiselne in zapletene naprave, ki so znale izvajati določena opravila.

V začetnih obdobjih razvoja sta se torej pojma avtomat in robot prekrivala. Do jasne razmejitve je prišlo šele potem, ko so roboti začeli delati v praksi. Avtomat je naprava, ki samodejno izvaja zaporedje vnaprej določenih operacij ali se odziva na določene zunanje dražljaje.

Robot je naprava, ki jo upravlja elektronski računalnik in lahko samostojno izvaja zaporedje kompleksnih dejanj. Njen mehanski del mora imeti vsaj tri prostostne stopnje gibanja (motorje).

Avtomat je torej naprava, ki nekaj počne samostojno in lahko celo zaznava sporočila iz okolice. A če želimo, da počne kaj drugega, moramo poseči v njegovo zgradbo ali v celoti spremeniti konstrukcijo. Sodobnejši avtomati, kot so na primer glasbene skrinje, ponujajo možnost sprememb z izmenljivimi ploščami ali valji. Vendar gre tu le za spremembo izhodnega zvoka, medtem ko notranje delovanje avtomata ostaja nespremenjeno. Vse naprave, izdelane pred obdobjem digitalnih računalnikov, so torej avtomati.

Robot je naprava, ki jo upravlja elektronski računalnik in lahko samostojno izvaja zaporedje kompleksnih dejanj.

Njen mehanski del mora imeti vsaj tri prostostne stopnje gibanja (motorje).

Iz same definicije sledi, da ima robot dva osnovna sestavna dela. Mehanski del se giblje in v praksi izvaja dejanja, za katera je bil izdelan. Kontrolni del je digitalni računalnik, ki daje navodila mehanskemu delu, nadzoruje njihovo izvajanje in prek senzorjev pridobiva druge informacije iz okolja. Vso to množico podatkov sproti obdeluje in nato sprejema odločitve o nadaljnjih postopkih. Kontrolni del je predvsem pri večjih in zmogljivejših robotih zunanja naprava, ki pogosto vključuje tudi napajanje mehanskega dela, pri manjših sistemih pa je lahko vgrajen v notranjost

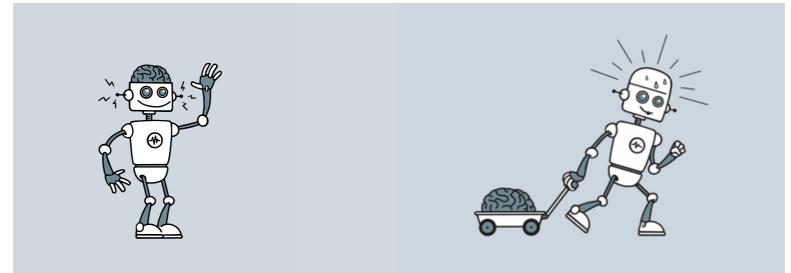
Ni pa vsaka naprava, ki je povezana z računalnikom, že robot, saj definicija postavlja določene omejitve tudi glede gibalnih sposobnosti. Robot mora biti zmožen vsaj treh med seboj neodvisnih načinov gibanja. To gibanje je lahko linearno (naprej – nazaj, gor – dol, levo – desno) ali rotacijsko (vrtenje levo – desno okrog različnih osi). V praksi to pomeni, da mora imeti robot vsaj tri motorje za pogon teh različnih načinov gibanja.







Lajna je avtomat za igranje glasbe.





Sodobni roboti se močno razlikujejo med sabo. Oblika je popolnoma podrejena namenu, za katerega je robot izdelan. Humanoidni roboti, ki spominjajo na človeka, so danes bolj redki, ker so enostavnejše naprave za izvajanje specifičnih nalog bolj prilagojene in cenejše za izdelavo.

Zgodovinsko dejstvo je, da so se roboti najprej uveljavili v industrijski proizvodnji. Serijska izdelava na tekočem traku je zaporedje ponavljajočih se operacij, od katerih je veliko dovolj enostavnih, da človeka lahko nadomesti stroj.

Prednost robota pred človekom je natančnost in ponovljivost njegovih dejanj, se ne utrudi, nima težav s koncentracijo, ne dela naključnih napak in ima posledično neomejen delovni čas. Najprej so se roboti uveljavili v avtomobilski industriji in še danes jih je tam »zaposlenih« največ. Osnovni motiv za hitro rast števila robotov v proizvodnji je danes pogosto ekonomske narave, saj so na marsikaterem delovnem mestu postali cenejši od človeka.













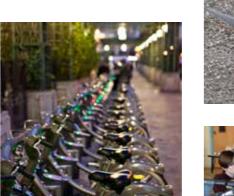






V medicini so postali učinkovit pripomoček pri zahtevnih operacijskih posegih in v procesu rehabilitacije bolnikov po akutnih boleznih ali poškodbah. Tudi v vsakdanjem življenju postajajo avtonomni pripomočki (sesalniki, kosilnice ipd.) vse bolj priljubljeni. Avtonomna vozila so sicer še stvar prihodnosti, v primerih večjih nesreč in vojaških spopadov pa so se avtonomni letalniki (droni) že izkazali kot zelo učinkoviti.















