

# SUSTAVI

časopis za razumijevanje naše okoline

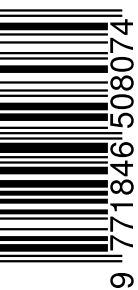
godina 3 | ISSN 1864-5080 | lipanj 2009. | broj 5. | cijena 15 kn

## Tema broja – Ruke

**Ljudska ruka**

– **evolucijski razvoj**

– **nenadmašivo sredstvo djelovanja**



**Pneumatski mišić**  
**Ruke u plesu**

# Impressum

Izdavač  
Hrvatsko interdisciplinarno društvo  
Šimunčevačka 38b, 10360 Sesvete  
www.idd.hr; ured@idd.hr

Glavni i odgovorni urednik  
doc. dr. sc. Josip Stepanić

Urednice  
Matea Osojnik  
urednice@idd.hr  
Anna Vrca  
urednice@idd.hr

Uredništvo  
dipl. inž. Petar Ćurković,  
mr. sc. Predrag Đukić,  
dipl. oec. Željko Grgić,  
Mladen Iličković, prof.  
doc. dr. sc. Josip Kasać,  
dipl. inž. Zvonko Kostanjčar,  
doc. dr. sc. Mladen Kučinić,  
dipl. soc. Boško Kuzmanović,  
doc. dr. sc. Marta Mileusnić,  
dr. sc. Armano Srblijinović,  
dr. sc. Tatjana Tkalčec

Savjet  
prof. dr. sc. Vjekoslav Afrić,  
prof. dr. sc. Aleksa Bjeliš,  
prof. dr. sc. Juraj Božičević,  
doc. dr. sc. Tino Bućak,  
prof. dr. sc. Igor Čatić,  
prof. dr. sc. Vesna Dušak,  
mr. sc. Željko Jakopović, savjetnik,  
prof. dr. sc. Bojan Jerbić,  
prof. dr. sc. Melita Kovačević,  
prof. dr. sc. Zdenko Kovačić  
doc. dr. sc. Mladen Kučinić,  
prof. dr. sc. Mirjana Pejić Bach,  
doc. dr. sc. Karin Šerman,  
prof. dr. sc. Marko Tadić

Lektorica  
Valerija Karačić, prof.

Tehnički savjetnik  
Igor Cerin

Dizajn i priprema  
Petra Prgomet

Naslovnica  
Borna Poljak

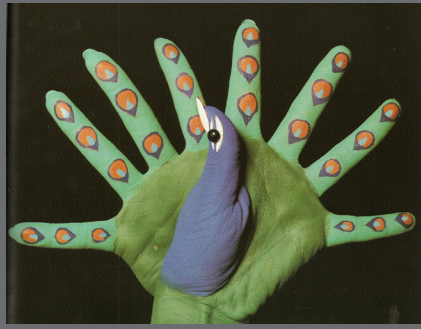
Tisak  
Tiskara Hlad

Naklada  
5000 kom

ISSN 1864-5080

Sveučilište u Zagrebu podupire izdavanje  
časopisa Sustavi

# Sadržaj



◀ Pogled na ljudsku ruku –  
nenadmašivo sredstvo  
djelovanja 16



▲ Ozljeđe ruke u sportu 32



▲ Ruke u plesu 34

Religija kao simbolički sustav 45



## Aktivnosti HID-a

Liga kumpanija 5

Prozor snova 8

Analiza sustava s povratnim vezama 10

## Tema broja

Pogled na ljudsku ruku – nenadmašivo sredstvo djelovanja 16

Ljudska ruka – evolucijski razvoj sustava 26

Ozljede ruke u sportu 32

Ruke u plesu 34

Ruke kao nepriznato komunikacijsko oruđe 40

Religija kao simbolički sustav 45

Ruka – sustav prenošenja čovjekove vještine i kreativnosti 52

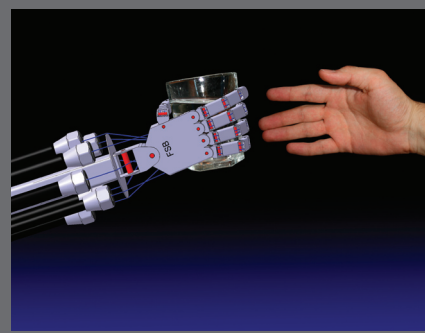
Pneumatski mišić kao aktuator 56

Dominantnost ruke 63

## Pogled u dubinu

Bušenje 68

Franjo Hanaman - Izumitelj električne žarulje s volframovom niti 72



▲ Pneumatski mišić kao aktuator 56



▲ Dominantnost ruke 63



◀ Bušenje 68



◀ Franjo Hanaman - Izumitelj električne žarulje s volframovom niti 72

# Riječ urednica

Drage čitateljice i čitatelji,

pozdravljamo Vas kao urednice časopisa "Sustavi". Od prošlog izdanog broja dogodile su se brojne promjene. Od ovog broja časopis "Sustavi" je dostupan na više prodajnih mjesta u Hrvatskoj što smatramo velikim napretkom. S obzirom na to peti broj smatramo samo početkom dugotrajnog i redovitog druženja.

Tema ovog broja je ponešto neuobičajena, ali upravo zbog toga, iznimno zanimljiva. Riječ je o rukama. Još od davnih vremena rukama se pridavalo posebno značenje. Pažljivim promatranjem ruku moguće je saznati puno informacija o drugoj osobi. Ponekad i više nego iz lica. Po izgledu ruku može se odrediti čime se osoba bavi, kojem društvenom sloju pripada, koliko godina ima. Po kretnjama ruku može se prepoznati govori li čovjek istinu, u kakvom je psihofizičkom stanju. Stoga je prirodno da su se ruke istaknule kao neiscrpna tema o kojoj se može razmišljati s različitih stajališta.

U ovom broju dan je prikaz promišljanja o rukama iz aspekta stručnjaka raznih područja. Bilo da je riječ o medicinskom pristupu ili o proučavanju korištenja ljudske ruke u umjetnosti, plesu i sviranju, potvrđuje se kako je ruka zaista složen sustav. Osim toga dotaknuta je i tema značenja ruku u komunikaciji kao i ruku u tehnici.

Uz temu broja rubrika Pogled u dubinu obogaćena je brojnim zanimljivim člancima poput članka koji se bavi problematikom podmorskog bušenja, temi vrlo značajnoj za naš Jadran. U članku o izumitelju električne žarulje s volframovom niti navodi se, možda nedovoljno poznata činjenica, kako je riječ o našem znanstveniku koji je doprinio svojevremeno najaktualnijim istraživanjima.

Edukativni projekt robotike za srednje škole, Liga kumpunija, priveden je kraju u ovoj nastavnoj godini. Više o toj temi može se pročitati u rubrici Aktivnosti HID-a.

Ovim putem se zahvaljujemo članicama i članovima Hrvatskog interdisciplinarnog društva, izdavača ovog časopisa, na ukazanom povjerenju, pruženoj pomoći, podsticajnim diskusijama i omogućavanju rada na ovako iznimnom časopisu koji je protkan isključivo autorskim člancima. Pružena nam je prilika za učenje od brojnih stručnjaka čitajući njihove članke i surađujući s njima na njihovom uređivanju.

Želja nam je da časopis i dalje zadrži crtu autorske originalnosti i jedinstvenosti i istovremeno svom vjernom čitateljstvu pruža sve željene informacije o brojnim sustavima. Htjele bi se zahvaliti i Petri Prgomet koja je s velikim entuzijazmom oblikovala novi dizajn časopisa. Na kraju, željele bismo zahvaliti svim

autorima i svima koji su na bilo koji način surađivali i pridonijeli kvaliteti ovog broja.

Anna i Matea

# Liga kumpanija

*Projekt praktičnog rada učenika i učenica srednjih škola s mobilnim robotima, odvija se i dalje. U članku donosimo prikaz završetka provedbe pilot-projekta u školskoj godini 2007./08. i početak provedbe istog u ovoj školskoj godini. Sam početak provedbe projekta opisan je u prethodnim brojevima časopisa "Sustavi".*

doc. dr. sc. Josip Stepanić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

## **Završetak pilot provedbe**

Izvršno organizirani susreti u I. tehničkoj srednjoj školi Tesla u Zagrebu (24. travnja 2008.) i u Srednjoj strukovnoj školi Blaž Jurjev Trogiraniin u Trogiru (31. svibnja 2008.) još jednom su nam ukazali kako je svakim novim susretom rasla i zahtjevnost zadataka, što se može provjeriti na forumu HID-a iz priloženih tekstova. Još jednom zahvaljujem školama koje su nas ugostile kao i profesorima koji su sve potrebno pripremili. Navedenim susretima završio je i niz radnih susreta, tj. onih na kojima su učenici rješavali postavljene im zadatke.

Zaključni susret projekta održan je na mjestu koje je prostorno približno podjednako udaljeno uključenim školama, na Rastokama (1. srpnja 2008.).

Za taj susret učenici su trebali pripremiti idejno rješenje mobilnog robota koji bi po njihovu viđenju bio optimalan za Ligu kumpanija. Tako su učenici iz Trogira i Osijeka izložili vrlo kvalitetne prezentacije, dok su temeljitim i sistematičnim odgovorima, na pitanja prisutnih, dokazali kompetentnost u temi i cjelovitost svojih zamisli.

Kao izaslanik predsjednika Hrvatske zajednice tehničke kulture, skup je pozdravio prof. dr. sc. Igor Čatić kao i prof. dr. sc.

Ivan Petrović sa Zavoda za automatiku i računalno inženjerstvo FER-a u Zagrebu te prof. dr. sc. Stjepan Risović, predsjednik Tehnološkog vijeća MZOŠ-a.

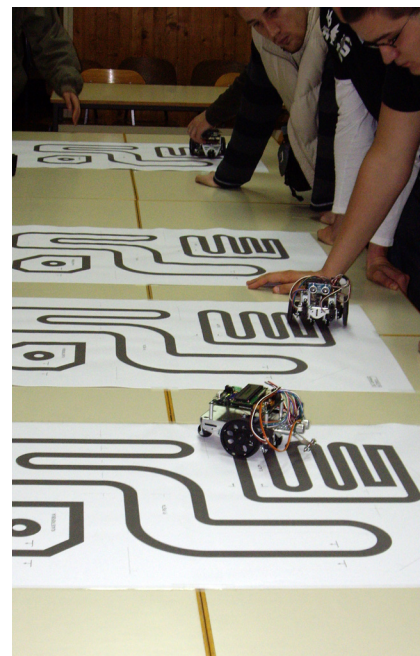
Vrlo elokventno i nadahnuo predavanje o mjestu robotike u cjelokupnoj tehnici na skupu je održao upravo prof. dr. sc. Igor Čatić, dok je prof. dr. sc. Bojan Jerbić, predstojnik Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava na FSB-u, vizionarski predstavio proces razvoja laboratorijskog rada s robotima te se osvrnuo na Laboratorij za projektiranje izradbenih i montažnih sustava FSB-a u Zagrebu.

U konačnici je donesena odluka kako se s provedbom projekta nastavlja i u sljedećoj školskoj godini, s ukupno osamnaest uključenih škola (a do početka školske godine broj uključenih škola je porastao na 22). Pritom će tri prostorno bliske škole činiti jednu regiju radi jednostavnije organizacije susreta.

## **Druga provedba**

Tijekom tekuće školske godine projekt je odobrilo Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa na temelju pozitivnog mišljenja Agencije za strukovno obrazovanje.

Za svaku regiju održan je preliminarni susret, radi upoznavanja sudionika i dogovora provedbe susreta za pojedinu



Tijekom susreta u I. tehničkoj srednjoj školi Tesla, 24.4.2008., roboti prate liniju

regiju. Prva grupa radnih susreta održana je za većinu regija krajem studenog 2008. - druga grupa je održana tijekom veljače 2009. godine, dok treći susreti još nisu održani. Budući da se tijekom školske godine često navodilo pitanje pripadnih natjecanja, treći susreti bit će modificirani – a kako, o tome možete čitati na forumu HID-a, odnosno u sljedećem broju ovoga časopisa.

### Osvrt na susrete

Na susretima su učeničke grupe – kumpanije rješavale po tri zadatka. Za rješavanje zadataka dobili su vremenski rok od barem mjesec dana prije samog susreta. Zadaci za prvi, odnosno drugi susret isti su za sve regije.

Prvi je zadatak bio vezan uz programiranje gibanja robota i na susretu su kumpanije demonstrirale rješenje zadatka i objasnile pripadni programski kod.

Drugi je zadatak na samom susretu djelomično modificiran tako da su kumpanije dobile pola sata za uklapanje modifikacije u programski kod dobiven za rješavanje početno postavljenog zadatka.

Treći je zadatak bila izrada prezentacije na temu šireg poimanja robotike, primjerice analiza robotskog nogometa za prvi susret, odnosno analiza humanoidnih robota za drugi susret.

Zadaci su bili stupnjevane zahtjevnosti, tako su zadaci za prvi susret tražili samo upravljanje motorima, dok je korištenje senzora ostavljeno za zadatke drugog susreta.

Na susretima je jasno vidljiva zainteresiranost uključenih učenika i učenica te veliki trud kojeg su njihovi mentori i mentorice uložili u omogućavanje kvalitetnih priprema svojih ekipa i u stvaranje ugodne atmosfere samih susreta. Susreti, održavani svaki put u drugoj školi regije, ujedno su poslužili za bolje upoznavanje škole iz koje dolazi pojedina kumpanija.

Svakom susretu prisustvovao je jedan ili više predstavnika organizatora te se ovom prilikom zahvaljujem kolegama s Fakulteta stojarstva i brodogradnje Teodoru Tomiću i Nikoli Hranju na sveobuhvatnom angažmanu i provedbi svih faza projekta, kao i suradnicima s istog



▲ Susret u Tehničkoj školi Šibenik, 6.2.2009.

### Popis uključenih škola, mentora i mentorica za šk. god. 2008./09.:

1. Srednja škola Blato – prof. Ante Žuvela
2. Srednja škola Metković – prof. Zoran Grgić
3. Srednja strukovna škola “Blaž Jurjev Trogirčanin”, Trogir – prof. Petar Pilić
4. Tehnička škola Šibenik – prof. Zdravko Peran
5. Tehnička škola Zadar – prof. Denis Prusac
6. Srednja škola Gračac – prof. Marijo Mandić
7. Elektroindustrijska obrtnička škola, Rijeka – prof. Vlado Vujić
8. Srednja škola za elektrotehniku i računarstvo, Rijeka – prof. Damir Rumora
9. Strojarsko brodograđevna škola za industrijska i obrtnička zanimanja, Rijeka – prof. Nikola Reljić
10. Tehnička škola Karlovac – prof. Milan Bijelić
11. Gimnazija Velika Gorica – prof. Snježana Ruklić
12. Strojarska tehnička škola Fausta Vrančića, Zagreb – prof. Ante Barbarić
13. Tehnička škola Ruđera Boškovića, Zagreb – prof. Goran Nuskern
14. I. tehnička škola TESLA, Zagreb – prof. Andreja Štancl
15. Srednja škola Ban Josip Jelačić, Zaprešić – prof. Svijetlana Grubišić
16. Srednja škola Oroslavje – prof. Darko Cobovič
17. Gimnazija Požega – prof. Pavle Bucić
18. Tehnička škola Požega – prof. Denis Smojvir
19. Srednja škola Marka Marulića, Slatina – prof. Siniša Grahonja
20. Srednja strukovna škola Braće Radića, Đakovo – prof. Dragan Marić
21. Strojarska tehnička škola, Osijek – prof. Mario Slivka
22. Tehnička škola Ruđera Boškovića, Vinkovci – prof. Josip Bionda

fakulteta – dipl. inž. Petru Ćurkoviću, doc. dr.sc. Josipu Kasaću, dipl. inž. Vladimiru Miliću i Svenu Saviću te Ivi Korlević s Elektrotehničkog fakulteta u Osijeku, na sudjelovanju u promišljanju i provedbi projekta.

Savjetnik projekta, prof. dr. sc. Bojan Jerbić, nizom je zamisli oko provođenja projekta i rješenja problema s kojima smo se susretali znatno doprinio kvaliteti samog projekta.

Međutim, nisu sve zamišljene cjeline provedene, tako je primjerice bilo predviđeno kako će svaka kompanija smisliti svoje ime – ali nekako nisu imali ili vremena ili ideja – pa to tek ostaje za napraviti.



### **Popis susreta održanih u šk. god. 2008./09.:**

#### I. SUSRETI

- 27. 11. 2008. Trogir
- 28. 11. 2008. Gračac
- 29. 11. 2008. Zagreb (I. tehnička škola TESLA)
- 6. 12. 2008. Požega
- 6. 12. 2008. Vinkovci
- 10. 12. 2008. Zapresić
- 3. 3. 2009. Rijeka (Elektroindustrijska obrtnička škola)

#### II. SUSRETI

- 31. 1. 2009. Velika Gorica
- 6. 2. 2009. Šibenik
- 13. 2. 2009. Slatina
- 13. 2. 2009. Đakovo
- 25. 2. 2009. Karlovac
- 13. 3. 2009. Blato

# Prozor snova

doc. dr. sc. Josip Stepanić, FSB,  
Sveučilište u Zagrebu

## Prozor snova

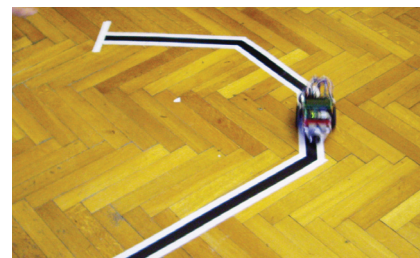
Prozor snova – iako podsjeća na kakav književno-umjetnički ili čak poetski termin ovo je u stvari ništa drugo nego skraćeni naziv projekta kojeg Hrvatsko interdisciplinarno društvo provodi od jeseni 2005. godine uz financijsku potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa, te podršku Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Kratak je to opis, a ujedno i pojašnjenje projekta koji obuhvaća radionice za studente tehničkih fakulteta više hrvatskih sveučilišta u kojima se isprepliću teorijska izlaganja i mentorirani, praktični radovi s mobilnim robotima. Dakle prozor snova ili *Pomoću Robota Omogućen Znanstveno-Obrazovni Rad Studenata i NOVAKa*.

*Prozor snova može značiti mnogo toga. U ovom tekstu opisaću onaj Prozor snova u kojem je Pomoću Robota Omogućen Znanstveno-Obrazovni Rad Studenata i NOVAKa. To je kratki opis, a ujedno i puni naziv projekta koji se provodi već nekoliko godina. Projekt obuhvaća radionice za studente tehničkih fakulteta u kojima se kombiniraju teorijska izlaganja i mentorirani, praktični rad s mobilnim robotima.*

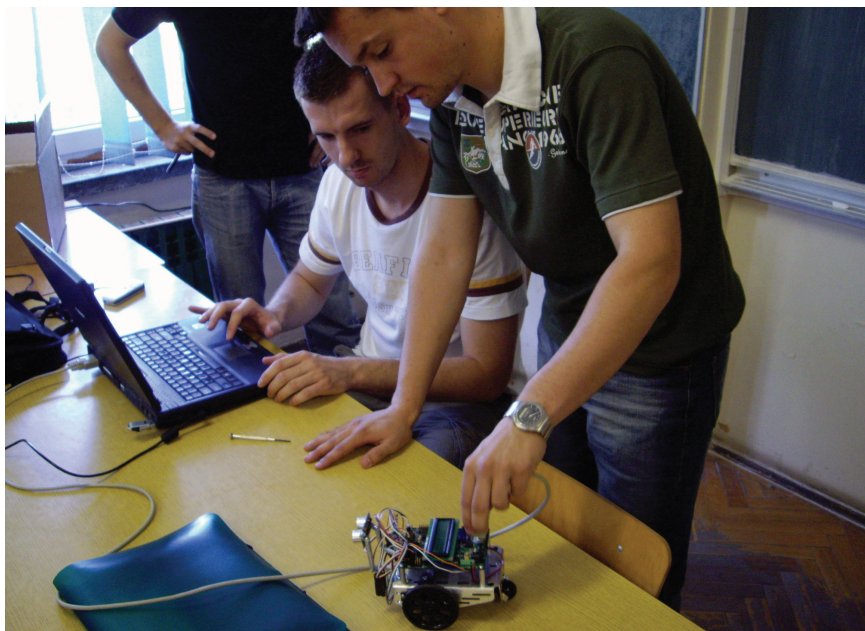
## Zašto prozor snova?