# 4.

#### **KRATKA ZGODOVINA ROBOTOV**

# OD VODNE URE DO LEONARDA

Prve mehanske naprave so se pojavile v antični Grčiji. Večinoma so bile to ure ali glasbeni instrumenti, ki sta jih poganjali voda ali vodna para. Zapise o podobnih napravah in tudi humanoidnih avtomatih najdemo tudi na Kitajskem in v Indiji.

Leta 1088 je kitajski učenjak in državnik Su Song postavil 13 metrov visok stolp, v katerem je voda poganjala veliko astronomsko kroglo, nebesno kroglo, uro in množico manjših figuric, ki so z udarjanjem po različnih tolkalih označevale čas. Zapleten mehanizem vsebuje tudi prvo znano uporabo neskončne verige za prenos vrtilne energije.

V zlati dobi islamske znanosti, ki je trajala od 8. do začetka 14. stoletja, so številni učenjaki nadgradili grške zamisli. Glavni poudarek je bil na praktični uporabi avtomatov.

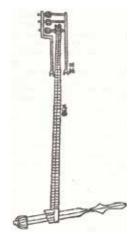
Vsestranski izumitelj Ismail Al-Jazari je zgradil vodno gnano napravo za dvigovanje in oskrbo z vodo, mehanske ure, avtomatska vrata, humanoidno napravo za postrežbo čaja in avtomat za pranje rok z mehanizmom, kakršen je še danes v uporabi v kotličkih za splakovanje stranišč. Izpopolnjena verzija avtomata vključuje humanoidnega služabnika, ki postreže milo in brisačo.

V svojih napravah je prvi uporabil princip odmične in ročične gredi. Izdelal je tudi več avtomatov za predvajanje glasbe.

Na temelju teh dosežkov je Leonardo da Vinci v 15. stoletju ustvaril podrobne načrte za humanoidnega robota, ki pa ga ni izdelal.



Su Songova astronomska stolpna ura (l. 1088)



Prva znana upodobitev neskončne verige iz knjige kitajskega izumitelja Su Songa (l. 1092)



Avtomat za pranje rok s splakovalnim mehanizmom iz knjige izumitelja Al-Jazarija (l. 1206)



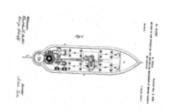
Avtomat s podajalnikom za milo in brisačo iz knjige izumitelja Al-Jazarija (l. 1206)



Mehanski vitez – robot izdelan po načrtih Leonarda Da Vincija (l. 1497)

#### OD TESLE DO PRVEGA INDUSTRIJSKEGA ROBOTA

V naslednjih stoletjih so izpopolnili predvsem avtomate za urne mehanizme in samodejno izvajanje glasbe, naslednji korak pa je bilo daljinsko upravljanje, še posebej brezžično, pri katerem je pomembno vlogo odigral tudi Nikola Tesla.



Patent Nikole Tesle za daljinsko upravljanje plovila (No. 613.809, 1898)



Plovilo na daljinsko upravljanje po načrtih Nikole Tesle

Skoraj istočasno z Elmerjem in Elsie se je na drugi strani Atlantika razvila CNC (Computer Numerical Control) tehnologija za upravljanje obdelovalnih strojev. Na tem področju je povzročila pravo revolucijo. Uvedla je tudi koncept mehanske naprave, ki jo upravlja računalnik. Ta se je hitro uveljavil tudi v robotiki.



Prva CNC naprava na ozemlju takratne države v laboratoriju LAKOS Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani (70. leta 20. stoletja)

Začetek 20. stoletja je prinesel vrsto humanoidnih robotov, ki niso počeli nič koristnega, so pa znali izvajati nekaj enostavnih dejanj. Po izumu gramofona v dvajsetih letih so tudi »spregovorili«.

Prvi resnično avtonomni napravi s konca štiridesetih let 19. stoletja – Elmer in Elsie (akronima ELectro MEchanical Robots, Light Sensitive) – pa sta plod dela Williama Greya Walterja. Pogosto ju imenujejo želvi. Na podlagi zaznavanja svetlobe sta znala najti pot do polnilne postaje. Želvi sta bili analogni napravi, digitalna tehnologija pa je na področju robotike odprla nova obzorja.



William Grey Walter z enim od svojih robotov

Le nekaj let je bilo treba počakati do razvoja prvega robota, ki ga je bilo mogoče programirati. George Devol je leta 1954 patentiral robota Unimate, ki je 1961 pričel z delom v tovarni podjetja General Motors in tako postal prvi industrijski robot na svetu.