U današnje vrijeme različita znanstvena i tehnološka područja znatno se isprepliću i međusobno nadopunjuju zbog potrebe rješavanja različitih vrsta problema. Pogled u budućnost upućuje na još intenzivnije povezivanje različitih područja rada i izučavanja.

Prije nekoliko godina, skupina sveučilišnih djelatnika, razmatrala je niz pri-



▲ Prikaz slijeđene linije



▲ Detalj s radionice

mjera povezivanja znanosti o sustavima, robotike i biologije s ciljem njihova što bržeg i cjelovitijeg održivog uklapanja u radionice i tečajeve za studentsku populaciju. Kao inicijatoru takvih razmatranja poznate su mi sve cjeline razvoja ideje o sadržaju potrebnog projekta. Razgovori su obilovali ključnim riječima poput: autonomni sustav, kolektivna inteligencija, modeliranje kompleksnih sustava, netrivijalna lokomocija, pa onda mravi i drugi socijalni kukci, sociotermodynamika, *smart dust*, autopoietika. Pod intenzivnim dojmom što svjedočimo tom razvoju odgovarajućih područja, a u određenoj mjeri i sudjelujemo u tome, paralelno s idejama daljnjeg razvoja javljala su nam se i pitanja kako prenijeti stečeno znanje drugim zainteresiranim, napose mlađim generacijama. Rješenje se na neki način samo nametalo – pokretanje radi-



onica u kojima bi se okupljali mladi ljudi sa već postojećim iskustvima iz odgovarajućih područja kao što su računarstvo, biologija, numeričko modeliranje..., a koji bi istovremeno pripremali i održavali predavanja na neku od odgovarajućih tema, naravno sve pod budnim okom onih nešto iskusnijih i starijih - mentora. Kao i svaka radionica i ova je uključivala praktični rad, a njegov temelj je rad s robotima. Naime, jedan od ciljeva je postaviti veći broj autonomnih grupa mobilnih robota te na njima u praksi učiti o kolektivnoj inteligenciji, entropiji autonomne grupe, robotskom slaganju zida te samostalnom rješavanju drugih problema i sl. Samih ciljeva ima više i o njima će biti pisano u nekom od sljedećih brojeva *Sustava*, već kako se koji od njih bude ostvarivao.

Većinom, uključeni djelatnici fakulteta bili su znanstveni novaci – i eto pomoću robota omogućenog znanstveno-obrazovnog rada studenata i novaka. Naziv je podugačak, zbog čega ćemo se ubuduće koristiti njegovom poetičnom kraticom – *Prozor snova*.

### **Kako je izgledao prozor snova?**

Prva je radionica održana na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu u ljetnom semestru 2006. godine. Njen sa-

držaj naveden je na <http://www.idd.hr/ps>. Već sljedeće godine 2007. radionica je putovala te je provedena i na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Predavanja su obuhvaćala izlaganja o mobilnoj robotici i pravcima njenog razvoja, kao i predavanje iz biologije o svojstvima kukaca korisnim kao inspiracija za tehniku. U praktičnom radu s robotima upotrijebljeni su mobilni roboti *IntelliBrain-Bot* tvrtke *RidgeSoft*. 2008. godine *Prozor snova* je proveden u Zagrebu i na Odjelu za psihologiju Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci.

Do danas, HID je pribavio sredstva za dvadeset šest mobilnih robota, koji (nadam se) svakodnevno prolaze učionicama raznih fakulteta i srednjih škola diljem Hrvatske, praćeni budnim okom zainteresiranih studenata i učenika. Spominjanje učenika nije slučajno, ako ste već prije pročitali članak za *Ligu kompanija* u ovom broju *Sustava* ili drugdje. Sredstva za robote dobivena su na natjecanjima Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa te donacijom Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

### **Kako će izgledati prozor snova?**

Zbog više razloga, jako je teško predvidjeti što će se s radionicom događati u budućnosti. S jedne strane, postoji veliki

interes studenata i nastavnika za sudjelovanje u svim aktivnostima, tako da je broj robota premalen. S druge strane, tempom kojim se roboti pribavljaju takvo će stanje ostati još pokoju godinu duže nego bi to trebalo. Sve upućuje na potrebu domaće proizvodnje dostatne količine mobilnih robota i popratne opreme. Intenzitetom kojim se pristupilo ovome, pretpostavljam da ćete uskoro u *Sustavi*ma čitati o serijskoj proizvodnji domaćih, mobilnih robota. Studentice i studenti koji se budu isticali na *Prozoru snova*, bit će pozvani na sudjelovanje u projektu *Liga kompanija*. Tako je uostalom bilo i prethodne godine – od pet studenata i studentica završnih godina diplomskih studija, koji su bili uključeni u provedbu *Lige kompanija*, svi su prethodno bili uključeni u projekt *Prozor snova*.

*Prozor snova* održava se u ljetnom semestru, tako da ćete u jednom od sljedećih brojeva *Sustava* čitati o njegovoj provedbi i kako je sve to izgledalo u ovoj, 2009. godini.



# Analiza sustava s povratnim vezama

prof. dr. sc. Mirjana Pejić-Bach  
mr. spec. Daniel Težulac  
Ekonomski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

*Sustav s povratnom vezom je zatvoreni krug uzoraka i posljedica, pri čemu uzrok izaziva posljedice kojima indirektno utječe na samog sebe.*

Svijet oko nas možemo promatrati na razne načine. Neku pojavu možemo analizirati kao izdvojen fenomen, a možemo je promatrati i kao dio veće cjeline, tj. sustava. Pri tome sustav možemo odrediti kao zbir dijelova koji se ne mogu rastaviti, a da se ne izgube njegova svojstva. Na primjer, automobil koji je ispravan i u voznom stanju je sustav, ali automobil kojeg smo rastavili na dijelove ne možemo nazvati sustavom.

Sustav s povratnom vezom je zatvoreni krug uzroka i posljedica, pri čemu uzrok izaziva posljedice kojima indirektno utječe na samoga sebe kao što su u nekoj tvrtki prisutne brojne povratne veze. Primjerice, ako su zaposlenici preopterećeni, imaju osjećaj da neće stići završiti posao na vrijeme zbog čega rade još više, javlja se stres te unatoč povećanom radu zaposlenici postaju sve manje i manje produktivni. Povećava se broj nezavršenih zadataka, zaposlenici su još više preopterećeni, te ciklus opet počinje. Dakle, preopterećenost zaposlenika (uzrok) izaziva stres (posljedicu), što povećava preopterećenost (uzrok). Promatranje pojava kao sustava koji se sastoji od povratnih veza nazivamo sistemsko mišljenje. Povratne veze mogu biti pozitivne i negativne, pri čemu će se u ovom članku

opisati njihove karakteristike. Sustavi s povratnim vezama prikazuju se uzročno posljedičnim dijagramima.

Uzročno posljedični dijagrami su alat sistemskog razmišljanja. Ovi se dijagrami sastoje od varijabli spojenih strelicama na način koji pokazuje kako jedna varijabla utječe na drugu. Varijable su međusobno povezane strelicama, a pored svake strelice nalazi se znak + ili -. Znakovi ukazuju na smjer promjene koji izaziva povećanje ili smanjenje varijable. Ako se varijabla A poveća, a pored strelice koja pokazuje na varijablu B se nalazi znak +, tada se očekuje povećanje varijable B (Slika 1). Tada kažemo da između varijable A i B postoji pozitivna veza.

Ako se varijabla A poveća, a pored strelice koja pokazuje na varijablu B se nalazi znak -, tada se očekuje smanjenje varijable B (Slika 2). Vrijedi i obrnuto, ako se varijabla A smanji, a pored strelice koja pokazuje na varijablu B se nalazi znak -, tada se očekuje povećanje varijable B. Tada kažemo da između varijable A i B postoji negativna veza.

## **Pozitivna povratna veza**

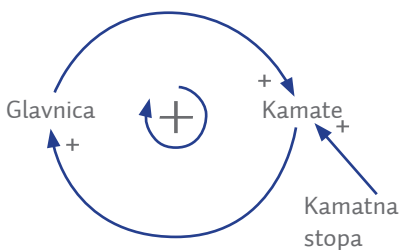
Pojave u kojima povećanje jednog elementa sustava uzrokuje niz promjena koje će još više povećati taj isti element nazivamo pozitivnim povratnim vezama.



▲ Slika 1 Povezanost varijabli A i B pozitivnom vezom

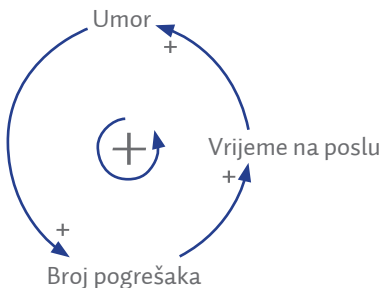


▲ Slika 2 Povezanost varijabli A i B negativnom vezom



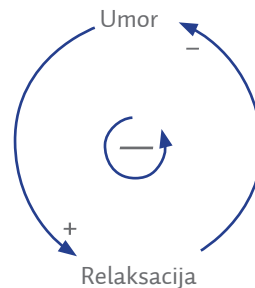
▲ Slika 3 Dijagram uzročnih petlji porasta glavnice

Pozitivnu povratnu vezu možemo usporediti s grudom snijega koja se spušta niz padinu. Kako se gruda kotrlja, skuplja snijeg, što je gruda snijega veća, skuplja više snijega i brže raste. Jednostavan primjer pozitivne povratne veze je štedni račun u banci. Novac u banci raste eksponencijalno, ako mu se godišnje dodaje određena kamata. Pretpostavimo da u banci imamo 1000 kn prve godine, a kamatna stopa je 10%. Relativne promjene uvijek su iste (10%), ali su apsolutne promjene (iznos kamata u kn) ispočetka male, a kasnije sve veće i veće. Kamate će nakon prve godine biti 100 kn i glavnica će se povećati na 1100 kn. Stoga će nakon druge godine kamate biti 110 kn i glavnica će se povećati na 1210 kn. Proces će se nastaviti, pri čemu će kamate, a time i glavnica svake godine biti sve veće i veće.



▲ Slika 4 Povezanost pogrešaka, umora i vremena provedenog na poslu

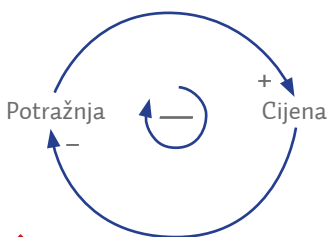
Štedni račun možemo prikazati pomoću dijagrama uzročnih petlji (Slika 3). Strela označava smjer veze između uzroka i posljedice. Na primjer, na kraju strelice koja ide od glavnice (uzroka) do kamata (posljedice) nalazi se znak +, što znači da povećanje glavnice (uzroka), dovodi do povećanja kamata (posljedica). U sredini petlje nalazi se polukružna strelica s crtežom snježne lavine koja označava da se radi o pozitivnoj povratnoj sprezi. Što je veća glavnica, to su veće kamate, koje ponovo uvećavaju glavnica, koja uvećava kamate i tako dalje. Vidimo da glavnica stalno raste, a brzina kojom će se glavnica povećavati ovisi o kamatnoj stopi.



▲ Slika 6 Povezanost umora i relaksacije

Drugi primjer pozitivne povratne veze prikazan je na Slici 4. Na primjer, ako se zbog umora povećava broj pogrešaka na poslu, više vremena morat ćemo provesti na poslu kako bismo te pogreške ispravili. Zbog dodatnog vremena koje moramo provesti na poslu bit ćemo još umorniji. U kolokvijalnom jeziku se takve situacije nazivaju vrzino kolo ili začarani krug. Primijetimo da pozitivna povratna veza ne mora označavati nešto pozitivno, u ovom slučaju radi se o negativnoj pojavi.

čaju će smanjenje elementa sustava dovesti do niza promjena koje će ga povećati. Primjer negativne povratne veze je odnos potražnje i cijene na tržištu (Slika 5). Prevelika potražnja za nekom robom na tržištu utječe na cijenu. Što je veća potražnja, veća je i cijena robe. Međutim, ako prodavači previše povećaju cijenu robe, smanjit će se potražnja (Slika 6).



▲ Slika 5 Odnos potražnje i cijene na tržištu

**Negativna povratna veza**

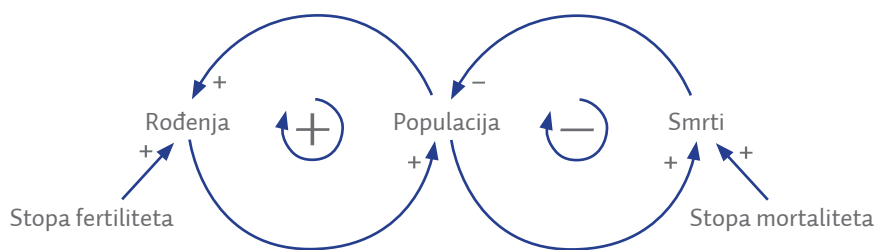
Negativna povratna veza djeluje tako da povećanje jednog elementa sustava uzrokuje niz promjena koje će konačno smanjiti taj isti element. U obrnutom slu-

Drugi primjer negativne povratne veze prikazan je na Slici 6. Ako se zbog umora odlučimo više relaksirati, smanjit će se osjećaj umora, a u konačnici bit će nam potrebno manje vremena za relaksaciju. Međutim, zbog manje vremena utrošenog na relaksaciju ponovo će se povećati količina umora. Uočavamo da negativna povratna veza ne mora označavati nešto negativno, u ovom slučaju radi se o pozitivnoj pojavi u kojoj se uspostavlja ravnoteža između rada i relaksacije.

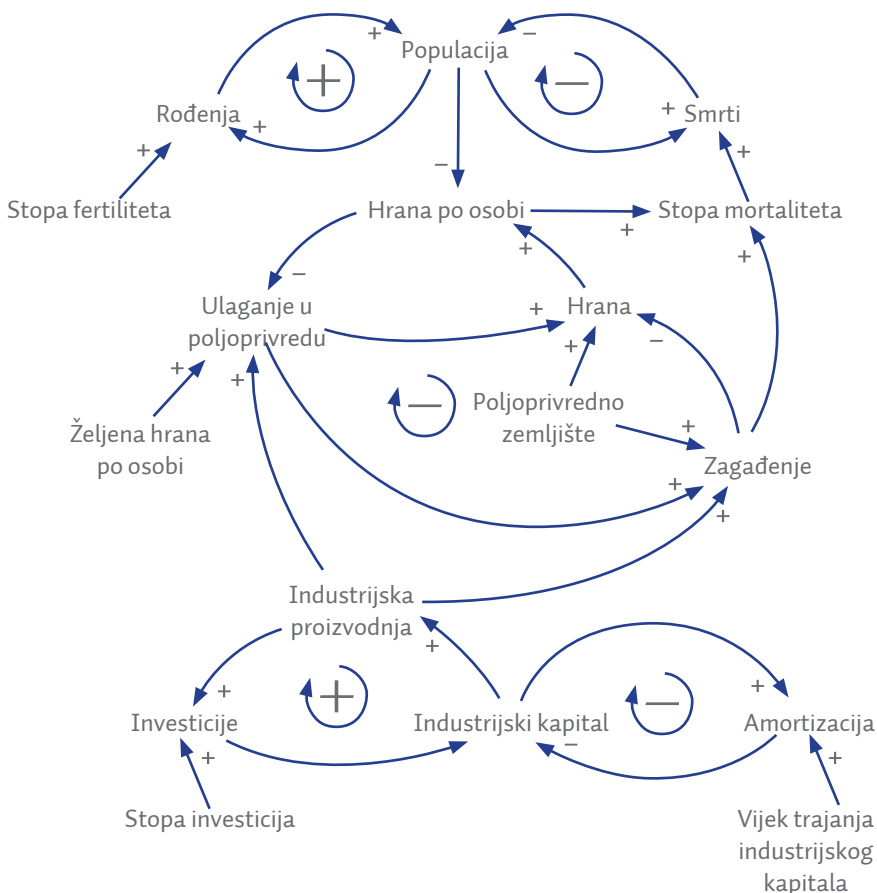
### Analiza sustava s više povratnih veza

Sustavi se rijetko sastoje od samo jedne pozitivne ili negativne povratne veze, već obično sadrže više međusobno povezanih povratnih veza. Vrlo jednostavan sustav populacije prikazan je na Slici 7. Kao što vidimo sustav se sastoji od pozitivne povratne veze rođenja i negativne povratne veze smrti. Koja će od povratnih veza dominirati u sustavu ovisi o odnosu stope fertiliteta i stope mortaliteta. Ako je stopa fertiliteta veća od stope mortaliteta, dominirat će pozitivna povratna veza rođenja i populacija će eksponencijalno rasti. U obrnutom slučaju dominirat će negativna povratna veza smrti i populacija će se postepeno smanjivati.

Ovakav sustav bio bi prikladan za modeliranje populacije jednog manjeg mjesta kroz kraće razdoblje. Međutim, u modeliranju svjetske populacije morali bismo uključiti sljedeće važne čimbenike koji snažno utječu na populaciju: poljoprivredno zemljište, zagađenje, industrijski kapital, te neobnovljivi resursi. Model koji uključuje ove čimbenike korišten je u analizi granica rasta svjetske populacije (D.H. Meadows; D.L., Meadows; J. Randers, 1992), a jedan dio modela je prikazan na Slici 8. Model sadrži dvije pozitivne povratne veze. Što je veća populacija, to je više rođenja, što povećava populaciju. Povećanje industrijskog kapitala uzrokuje povećanje industrijske proizvodnje, što povećava investicije koje ponovo povećavaju industrijski kapital. Model također sadrži tri negativne veze. Što je veća populacija, to više ljudi umire, što smanjuje populaciju. Povećanje ulaganja u poljoprivredu, uzrokuje rast zagađenja zbog kojeg umire više ljudi te se smanjuje populacija i potrebno je manje hrane po osobi, što konačno smanjuje ulaganja u poljoprivredu. Rast industrijskog kapitala povećava amortizaciju, koja pak smanjuje industrijski kapital.



▲ Slika 7 Jednostavan sustav populacije

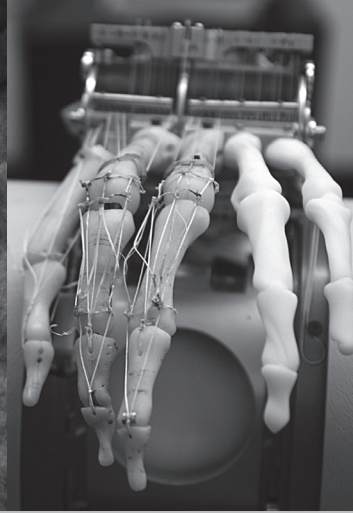


▲ Slika 8 Povratne sprege populacije, kapitala, poljoprivrede i zagađenja (prema D.H. Meadows; D.L. Meadows; J. Randers, 1992)

### Literatura:

1. M. Pejić Bach; Modeliranje upravljanja sredstvima u poslovanju metodom sistemske dinamike, Doktorska disertacija, Ekonomski fakultet u Zagrebu, 2002,
2. D. Težulac; Primjena sistemskog mišljenja u upravljanju kvalitetom, Magistarski specijalistički rad, Ekonomski fakultet u Zagrebu, 2008,
3. D. H. Meadows, D. L. Meadows, J. Randers; Beyond the Limits, Chelsea Green Publishing Company, Vermont, 1992.