Prvi industrijski robot Unimate

#### **ROBOTIKA V SLOVENIJI**

#### **PRVI KORAKI**

Začetki industrijske robotike v Sloveniji segajo v pozna sedemdeseta leta prejšnjega stoletja, ko so sodelavci Odseka za avtomatiko in biokibernetiko na Institutu Jožef Stefan pričeli sodelovati z Institutom »Mihajlo Pupin«. Razvili so industrijskega robota UMS-2, pri čemer je Institut »Jožef Stefan« (IJS) prispeval mikroračunalniški sistem s programsko opremo za manipulator, ki ga je razvil Institut »Mihajlo Pupin«, izdelala pa zemunska tovarna Teleoptik.

Institut Jožef Stefan se je povezal s TGA Gorenje in v naslednjih letih je nastala serija robotov GORO, ki so v proizvodnem procesu nadomestili delavce na najbolj zahtevnih in zdravju škodljivih delovnih mestih.

Razvoj prvega robota GORO 1 se je pričel leta 1979 in robot je po manj kot dveh letih začel poskusno obratovati v proizvodnji.



Industrijski robot UMS-2



Sodelavci IJS in Instituta Mihajlo Pupin



Prvi slovenski industrijski robot GORO 1

#### **GORO 1**

#### ROBOTSKA ROKA

Inventarna številka:	EG0005304
Letnik:	1980
Izvor:	SLOVENIJA/IJS/GORENJE
Mere:	A=10 CM; B=9CM; V=14CM
Naloge:	BARVANJE



Goro 1, Foto: Jaka Blasutto

#### **GORO 1**

#### UPRAVLJALSKA ROČICA

Inventarna številka:	EG0005304
Letnik:	1980
Izvor:	SLOVENIJA/IJS/GORENJE
Mere:	A=10CM; B=10CM, V=13CM
Naloge:	BARVANJE



Predmeta je Tehniškemu muzeju Slovenije posodil dr. Leon Žlajpah (IJS).

#### **SERIJA ROBOTOV GORO**

Po uspešnem preizkusu prvega robota se je sodelovanje med Institutom Jožef Stefan in tovarno Gorenje nadaljevalo. Robot je uspešno nadomestil človeka pri rutinskih opravilih, ki potekajo v težkih in zdravju škodljivih delovnih pogojih. Se ne utrudi, ne dela napak in njegov delovni čas je praktično neomejen.

Zaposleni v podjetju so nove »sodelavce« kljub začetnim pomislekom dobro sprejeli. Hidravlični robot GORO 102 je leta 1984 nasledil prvega robota iz serije. Izdelava je potekala v Gorenju in več primerkov so uporabili v procesu površinske zaščite (emajliranja) v proizvodnji bele tehnike. Za tega robota so razvili tudi novo programsko opremo krmilnika, poimenovano K-102, ki je temeljila na 8-bitnem mikroprocesorju.



#### **ROBOT GORO 102**

Inventarna številka:	XX	
Letnik:	XX	
Izvor:	XX	
Mere:	XX	
Naloge:	XX	



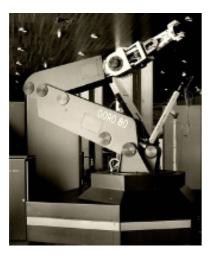
Hidravlični robot GORO 102 je leta 1984 nasledil prvega robota iz serije. Izdelava je potekala v Gorenju in več primerkov so uporabili v procesu površinske zaščite (emajliranja) v proizvodnji bele tehnike. Za tega robota so razvili tudi novo programsko opremo krmilnika, poimenovano K-102, ki je temeljila na 8-bitnem mikroprocesorju.



GORO 103, modifikacija GORA 102 s popolnoma novo kontrolno enoto K-103 in drugačno roko, je v tovarni Gorenje opravljal nalogo strege 250-tonske stiskalnice.



Odziv zaposlenih v Gorenju na robotizacijo v podjetju (Novice IJS)



Hkrati s serijo robotov GORO, ki jih je izdelovalo Gorenje, so na IJS izdelali robot GORO 80, ki je bil namenjen manipulaciji večjih bremen v kovaški industriji.



Hidravlični robot GORO 102



Stefan 130, nadgradnja GORA 80, je bil razvit leta 1987. Preizkusili so ga pri točkastem varjenju v tovarni IMV, od 1990 pa je delal kot strežnik 15-tonski stiskalnici v tovarni CIMOS na liniji za izdelavo vztrajnikov.

#### **ROBOT GORO 201**

Inventarna številka:	800:LJU;0003926
Letnik:	1993
Izvor:	SLOVENIJA/ GORENJE V SODELOVANJU Z IJS
Mere:	A= 125CM, B=180CM, C= 160, 500KG
Naloge:	NANAŠANJE BARV IN LAKOV Z BRIZGANJEM

Robot GORO 201 iz leta 1993 je bil namenjen nanašanju barv in lakov z brizganjem v eksplozivni atmosferi. Robot ima sodobnejši mehanizem in kontrolno enoto, ki deluje na osnovi 16/32 bitnega Motorolinega mikroprocesorja. Robot, tako kot vsi predhodniki, pomni časovni potek gibanja in usmeritve brizgalne pištole. S pomočjo senzorjev



prepoznava različne izdelke in izbere primerno, že naučeno nalogo. Hitrost izvajanja operacij se prilagaja hitrosti gibanja predmeta na proizvodni liniji. Učenje poteka tako, da operater s pomočjo ročnega premikanja brizgalne pištole in premikanja mehanike robota opravi brizganje, robot pa si zapomni vse parametre gibanja.