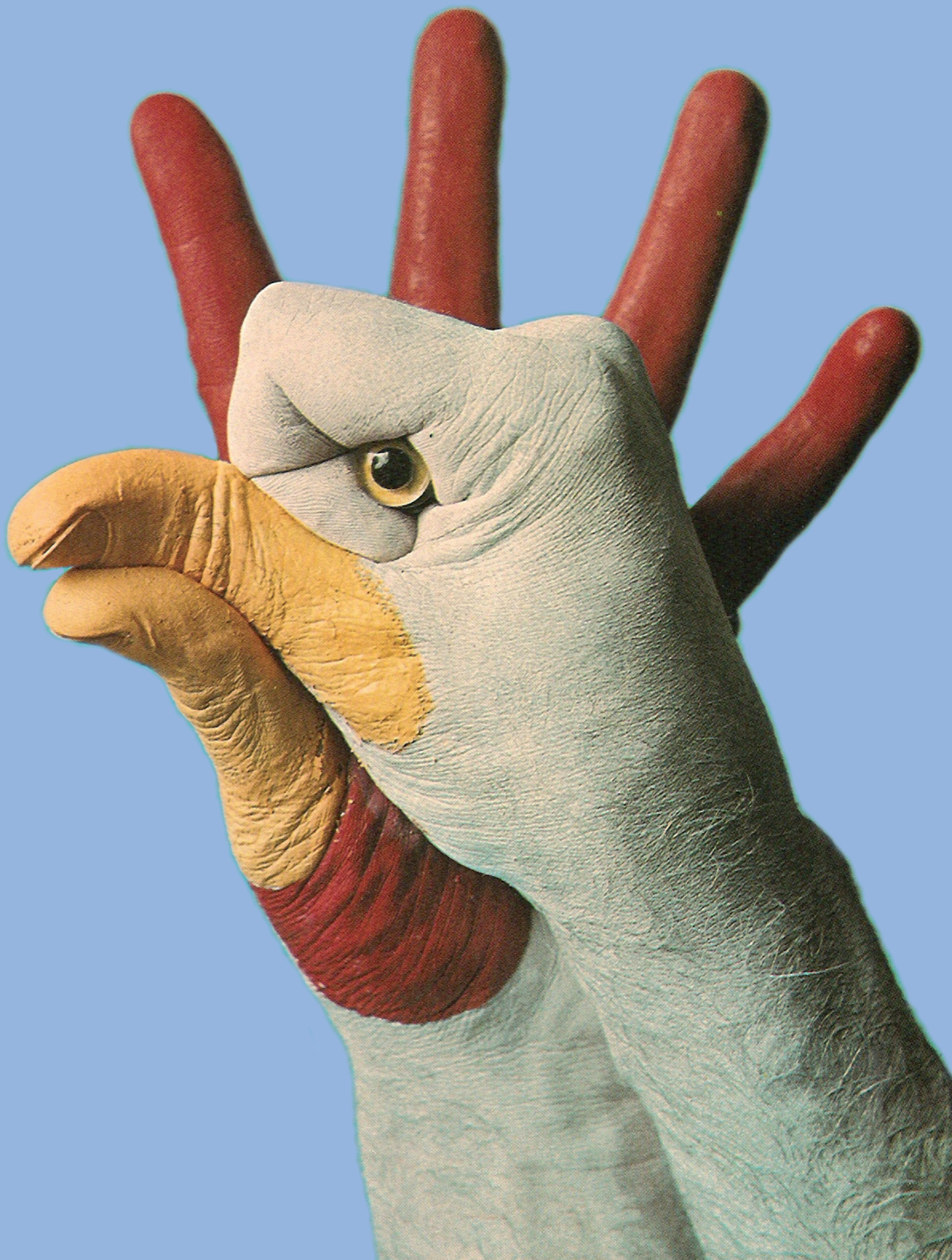




**Kad se male ruke slože,  
sve se može sve se može...**

Arsen Dedić, Kad se male ruke slože





# Pogled na ljudsku ruku – nenadmašivo sredstvo djelovanja

prof. dr. sc. Igor Čatić,  
mr. sc. Maja Rujnić-Sokele,  
FSB, Sveučilište u Zagrebu

## Uvod

Poticaј da se ljudsku ruku promatra kao nenadmašivo sredstvo djelovanja odnosno alat, potječe od glasovitog njemačkog filozofa O. Spenglera<sup>1</sup>. Ostali posredni poticaji su doprinos G. Ropohla sustavnoj teoriji tehnike<sup>2</sup> i promišljanja autora i suradnika, koja su djelomično sažeta za područje injekcijskog prešanja polimera i ostalih materijala u<sup>3-6</sup>. Ova promišljanja rezultat su istraživanja u okviru projekta *Primjena sustavne teorije u raščlambi opće tehnike*<sup>7</sup>.

Jedan od temeljaca navedenog projekta je pojam opće tehnike. On potječe iz koncepta da je opća tehnika zajedničko ime za prirodnu i umjetnu tehniku (najpotpuniji prikaz<sup>8</sup>). Taj pojam nastao je na temelju misli filozofa O. Spenglera koji je u svom povijesnom predavanju *Čovjek i tehnika*, održanom 16. svibnja 1931. među ostalim rekao: *Tehnika i nije nešto osobito povijesno, nego nešto beskrajno općenito. Seže preko čovjeka daleko natrag u život životinja i to svih životinja*<sup>1</sup>.

Razvoj prirodnih znanosti od Spenglerovog predavanja omogućuje proširenje tog iskaza. Energijsko-materijalni dio opće tehnike, preciznije njezin dio – prirodna tehnika, postoji od kada



## Sažetak

*Promatranje ljudske ruke kao nenadmašivog sredstva djelovanja odnosno alata, potaknuto je raščlambom ljudske ruke Oswalda Spenglera. Ruka, a posebice šaka je još od uspravljanja naših predaka jedinstveno prirodno sredstvo djelovanja koje može biti oruđe ili oružje. Na temelju Ropohlove razradbe tehničkih sustava stvari prema klasi funkcije i pretežnom izlazu i usavršenoj njemačkoj normi DIN 8580 – Proizvodni postupci, načinjen je opis najvažnijih mogućnosti ruke od praoblikovanja do oslojavanja, ali i ruke u energetici i informatici. Posebno su naglašene mogućnosti ruke u promjeni i održavanju stanja te u umjetnosti.*

je od elementarnih čestica koje sadrže energiju, kvarka i gluona stvorena na neki način tvorevina više hijerarhijske razine.<sup>8</sup> Posebno treba naglasiti važnost za daljnja razmatranja Ropohlove klasifikacije tehničkih sustava stvari<sup>2</sup> i usavršenu klasifikaciju proizvodnih postupaka prema DIN 8580.<sup>9</sup>

### Povijesni razvoj ruke kao sredstva djelovanja<sup>10</sup>

Prema najnovijim istraživanjima prije nekih šest do sedam milijuna godina prethodnici čovjeka su otpočeli sa podizanjem na zadnje noge i u jednom trenutku su se uspravili. Uspravljenom čovjeku prednje noge pretvorene su u ruke. Jednog humanoida, nazvanog *Predak tisućljeća* (*Orroin tugenensis*), pronašli su u Keniji B. Senut i M. Pickford.<sup>11</sup> Ljudska ruka je prirodno sredstvo djelovanja bez premca u svijetu slobodno pokretljivog života. Po mišljenju Spenglera razvoj ljudskog bića usko je povezan s razvojem ruke, a ruka je i danas jedinstveno sredstvo djelovanja. Ruka je zaista jedinstvena i o tome u nastavku Spengler piše: *Oko te grabežljive zvijeri uočava cilj i smatra se teorijskim vladarom Svijeta. A ruka je praktična vladarica.*<sup>1</sup>

Prevedeno u sustavnosni jezik, oko je senzor informacijskog sustava, mozga, dok je ruka sredstvo djelovanja izvedbenog sustava (energija i masa).

Neki od mislilaca poput Nietzschea ili Montaignea, oduvijek su znali kako je čovjek grabežljiva zvijer.<sup>1</sup> Međutim, pitanje otkad postoji ta zvijer!? Spengler tvrdi da postoji od kada postoji i čovjek.<sup>1</sup> Na pitanje, pak kako se postaje čovjekom, odgovara – *postankom ruke*. Isti autor misli kako su čovjekova ruka, hod i držanje morali istovremeno nastati. Što se onda dogodilo po oblikovanju ruke? Prema promišljanju ovoga stručnjaka postojala su neka sredstva djelovanja, bez kojih ruka ne bi mogla ispuniti sve dužnosti. Usprkos mnogim odlikama, ruka je kratka, nedovoljno snažna, može praviti tvorevine samo u određenom području smične viskoznosti tvoriva. Zato ruka nije dovoljna, treba umjetni produžetak (S. Freud).<sup>1</sup> Stoga Spengler smatra kako su istodobno s čovjekovom rukom morali postojati i dru-

gi alati. Pritom nije odgovoreno na pitanje kakvi su to alati? To su mogli biti samo prirodni alati, prirodine, tvorevine neposredno ponuđene u prirodi poput komada kamena, drvene grane ili kosti neke životinje. I tako je stvoreno carstvo prirodnih alata, carstvo ruke i ostalih prirodnina.

Istodobno, sustavnosno promatrano, ljudske ruke izrazito su važan podsustav sustava ljudsko tijelo.<sup>2,3</sup> Drugačije rečeno, postoji snažna korelacija između ruke, mozga i svih ostalih tjelesnih organa.<sup>12</sup>

*Dio mozga povezan s rukama je relativno veći od onih dijelova koji su povezani s bilo kojim drugim dijelom tijela. Darwin je uvijek shvaćao činjenicu da je razvoj nekih dijelova organizma povezan s razvojem drugih dijelova, pri čemu prividno ne postoji povezanost među njima. On je to nazvao zakonom korelacije rasta. Razvoj ručnih vještina bio je povezan s razvojem mozga. Ruka ne postoji sama za sebe.*<sup>12</sup>

Ruka je vrlo važan podsustav najkompliciranijeg i najkompleksnijeg<sup>1</sup> prirodnog sustava, čovječjeg tijela.