# INSTITUT »JOŽEF STEFAN« USPEŠNO UVAJA ROBOTIKO V INDUSTRIJSKO PROIZVODNJO

Robotizirana celica za

politizacijo STEFAN PAL

1 je bila razvita skupaj s

tovarno SIP Šempeter.

Delovati je začela

leta 1992 v tovarni

Kolinska v obratu

Knorr, kjer so se različni

proizvodi avtomatično

transportirali, sortirali

in zložili na standardne



palete.

V sodelovanju z

Železarno Ravne
je bil razvit 5-ročni
manipulator, namenjen
kaljenju segmentov
v težkih pogojih in
visokih temperaturah,

ki vladajo v metalurški

industriji.



Robotski manipulator za delo na kopirnem lesnoobdelovalnem stroju je bil razvit v sodelovanju z mizarstvom Bolčič iz Klanca pri Kozini.



V letu 1996 so v tovarni
Droga vključili popolnoma
avtomatizirano linijo za
pakiranje čajev.
Ves proces od zlaganja
vrečk v majhne škatle,
tehtanja, označevanja,
pakiranja v večje
škatle in zlaganja na
standardne palete je
potekal pod nadzorom več
računalnikov.

# 4.

#### **RIKO 106**

#### ROBOT ZA ZAHTEVNE NALOGE

#### **RIKO 106**

Inventarna številka:	XX
Letnik:	XX
Izvor:	XX
Mere:	XX
Naloge:	XX

Leta 1986 se je po podpisu pogodbe s tovarno Riko iz Ribnice na Institutu Jožef Stefan začel razvoj novega robota RIKO 106. Prvi robot s pogonom z elektromotorji je bil namenjen zahtevnim nalogam v procesu obločnega varjenja in sestavljanja izdelkov. Hkrati so na podlagi mikroprocesorja Motorola 68020 razvili tudi nov krmilni sistem STEFAN 106.

Prva dva prototipa sta bil izdelana leta 1987. Opremljena z 2D sistemom strojnega vida sta bila uporabljena v proizvodnji; prvi za varjenje in drugi za manipulacijo. Tovarna Riko je nato izdelala serijo desetih robotov in sistemov za varjenje oziroma manipulacijo, a do redne serijske proizvodnje zaradi političnih pretresov v začetku 90. let prejšnjega stoletja ni prišlo.



Električni členkasti robot Riko 106

## **RIKO 106**

Inventarna številka:	800:LJU;0003927
Letnik:	1987
Izvor:	SLOVENIJA/ RAZVIJE IJS, IZDELUJE RIKO RIBNICA
Mere:	A=45 CM, B= 130 CM, C= 145CM, 500KG
Naloge:	VARJENJE



RIKO 106, Foto: Jaka Blasutto

#### **UNISOP**

#### MARTIN KRPAN MED ROBOTI

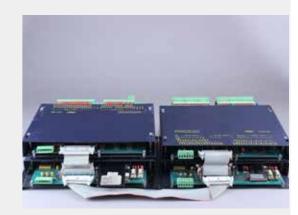
## UNISOP



Podoben sistem, le da je bil namenjen pretovoru plastičnih zabojev s steklenicami olja, je bil nameščen še v Oljarici Kranj.

Inventarna številka:	800:LJU;0005972
Letnik:	1991
Izvor:	SLOVENIJA/ Podjetje INEA
	v sodelovanju s podjetjem SOP
Mere:	XX
Naloge:	ZLAGANJE ALI RAZKLADANJE SODOV
	(Pivovarna Union in Oljarica) Ohranjen je dvodelni krmilnik
	(programski in komunikacijski)
	s programatorjem, promi in epromi.

Podjetje INEA, v katerega so se preselili nekateri zaposleni iz odseka R2 na Institutu »Jožef Stefan«, se je v povezavi s podjetjem SOP iz Krškega lotilo proizvodnje naprav za paletizacijo. Prvi proizvod so prodali na Češkoslovaško (pivovarni Hurbanovo). Leta 1987 je Pivovarna Union naročila napravo za paletizacijo sodov. SOP je ob sodelovanju Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani izdelal mehanski del, INEA pa je prispevala krmiljenje. Dva sistema, imenovana UNISOP, sta v pivovarni začela delovati leta 1991, eden je bil namenjen razkladanju praznih sodov na linijo za pranje, drugi pa zlaganju polnih na palete. Sistema sta delovala do leta 2006.



UNISOP - kontrolni del, foto: Jaka Blasutto

## **PROGRAMATOR UNISOP**







UNISOP - programator, Foto: Jaka Blasutto



## 4.

# ROBOTIKA NA FAKULTETI ZA ELEKTROTEHNIKO UNIVERZE V LJUBLJANI

#### **ROKI** - ZASNOVAN ZA OPRAVLJANJE NATANČNIH DEL

Robot ROKI je plod sodelovanja Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in Iskre Kibernetike. V slovenski elektroindustriji je bil namenjen montaži lahkih sestavnih delov in drugih opravil, kot so manipulacija, paletizacija, privijanje, varjenje, spajkanje ali lepljenje. Razvoj se je pričel v letu 1981.

Mehaniko robota je razvila Iskra Kibernetika, krmilni sistem pa raziskovalci Laboratorija za robotiko in biomedicinsko tehniko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Izdelava je potekala v Iskri Orodjarni. Sestavljenih je bilo sedem prototipov, razvoj robota pa so zaključili leta 1987.

Prvi robot je začel delati 1987 v Iskrini tovarni števcev, kjer je služil za obdelavo ohišij indukcijskih števcev.

Razvoj robotov se ni nadaljeval, ker je bil nakup serijsko proizvedenih robotov iz tujine cenovno ugodnejši, se je pa širila njihova uporaba v proizvodnji. Domači strokovnjaki so se usmerili predvsem v razvoj aplikaciji za potrebe industrije.

Sodelavci Laboratorija za robotiko in biomedicinsko tehniko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani so za Iskrino tovarno polprevodnikov v Trbovljah razvili aplikacijo za izdelavo polprevodniških mostičkov, ki je temeljila na robotu Seiko. Za merjenje karakteristike diod so razvili poseben merilnik in glede na rezultate je robot diode razporedil na uporabne in neuporabne. Ob koncu je iz uporabnih sestavil mostič iz štirih diod.

#### **ROKI 200**

Inventarna številka:	800:LJU;0007229
Letnik:	1987
Izvor:	SLOVENIJA/ FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO UL
	V SODELOVANJU Z ISKRO KIBERNETIKO
Mere:	A=108 CM, B=84 CM, V=125 CM
Naloge:	OBDELAVA OHIŠIJ INDUKCIJSKIH ŠTEVCEV



ROKI 200, Foto: Dragan Arrigler



Nemški kancler Helmut Kohl si ogleduje Rokija na sejmu v Hannovru 1988.



Spomladi 2002 je ROKI sodeloval na prvi izvedbi Dni elektrotehnike, po tem pa ga je Fakulteta podarila Tehniškemu muzeju Slovenije.



Robot je opravil vrsto postopkov, ki so prej potekali ročno (vrtanje, vstavljanje diod v ploščo, merjenje, razporejanje).



Za Iskro Hipot iz Kranja so razvili robotsko aplikacijo za nanašanje paste pri izdelavi hibridnih vezij za senzorje krvnega tlaka. Zaradi zahtevane visoke natančnosti in majhnih dimenzij je ročno nanašanje v serijski proizvodnji neuporabno.



Robotska celica za montažo elektronskih komponent na tiskana vezja v tehnologiji SMD je v Iskri Industrijski elektroniki začela delati leta 1991.



Robotski manipulator za montažo panelnih plošč za tovarno Trimo Trebnje iz leta 2007.



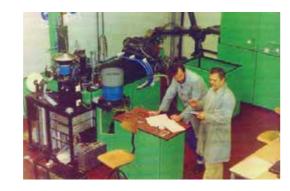
Sredi 90. let prejšnjega stoletja je podjetje IR ROBOTEC v tovarni Iskraemeco postavilo avtomatizirano linijo za sestavljanje električnih števcev. Na liniji je 16 delovnih mest, od katerih je polovica avtomatiziranih, druga polovica pa ročnih.



Robotska celica za montažo pokrova avtomobilskega akumulatorja v Tovarni akumulatorskih baterij Mežica iz leta 1998.

# ROBOTIKA NA FAKULTETI ZA ELEKTROTEHNIKO **NA UNIVERZI V LJUBLJANI**

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je bila leta 1971 ustanovljena Katedra za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo. V laboratoriju s podobnim imenom, skrajšano LAKOS, je v 70. letih začela delovati prva CNC naprava na ozemlju takratne države, v začetku 90. let pa so sami razvili in izdelali modularni sistem CNC strojev LAKOS 250. V laboratoriju so razvili nekaj inovativnih projektov za uporabo v industriji.



Sistem za proizvodnjo alkalnih baterij Iskra Zmaj, ki ga je krmilil mikroprocesor (začetek 80. let 20. stoletja).



Računalniško krmiljen sistem za ožičenje Iskrinih telefonskih central razvit v LAKOSU (70. leta 20. stoletja).



Vstavljalnik za montažo elektronskih komponent v računalniška vezja, ki so ga upravljali s CNC krmilnikom.