Mora se postaviti pitanje kako se ruka i ostali prirodni alati mogu upotrijebiti. To je naime temeljno pitanje egzistencije tehničara. Ruka je od početka svoje uporabe alat koji se pojavljuje u svoje dvije suprotnosti, u pravilu služi kao dobro sredstvo djelovanja – oruđe, ali može poslužiti i kao loše – oružje. Raščlanjujući moguću uporabu prirodnih alata, moguć je zaključak kako su rabljeni i kao oruđe, ali i kao oružje. To vrijedi i za samu ruku, na što ukazuju nizovi poznatih primjera gdje su ruke poslužile kao oružje u oduzimanju života, a jedan od najpoznatijih je Shakespeareov *Otello*.

Time je ruka, kao prirodno sredstvo djelovanja, sve do današnjih dana odredila sudbinu tehnike, koja uvijek ima svoje lice i naličje. To je dvojnost, dihotomija čovjekove tehnike koja prati čovjeka od njegovih početaka.

I tada se pred 2,5 milijuna godina ponovno zbililo nešto odlučujuće. Nepoznati je alatničar iz skupine nazvane *homo* ili *homo habilis* u Goni (Etiopija), izumio i izradio prvi umjetni alat, umjetninu<sup>2</sup> kameno sječivo<sup>14</sup> te tako postao prvim kulturologom. Taj vrlo vješti zanatlija bio je istodobno konstruktor i izrađivač.

<sup>1</sup> Valja strogo razlikovati pojmove kompliciran i kompleksan. Kompliciranost označuje broj podsustava a kompleksnost broj veza među njima<sup>2,3,13</sup>

<sup>2</sup> Sve što je stvoreno u prirodi je prirodina, a sve je ostalo umjetnina (artefakt). Valja pridodati, svako je umjetničko djelo umjetnina, ali svaka umjetnina nije i umjetničko djelo.

<sup>3</sup> Koncept opće tehnike poznaje samo dva osnovna pojma, naturu (prirodu) i kulturu. Kako postoje tri kulture: fitokultura, animalna kultura i humana kultura, valja naglašavati potrebne razlike. Ovdje se razmatra humana kultura, preciznije humano-humana kultura.<sup>15</sup>

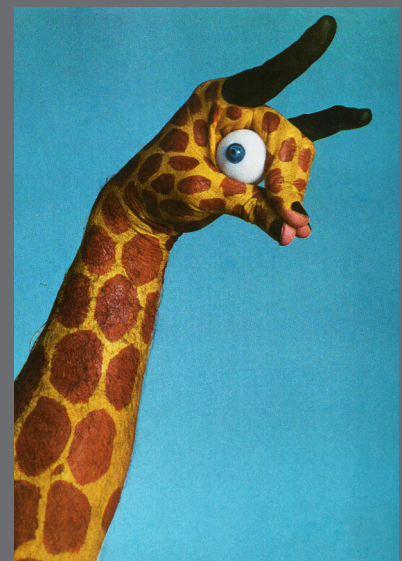
<sup>4</sup> DIN je kratica za Deutsches Institut für Normung e.V.

<sup>5</sup> Valja razlikovati povratno djelovanje, gnjetenje gdje je moguć povrat u početno stanje od gnječanja koji označuje trajnu radnju.

<sup>6</sup> Poznato je gotovo 250 inačica jednog postupka praoblikovanja, injekcijskog prešanja ili tlačnog lijevanja, a za koje je prirodni model postupak reprodukcije životinja i čovjeka.<sup>5</sup>

<sup>7</sup> Tvar je viši pojam od materijala. Materijal je tehnički upotrebljiva tvar.<sup>17</sup>

<sup>8</sup> Prema zamisli reologa R.S.Lenka, sve tvari moguće je opisati s jednim vrlo važnim svojstvom, smičnom viskoznošću. Smična viskoznost zračka je  $10^5$  Pa s, a kamena  $>>10^{12}$  Pa s.<sup>18</sup>



Morao je stalno zamišljati (konstruktor) kako mora izgledati izrađivano kameno sječivo. Ali on je istodobno i činitelj jer pravi sječivo. Nastajanje kamenog sječiva izvrstan je primjer mehanike loma koja povezuje mehaniku i materijale. Istodobno bio je to početak umjetne makrotehnike. Pritom riječ makrotehnika označuje tvorevine uobičajenih dimenzija, rukom hvatljiva tijela. U pravljenju prve umjetnine, odlučujući je doprinos ljudske ruke. Pravljenje kamenog sječiva je obradba odvajanjem čestica i najstarija je ljudska kulturna djelatnost, a pripada proizvodnoj tehnici. Zato je izum i izradba kamenog sječiva prva čovjekova kulturna djelatnost, početak materijalne, a time i svekolike humane kulture.<sup>3</sup>

Jasno nam je da mogućnosti ovog teksta prelazi sveobuhvatnost i sve mogućnosti cjelovite ruke, stoga se u nastavku treba usredotočiti na mogućnosti ruke kao prirodnog sredstva djelovanja ostvarivanja u materijalnoj kulturi, premda ruka koja primjerice pridržava pisalo (hvataljka), djeluje i na ostvaraje u duhovnoj kulturi. Također treba ispitati djelovanje u ostvarivanju funkcija mijene, prijenosa i pohrane te promjene i održavanja stanja. Poticaj za takvo promatranje potječe od Ropohla.<sup>2</sup>

Međutim za daljnja razmatranja treba ruku razdvojiti na šaku i preostale dijelove ruke jer, ako se posebno ne naglasi, uvijek se pomišlja na ljudsku šaku.

### **Ruka i usavršena klasifikacija proizvodnih postupaka po DIN-u 8580<sup>4</sup>**

Za opis odlika ljudske ruke među ostalim uporabiti će se i usavršena klasifikacija proizvodnih postupaka koja se temelji na normi DIN 8580.<sup>16</sup> Ta norma Njemačkog instituta za norme (Deutsches Institut für Normung e.V.), pojašnjava osnovne pojmove i podjelu izradbenih postupaka. (Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung).

### **Sistematiziranje proizvodnje s motrišta uporabe ljudske ruke**

Osnovni cilj proizvodnje umjetnina jest pretvaranje sirovine, prirodne, neprerađene tvari u materijalnu tvorevinu, potrebnoga geometrijskog oblika i nužnih uporabnih svojstava. Pritom proizvodnja umjetnine mora biti gospodarski opravdana te društveno prihvatljiva – zdravlje čovjeka, zaštita okoliša i prirode itd.<sup>10,17,9</sup>

Proizvodnja umjetnina jest zbir aktivnosti pri pretvaranju sirovina u umjetnu tvorevinu, gotovi proizvod organiziranim djelovanjem čovjeka na objekte rada (sirovine i poluproizvode), s pomoću sred-

stava rada (alati, strojevi, razni uređaji), u cilju stvaranja materijalnih dobara drugih upotrebnih vrijednosti za izravno ili posredno zadovoljavanje njegovih potreba. Uključuje pravljenje tvari te njihovo pretvaranje pomoću dodataka u upotrebljive tvari, materijale potrebnih proizvodnih svojstava. To je područje procesne tehnike. Slijede izradbeni postupci obuhvaćeni zajedničkim nazivom izradbena tehnika.<sup>10,17,9</sup>

Vađenje željezne rudače ili nafte kao i sječa drveća, neki su od primjera izvora sirovina. Primjeri proizvodnje umjetnina jesu: uzgajanje žitarica, plantažnog drveća (umjetna tvar ili materijal), proizvodnja poli (vinil-kloridnog) polimerizata (pvc) (umjetna tvar), čelika (umjetni materijal) ili kožne obuće (tvorevina, gotovi proizvod).<sup>10,17,9</sup>

Sistematiziranje proizvodnje temelji se na Ropohlovoj razredbi tehničkih sustava stvari prema klasi funkcije i pretežnom izlazu (tablica 1).<sup>2,10,17,9</sup>

Na temelju ove tablice pokušat ćemo dokučiti uporabu ljudske ruke kao sredstva djelovanja u navedenih devet polja. Trenutno ne postoji dovoljno istraživanja s pomoću kojih bi bilo moguće produbljenije opisati bitno djelovanje ljudske ruke u svim poljima. Bit će opisano samo pet polja.

Tablica 1 Razredba tehničkih sustava stvari prema klasi funkcije i pretežnom izlazu<sup>2,10,17,9</sup>

KLASA FUNKCIJE / IZLAZ		MIJENA (pretvorba, promjena)	PRIJENOS (transport)	POHRANA
		proizvodna tehnika	transportna tehnika	pohranska tehnika
TVAR	MATERIJALIKA	- procesna tehnika - izradbena tehnika	- tehnika dobave - prometna tehnika - niskogradnja	- skladišna tehnika - visokogradnja
ENERGIJA	ENERGETIKA	- tehnika pretvorbe energije	- tehnika prijenosa energije	- tehnika pohranjivanja energije
INFORMACIJA	INFORMATIKA	- tehnika obradbe informacija - tehnika mjerenja i vođenja	- tehnika prijenosa informacija	- tehnika pohranjivanja informacija

Mijena					
Oblik					Svojstva
Postizanje oblika	Promjena oblika				Mijena svojstva
Postizanje povezanosti	Zadržavanje povezanosti	Smanjivanje povezanosti	Povećanje povezanosti		
Glavna skupina 1 Praoblikovanje	Glavna skupina 2 Preoblikovanje	Glavna skupina 3 Odvajanje	Glavna skupina 4 Povezivanje	Glavna skupina 5 Oslojavanje (prevlačenje)	Glavna skupina 6 Postizanje uporabnih svojstava proizvoda

### Proizvodna tehnika<sup>10,17,9</sup>

Za proizvodnju tvorevina najvažnije je polje kojeg čine funkcija mijene (proizvodna tehnika) i pretežni izlaz – tvar (materijalika). To polje čine dvije tehnike: procesna i izradbena tehnika.