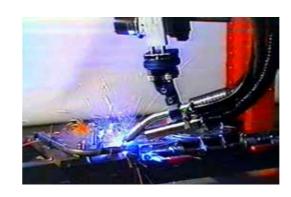
## **ROBOT SCARA FS**

Inventarna številka:	800:LJU;0005972
Letnik:	2011 - 2015
Izvor:	SLOVENIJA/ UNIVERZITETNI INSTITUT ZA REHABILITACIJO SOČA
Mere:	A=300 CM, B= 100CM, C=6 CM
Naloge:	POMOČ PRI REHABILITACIJI ZA PONOVNO UČENJE HOJE

Predmet je Tehniškemu muzeju Slovenije posodila Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani.



# **ROBOTIKA NA FAKULTETI ZA ELEKTROTEHNIKO** IN INFORMATIKO UNIVERZE V MARIBORU



Robotski sistem za varjenje prtljažnikov v tovarni Tomos



Robot YURI za manipulacijo platišč tovornjakov med stiskalnicami





Sistem kontrole laserskega razreza v podjetju Gorenje Point



Krmiljenje za robote in orodne stroje v sodelovanju z Iskro Telo

V Mariboru se je raziskovalno delo na področju robotike začelo ob koncu 70. let prejšnjega stoletja. Osredotočali so se na krmiljenje robotov in avtomatskih sistemov. V uspešnem sodelovanju z industrijo so razvili več aplikacij za različne uporabnike.

Robotski sistem za varjenje IVR so razvili z Iskro Avtomatiko.

> Železarna Ravne je prispevala mehanski del sistema za manipulacijo feritov, ki ga je uporabljalo podjetje Iskra magneti. Leta 1992 je v povezavi z nemškim podjetjem Parssitech potekal razvoj transputerskega krmilja, kjer so razvili sistem s 16-bitnim procesorjem Motorola. Rezultat z izjemno natančnim krmiljenjem kladiva z asinhronskim motorjem so predstavili na industrijskem sejmu v Hannovru. Ta sistem so nato uporabili za raziskovalne robotske krmilnike, za uporabo impedančnega vodenja in vodenja z umetnimi nevronskimi mrežami.

V Železarni Štore so razvili krmilnik za robota IRB100, nosilnosti 100 kg, ki so ga ljubkovalno poimenovali Yuri. Delovanje je bilo uspešno in je pomenilo temelj za prenovo tovarne.

Sistem kontrole laserskega razreza je omogočal enostavno prilagajanje med delom. Pri podjetju Gorenje Point se je izkazal kot zelo učinkovit pripomoček za maloserijsko proizvodnjo.

Izdelali so portalnega robota s kombiniranim krmilnikom – 16-bitni mikroprocesor, 4 procesorski transputerski sistem in osebni računalnik za uporabniški vmesnik.



# **CORBYS** - UČITELJ HOJE

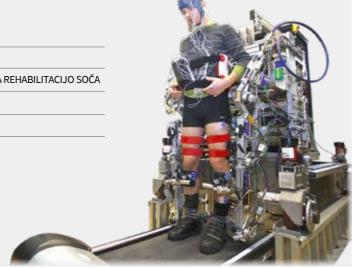
Rehabilitacijski robot CORBYS, predstavljen na razstavi kot najnovejša pridobitev Tehniškega muzeja Slovenije, po svoji namembnosti sodi na področje medicinske robotike. Sistem CORBYS je nastal ob sodelovanju Univerzitetnega instituta za rehabilitacijo Soča, kot enega izmed partnerjev v istoimenskem evropskem projektu, v sklopu 7. okvirnega programa s področja Kognitivni sistemi in robotika. Razvili so sistem, ki

podpira visok nivo sodelovanja med človekom in robotom. Kognitivne sposobnosti vključujejo zavedanje o okolju, učenje, predvidevanje in odločanje, ki robotu omogočajo boljše sodelovanje s človekom. Sistem je vsestransko uporaben povsod, kjer prihaja do neposrednega stika med robotom in človekom.

#### CORBYS

Inventarna številka:	800:LJU;0007228
Letnik:	2011 - 2015
Izvor:	SLOVENIJA/ UNIVERZITETNI INSTITUT ZA REHABILITACIJO SOČA
Mere:	A=347 CM, B=120 CM, V=205 CM
Naloge:	POMOČ PRI REHABILITACIJI

Robot je bil namenjen preizkusu sistema pri robotski rehabilitaciji po hujših poškodbah, ki zahtevajo ponovno učenje hoje.



#### LITERATURA

Arhiv TMS

Arhiv IJS (Letna poročila, Novice IJS)

Arhiv Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani

Arhiv Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani

Arhiv Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru

Osebni arhivi raziskovalcev, pisna in ustna komunikacija

Bajd, Tadej in Nastran, Janez: Zbornik ob 90-letnici Fakultete za elektrotehniko: 1919-2009, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana 2009.

Dan avtomatike in robotike 2017: 25 let industrijske robotike v jugovzhodni Sloveniji, Novo mesto 2017.

Diferencial časa: 100 let elektrotehnike na Univerzi v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Ljubljana 2019.

Kalin, Mitjan (ur.): Zgodovina strojništva in tehniške kulture v Sloveniji, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 2010.

# **SLOVARČEK** STROKOVNIH IZRAZOV

**CNC** (Computer Numerical Control) je računalniško krmiljen obdelovalni stroj. Mehanski del, ki je podoben kot pri ročni obdelavi, upravlja krmilnik, katerega sestavni del je računalnik, ki vodi celoten proces obdelave v skladu z uporabljenim programom. CNC tehnologija omogoča večjo produktivnost strojev, visoko kakovost in natančnost izdelave, boljšo izkoriščenost stroja in visoko prilagodljivost pri obdelavi.

**IMPEDANČNO VODENJE** je način upravljanja robota v stiku z okolico, pri katerem so podatki, ki jih krmilnik spremlja, lega robotske roke in njena hitrost.

**MANIPULACIJA** pomeni skupek različnih opravil, povezanih z določenim predmetom ali vrsto predmetov. Mednje sodijo premeščanje, nameščanje, zlaganje, obdelava, pakiranje in podobno.

PALETA je lesena podlaga, izdelana v vnaprej določeni velikosti in obliki. Namenjena je enostavnemu zlaganju, transportu in hranjenju različnega gradiva. Standardizacija palet omogoča enostavno uporabo pomožnih transportnih naprav, kot so dvižni vozički in viličarji. Paletizacija je postopek natovarjanja gradiva na palete in priprava za transport.

**PORTALNI ROBOT** je vrsta robota, čigar roka je vpeta na nosilcu visoko nad tlemi, zato nekoliko spominja na mostno dvigalo. V industrijski proizvodnji tovrstne robote uporabljajo predvsem za delo z obdelovalnimi stroji. Zaradi svoje zgradbe ne ovirajo dostopa do stroja. **STREGA** je izraz za specifično vrsto manipulacije obdelovanca, namenjene nekaterim obdelovalnim strojem, kot so stiskalnice in kovaška kladiva. Ti stroji so zelo nevarni in lahko povzročijo hujše poškodbe, zato so roboti na takšnih delovnih mestih dobrodošlo nadomestilo.

Izraz **TRANSPUTER** je sestavljen iz besed »transistor« in »computer«. Prvi splošno uporabni mikroprocesor so razvili v Veliki Britaniji z namenom uporabe v paralelnih računalnikih, kjer bi osnovne gradnike lahko kombinirali, tako kot kombiniramo tranzistorje v elektronskih vezjih. Kot osrednjo procesorsko enoto so jih uporabljali tudi za krmiljenje robotov in obdelovalnih strojev (transputersko krmiljenje).

UMETNE NEVRONSKE MREŽE so naprave za obdelavo informacij, ki pri delovanju posnemajo človeške možgane. V računalništvu so to matematični modeli, sestavljeni iz množice elementov, ki se imenujejo umetni nevroni. Tako kot pri človeških možganih se tudi umetni nevroni povezujejo in s tem določajo lastnosti mreže. Značilnost nevronskih procesov je hranjenje pridobljenega znanja in ob sprejemu vhodnega signala izbira najustreznejšega odgovora na podlagi zbranih izkušenj.

42

#### **ROBOT.BO?**

Področje robotike je ob začetku 80. let prejšnjega stoletja v Sloveniji doživelo buren razcvet, ki se je kasneje nekoliko umiril in ob oblikovanju samostojne države celo zastal, kljub temu pa smo še danes trdno zasidrani na svetovnem zemljevidu. Štiri desetletja razvoja so prinesla veliko sprememb.

V pionirskih časih so se celotnega procesa razvoja, izdelave in uporabe robotov v industriji lotili z domačim znanjem. To je razumljivo, saj je bilo takrat še precej omejitev pri uvozu in vladalo je vsesplošno pomanjkanje tujih valut. Domača industrija ni zmogla slediti inovativnosti pri razvoju in izdelavi prototipov, saj je težko zagotavljala ustaljeno izdelavo v večjih serijah, s katero bi lahko konkurirala zahodnim multinacionalkam. Zato so po osamosvojitvi in izgubi večine trgov opustili proizvodnjo mehanskih robotov, ki so postali lažje dosegljivi in cenejši, in se raje preusmerili v računalniški in upravljavski del ter razvoj aplikacij za industrijo. Proizvodnja mehanskih robotov se je v večji meri znova obudila s prihodom podjetja Yaskawa.

Tudi s človeškega vidika se je marsikaj spremenilo. Prve zamisli o uvedbi robotov v proizvodnjo so se osredotočale predvsem na tista delovna mesta, ki so bila človeku najbolj škodljiva, zato tudi odziv zaposlenih ni bil odklonilen. V nadaljevanju je pri uvajanju robotov v proizvodnjo vse pomembnejši postajal ekonomski vidik – nižja cena in večja učinkovitost robotov v primerjavi s človeško delovno silo. To je seveda pripeljalo do nezaupanja in strahu pred izgubo delovnih mest, ki sta danes vse bolj pereča.