Pretvaranje prirodnih, neprerađenih, bezobličnih tvari, sirovina u tehnički upotrebljive tvari, materijale, područje je djelovanja procesne tehnike. Postoji više temeljnih operacije u procesnoj tehnici gdje je ljudska ruka sredstvo djelovanja – poput gnjetenja<sup>5</sup> tijesta zbog postizanja homogenosti smjese – brašna, vode, soli, itd.

Opis izradbene tehnike je poduži i bit će svrstan u posebnu točku.

### Izradbena tehnika<sup>10,17,9</sup>

Svrha izradbene tehnike je pravljenje ili mijenjanje radnog tijela definiranog geometrijskog oblika na temelju zamisli ili crteža koji sadrži pojedinosti o materijalnoj tvorevini i njezinoj izradbi. Oblik i izmjere zamišljene tvorevine, potrebna kvaliteta površine i uporabna svojstva proizvoda te njihova dopuštena odstupanja, utječu na izbor izradbenog(ih) postup(a)ka, a time i na izbor alata i mjerne opreme. Zbog raznolikosti i brojnosti izradbenih postupaka, nastoji ih se učiniti neovisnim o vrsti materijala i namjeni tvorevine<sup>6</sup>. Za taj opis poslužit će usavršena tablica s obilježjima glavnih skupina proizvodnih postupaka (tablica 2).<sup>9</sup> Sintagma *usavršena tablica*, znači da ona odražava potrebu kako bi funkcija mijene obuhvatila Ropohlove zamisli o postojanju procesa i izradbene tehnike<sup>2</sup> te sistematizacije izradbenih postupaka prema DIN 8580.<sup>16</sup>

Funkcija mijene ostvaruje se postizanjem geometrijskog oblika čvrste

tvorevine te njezinih svojstava. Pritom se postiže povezanost (praoblikovanje), zadržava povezanost (preoblikovanje), smanjuje povezanost (odvajanje) i povećava povezanost (povezivanje i oslojavanje). Uporabna svojstva tvorevine postižu postupcima iz šeste glavne skupine.<sup>16</sup>

### Postupci praoblikovanja pomoću ljudske ruke

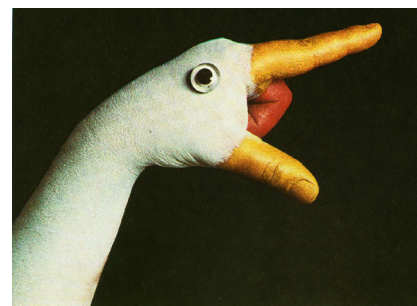
Praoblikovanje je pravljenje praoblika, čvrstog tijela od bezobličnih tvari, pri čemu se postiže povezanost među česticama, a u nekim slučajevima stvara se i građa materijala. Praoblikovati se mogu bezoblične tvari u tri osnovna stanja: plinovitom, kapljevitom i čvrstom stanju. Pritom tvar<sup>7</sup> mora biti u potrebnom rasponu smičnih viskoznosti.<sup>8</sup>

Tijekom praoblikovanja uvijek nastaje povezanost među česticama, praoblik tvorevine. Istodobno se mijenja struktura materijala. Ljudskom rukom moguće je praoblikovati bezoblične tvari poput glinenih smjesa, tijesta ili snježne grude. Pritom se na odgovarajući način oblikovanom šakom postižu potrebni praoblaci, šake u tom slučaju čine nepotpuno zatvoreni kalup. Tako primjerice pri pravljenju voćnih ili čokoladnih kuglica položajem ruke postiže se njihov kugličasti oblik. Međutim u slučaju potrebe, postizanje uporabnih svojstva proizvoda zahtijeva očvršćivanje praoblikovane smjese, npr. pečenjem. Smatra se da su keramički, prvi načinjeni proizvodi od umjetnih materijala.<sup>19</sup>

### Postupci zadržavanja i umanjivanja povezanosti

Postupke promjene oblika priprema uz zadržavanje njegove cjelovitosti naziva se *preoblikovanje*. Šakama se uspješno

▲ Tablica 2 Obilježja glavnih skupina proizvodnih postupaka<sup>9</sup>



preoblikuje, npr. savijanjem metalne žice pravi se nakit ili se razvlači tijesto u tanji trak. Pri postupcima *odvajanja*, umanjuje se povezanost među česticama i smanjuju se početne izmjere priprema.

### **Postupci povećanja povezanosti**

Tu skupinu proizvodnih postupaka čine postupci *povezivanja* i *oslojavanja* (*prevlačenja*). Povezivanjem se povećavaju prvobitne izmjere tvorevine, dobiva se monolitni spoj od dvaju ili više komada izrađenih od istih ili različitih materijala.

S rukom je moguće spojiti više dijelova u cjelinu, npr. spajanje dvaju dijelova ili povezivanje više dijelova od plastelina ili tijesta u jednu tvorevinu. Rukom je moguće povezivanje preoblikovanjem, poput pregibanja, npr. pravljenje papirnatog broda.

Postupci *oslojavanja* namijenjeni su ukrašavanju i zaštiti izradaka, a njihovo je obilježje nanošenje čvrsto prijanjajućeg sloja od bezoblične tvari na izradak. Teorijski ruka može premazati neki sloj, ali u načelu rabi neko drugo sredstvo djelovanja, nož, kist ili slično. U tom slučaju ruka služi kao sredstvo prijenosa.

### **Postizanje uporabnih svojstava tvorevine**

Za ovu skupinu postupaka autoru nisu poznati primjeri iz svakodnevnog života, a iz opisa te skupine postupaka vjerojatno nedostaju i rezultati odgovarajući istraživačkih radova.

### **Ljudska ruka kao proizvođač energije**

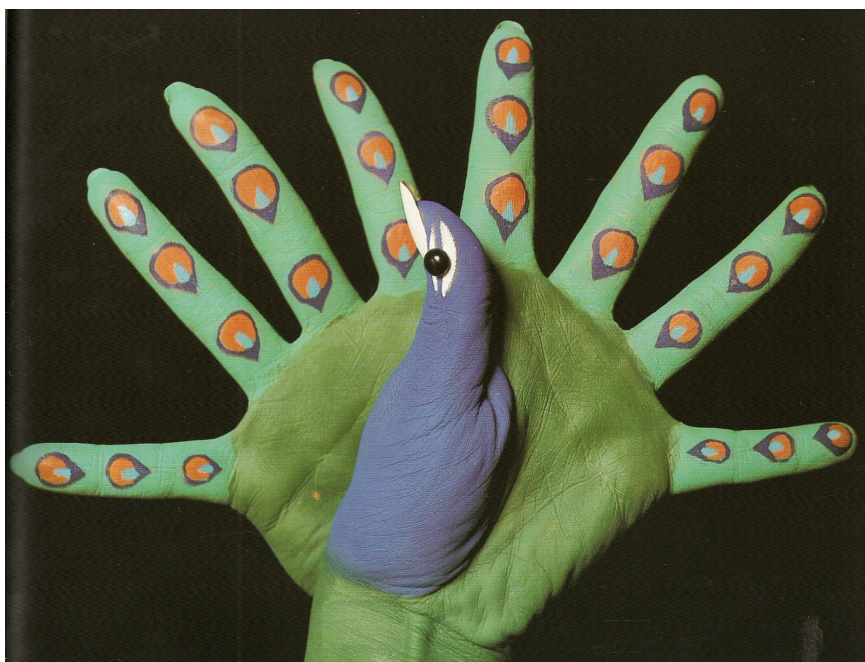
Na temelju vlastitih spoznaja, ruke proizvode energiju ili barem jedan njezin dio, pretvaranjem mehaničkog rada trenja u toplinsku energiju (tarna ili frikcijska toplina). To ćemo pokušati pojasniti spravljanjem voćnih kuglica od smjese koja sadrži orahe.<sup>21</sup>

Naime, tijekom praoblikovanja takvih kuglica, potrebno je djelovanjem ruku zagrijati smjesu na temperaturu koja omogućuje otpuštanje masti iz orahe koja služi kao vezivo.

### **Ljudska ruka u informatici**

Prema Ropohlu polje *informatika-mijena* obuhvaća tehnike obrade informacija, mjerenja te vođenja – upravljanja i reguliranja.





Ruka pomoću svojih senzora, osjeća toplo i hladno, čvrsto i kapljevito, tvrdo i meko, osjeća oblik, težinu i mjesto otpora, ukratko prirodne i umjetne u prostoru. Zaključno ruka je osjetilo, senzor. Dio ruke, palac je i danas mjera duljine.<sup>10</sup> Posebni oblik osjetilnog, senzorskog djelovanja ruku je hod djeteta koji ispruženim rukama opipava postojanje mogućih prepreka. Kod slijepaca štap kojeg drži ruka služi istoj svrsi.

Istodobno je ruka snažno sredstvo prijenosa poruka, informacija – polje *informatika-prijenos*, primjerice oblik i izgled ruke te način rukovanja, tapšanja pomoću kojih se prenosi rukom informacija i sl.<sup>10</sup>

### **Ljudska ruka kao moćno sredstvo prijenosa<sup>10</sup>**

Ruka je vrlo moćno sredstvo prijenosa, s 28 stupnjeva slobode. Pretežni dio robota služi za pridržavanje nekog sredstva djelovanja, kao što je to i slučaj s rukom, mirovanje ili prenošenje iz jedne točke u drugu, gibanje. Danas i najsavršeniji roboti su tek nešto bliži broju stupnjeva slobode koje ima ruka. Ruka u cjelini može biti izvorom velike energije koju ostvaruje zamahom.

### **Održavanje i promjena stanja**

U prethodnim poglavljima ovog članka obrađena su djelovanja kako ih je Ropohl opisao u svojoj sistematizaciji tehničkih sustava prema pretežnom izlazu. Međutim potrebno je razmotriti mogućnosti ruke u promjeni stanja i održavanju stanja.

Rukama je moguće slomiti štap – promjena stanja. Međutim s rukama je moguće, npr. uz pomoć ljepljivosti popraviti slomljeni štap ili uspostaviti početnu geometriju slomljenog uda koji zatim zacijeli.