Seveda so se s širjenjem uporabe robotov v industrijski proizvodnji pojavila nova, manj številčna delovna mesta, ki zahtevajo višji nivo znanja. Prinesla so množico visoko usposobljenih strokovnjakov, ki so se kasneje zaposlili v proizvodnji ter tako pripomogli k hitremu širjenju industrijske robotike. Ključno so pripomogle tudi študijske smeri s področja robotike. V Sloveniji so v primerjavi s svetom zaživele zelo zgodaj in še vedno omogočajo, da naši strokovnjaki dosegajo raven kolegov iz razvitejših držav.

Prve robote so v znanstveno-fantastičnih knjigah in filmih predstavljali kot mehanske humanoide. Danes so človeku podobni roboti precej redki, saj so prilagojeni izvajanju posebnih nalog. Nemalokrat celo presegajo človeka in so se razširili v vse pore našega življenja.

Zahvaljujoč ogromnemu napredku računalništva in informatike postajajo vse pametnejši. Prek različnih senzorjev iz okolice pridobivajo ogromne količine podatkov, jih obdelujejo in na njihovi osnovi sprejemajo odločitve. Računalniki so že zdavnaj presegli človeka pri izvajanju računskih operacij in obdelavi velikega števila informacij. Svoje delovanje lahko celo izboljšujejo z učenjem na podlagi preteklih dogodkov.

Zagotovo pa so roboti in računalniki še daleč od tega, da bi nadomestili človeka, še bolj pa njegova čustva, ustvarjalnost, domišljijo – vse, kar nas določa kot ljudi. Današnji roboti nam močno olajšajo in popestrijo življenje, kako bo razvoj potekal in kaj bo prinesel naši civilizaciji, pa bo pokazalo prihodnje stoletje.

dr. Orest Jarh, avtor razstave

#### KOLOFON

#### Robot.si:

začetki slovenske industrijske robotike,

Bistra od 18. 9. 2020 do 30. 5. 2021

Uredniški odbor: dr. Orest Jarh, Ajda Kozjek, Barbara Rezar Grilc Avtorji besedil: Katarina Batagelj, dr. Karel Jezernik, dr. Orest Jarh, dr. Barbara Juršič, dr. Alojz Kralj, dr. Hubert Kosler, dr. Zlatko Matjačić, dr. Uroš Janez Stanič, Rudi Zorko

Strokovni sodelavci: Erih Arko, dr. Karel Jezernik, dr. Hubert Kosler, dr. Alojz Kralj, dr. Zlatko Matjačić, dr. Marko Munih, dr. Danijel Skočaj, dr. Uroš Janez Stanič, dr. Rok Vrabič, Rudi Zorko, dr. Leon Žlajpah, Boris Žnidarič Oblikovanje: Helikopterdesign d.o.o.

Ilustracije: Matjaž Dekleva

Jezikovni pregled: Melita Silič

Izdal in založil: Tehniški muzej Slovenije, Ljubljana, 2020

Zanj: dr. Barbara Juršič

Publikacija TMS št. 68

Tisk: Antus

Število izvodov: 300

Izdajo omogočilo: Ministrstvo za kulturo Republike Slovenije

Sodelujoče institucije: Institut »Jožef Stefan«, Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, Fakulteta za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, Univerzitetni rehabilitacijski inštitut RS Soča, INEA d.o.o., Elektrotehniška zveza Slovenije, Slovenski gledališki inštitut, Yaskawa Slovenija

Za podporo se zahvaljujemo podjetjema Yaskawa Slovenija in Čarman Šport

#### Slikovno gradivo

Aditya Oberai/Aleksander Šenekar/Al-Jazari/arhiv Fakultete za elektrotehniko UL/ arhiv Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko UM/arhiv Fakultete za strojništvo UL

/arhiv Instituta »Jožef Stefan«/arhiv Muzeja nauka i tehnike Beograd/arhiv Tehniškega muzeja Slovenije//Benjamin Crossley /Bob Malone, IEEE Spectrum/DLR German Aerospace Center/Dragan Arrigler/Eduardofamendes/Erik Möller/Eschenzweig/Grenavitar - Smithsonian/Grendelkhan/Hirata Robotics GmbH/Intel Free Press

/Jaka Blasutto/Joseph Needham's Science and Civilization in China/Kldalley6/Leonardo da Vinci/Lothar Spurzem/Maša Kozjek/Matt Biddulph/Mixabest/NASA/Nohau/Official Navy Page from United States of America/osebni arhiv raziskovalcevPasimi/Pepmanrajasekar/Photo MODMOD/Relativity Space,Inc./SLOGI – Gledališki muzej/Su Song/The U.S. Army/U.S. Navy/US Patent p. 613,809A/Veličan Bešter/Victoria Lee Croasdell/Wikimedia Commons/Yuichiro C. Katsumoto





# ROBOT.SI