Zanimljiv je slučaj ručne masaže, kombinacije dvaju procesa. Pri toj masaži (trljanju), mehanički rad trenja pretvara se u toplinu (mjesno povišenje temperature), a pritiskom prstiju ostvaruje se gnjetenje mišićnih struktura, njihove promjene (miogeloza), u svrhu relaksacije zaostalih naprezanja. Popuštanjem tih naprezanja ostvaruje se prijelaz prema početnom zdravom stanju, ali je nemoguć potpuni povrat jer je sol stanje zamijenjeno gel stanjem.<sup>25</sup>

### **Ljudska ruka – umjetnička tvorevina i njezino djelovanje u umjetnosti**

Obzirom na svoju pokretljivost ruka može poprimiti najrazličitije oblike. Slika 1 prikazuje obojenu ruku kako oponaša dvije životinje.<sup>25</sup> Ruka može poslužiti i kao sredstvo pokretanja lutaka u kazalištu lutaka. Poznat je pojam *kazališta sjena* ili gibanjem lutaka s pomoću ruke, kojoj je lutka svojevrsna rukavica.

#### **Zaključak**

Za sada je teško predočiti kako će bilo koja umjetnina ikada nadmašiti po svojoj raznovrsnosti djelovanja tu nenadmašivu prirodinu, ljudsku ruku.

Predočena slika mogućnosti ljudske ruke sigurno nije sveobuhvatna. Ona odražava iskustvo, znanje i spoznaje pojedinca uz pomoć misli nekih drugih pojedinaca. Međutim već i za ovaj opis trebala su, makar i najoskudnija znanja iz filozofije, biologije, medicine, alatničarstva i ostalih proizvodnih disciplina s područja proizvodnje prehrambenih proizvoda i sličnih područja pravljenja neživih umjetnina, informatike, termodinamike, sustavnosne teorije i njezine primjene u proizvodnim postupcima nastajanja živog i neživog. Potpuni opis ljudske ruke kao nenadmašivog sredstva djelovanja ne može dati pojedinac, pa makar on bio izuzetan poznavalac više disciplina. Ali može potaknuti zaokruživanje opisa, gdje bi svaki pojedinačni doprinos bitno unaprijedio ovdje opisane mogućnosti ljudske ruke. Posebice se to odnosi na potrebu da se opišu područja djelovanja ljudske ruke na području materijalne fitokulture i animalne kulture.

#### **Zahvala**

*Autori se zahvaljuju svima koji su svojim primjedbama pridonijeli poboljšanju ovog teksta. Posebno se zahvaljuju prof. dr. sc. Mladenu Štulhoferu. Tekst je nastao u okviru projekta Primjena sustavnosne teorije u raščlambi opće tehnike kojeg financira Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa. Zahvaljujemo se MZOŠ na financijskoj potpori.*



Članak “Pogled na ljudsku ruku” prožimajuće je umjetničko djelo – tekstualno i grafičko. Grafički aspekt ovog djela su slike M. Mariottia (1936.-1997.) čiju nam je reprodukciju odobrila njegova kćer Francesca Mariotti koju smo ujedno pitali za neke detalje rada s njenim ocem

## Francesca Mariotti

Ova djela su o metamorfozama, česta ideja čitavoga očevog rada je transformacija običnog u neobično. On je bio slikar, kipar, dizajner, grafičar... (1936.-1997., Firenca). Prvu zamisao oslikanih ruku realizirao je za izvedbu u kazalištu u Firenci 1973. i to slona. U tom razdoblju također je često radio kao scenski dizajner. Nakon što je razvio ovu ideju s ostalim životinjama, 1980. talijanski izdavač *La Nuova Italia* izdao je prvu knjigu nazvanu *Animani*, te su uslijedila mnoga internacionalna izdanja. U *Umani* 1982. umjesto u životinje transformirao je svoje ruke u ljude, zatim 1984. *Inganni* transformacijom svog lica u ostale oblike. Godine 1987. počinje moja suradnja s njim i zajedno smo realizirali 1988. “Rimani”, opet životinje ali s četiri ruke. U tom razdoblju počela sam raditi na svakoj filmskoj produkciji,

na knjizi te zabavnim sadržajima koji su zahtjevali rad s naslikanim rukama. Godine 1990. vezano uz svjetsko prvenstvo u nogometu održano te godine u Italiji uradili smo *Fallo di mano* s rukama/nogometašima a 1992. za Olimpijske igre načinili *Giochi di mano* (Igre s rukama). Tamo je također bilo izdanje nogometa napravljeno samo u Japanu, te je realizirao uspješno dvije reklame, dobitnice mnogih nagrada kao *Grand prix* u Cannesu i Zlatna nagrada u New Yorku. Sve ideje su prvo nacrtane na papiru i onda realizirane na rukama.

Upotrebljavali smo vodene boje s četkama, oči smo preuzimali od lutki ili plišanih životinja ali je također funkcioniralo s jednostavnim kućanskim stvarima poput dugmadi, itd. Sve smo sami slikali. Nastavljam njegov rad, pripremam izložbe, radionice, reklame...

Ovog lipnja bit će na prodaji serija bilježnica *Basetti* s životinjama. Nisam sigurna hoće li se prodavati diljem svijeta, a u rujnu 2009. planiram izložbu u Firenci.

Ideja uključivanja mene u ovaj posao proizlazi iz moje strasti za profesionalnom šminkom, promatrajući moju majku koja je bila profesionalna balerina. Otkad mi je otac preminuo, ja sam preuzela čitavo njegovo djelo. Od 2004. prikupljam materijale za arhivu koja će vjerovatno biti premještena u muzeju blizu Firence. Arhivu čine stotine crteža, slika, skulptura, grafičkih djela, fotografija, videa, itd. Količina umjetnina je jako velika i ne mogu se više sama nositi s njom. Naslikane ruke su tek mali dio toga.



**Literatura**

1. O. Spengler; Čovjek i tehnika, Laus, Split, 1991,
2. G. Ropohl; Eine Systemtheorie der Technik, Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie, C. Hanser Verlag, München, Wien, 1979,
3. I. Čatić; N. Razi; P. Raos; Analiza injekcijskog prešanja polimera teorijom sustava, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1991,
4. I. Čatić; M. Rujnić-Sokele; The systemic analysis of injection moulding, Polimery, 47 (2002.) 1, 15-21,
5. I. Čatić; F. Johannaber; Injekcijsko prešanje polimera i ostalih materijala, Društvo za plastiku i gumu i Katedra za preradu polimera FS B-a, Zagreb, 2004,
6. B. Berginc; I. Čatić; Z. Kampuš; The systemic analysis of metal injection moulding, Polimeri 27(2006)1, 7.-12,
7. Primjena sustavne teorije u raščlambi opće tehnike, projekt MZOŠ (2007.-2009.), voditelj I. Čatić, 120-000000-1805,
8. I. Čatić; Zašto je moguć korjeniti razvoj materijala, a samo inovativni proizvodnih postupaka i proizvoda?, Polimeri 24(2003.) 2.-4. 64.-73,
9. A. Rogić; I. Čatić; D. Godec; Polimeri i polimerne tvorevine, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2008,
10. I. Čatić; Uvod u strojarstvo, vlastita naklada, 2001,
11. HINA; Predak tisućljeća (Orroin tugenensis) Vjesnik 24. ožujka 2001,
12. The Revolutionary Birth of Man,  
<http://www.marxist.com/science/revolutionarybirthofman.html>,
13. I. Čatić; Lj. Šarić; Prilog sustavnoj analizi hrvatskog jezika, Rasprave Zavoda za hrvatski jezik, 20. (1994.) 19-30,
14. S. Semaw; P. Renne; J. W. K. Harris; C. S. Feibel; R. L. Bernor; N. Fesseha; K. Mowbray; 2.5-million-year-old stone tool from Gona, Ethiopia, Nature 385(1997.) 333.-336,
15. I. Čatić; M. Rujnić-Sokele; O-znanosti i I-znanosti, 16. dani Frane Petrića, Hrvatsko filozofsko društvo, Cres, 24. - 26. rujna 2007. 58.-60,
16. DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung, 8580, Beuth Verlag GmbH, Berlin, September 2003,
17. I. Čatić; Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006,
18. R. S. Lenk; Rheologie der Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München, 1971,
19. M. Raab; Materiály a člověk, Encyklopedický Dum, Spol - s.r.o, Praha, 1999,
20. I. Čatić; H. Tiljak; G. Petriček; M. Rujnić-Sokele; Prirodni model injekcijskog prešanja, 6. lošinjski dani bioetike, Mali Lošinj, 12. lipnja 2007,
21. Đ. Antolić; Kako pravim kuglice, privatno priopćenje, Zagreb, 2007,
22. I. Čatić; Izmjena topline u kalupima za injekcijsko prešanje plastomera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1985,
23. M. Štulhofer; Privatno priopćenje, Zagreb, 2007,
24. O. Muftić; Mehanika živih sustava, Tehnička enciklopedija, vol. 8. JLZ, Zagreb, 1983,
25. N.N.; Kolumna fizioterapeuta – miogelozе,  
<http://www.scipion.hr/fizioterapija/katalog-det.asp?IDGrupa=7&IDPodgrupa=7>.

**Izvor fotografija**

1. M. Mariotti: Humans, Green Tiger Press, La Jolla, California, 1982,
2. M. Mariotti: Hanimals, Green Tiger Press, La Jolla, California, 1982,
3. M. Mariotti: Hanimations, Kane/Miller Book Publisher, Brooklyn, New York, La Jolla, California, 1982.

*Evolucijske promjene građe ruku zahvatile su sve njezine dijelove, od ramenog obruča pa sve do vrhova prstiju.*

*Svako jutro kada uđete u kupaonicu svjedočite jednoj zanimljivoj anatomske činjenici – pregibanjem ruku u laktovima oba vam dlana dodiruju lice i učinkovito ga umivaju!*



# Ljudska ruka – evolucijski razvoj sustava

Dr. sc. Ivan Krešimir Lukić, Biosistemi d.o.o., Zagreb

Prof. dr. sc. Ana Marušić, Medicinski fakultet, Sveučilište u Splitu

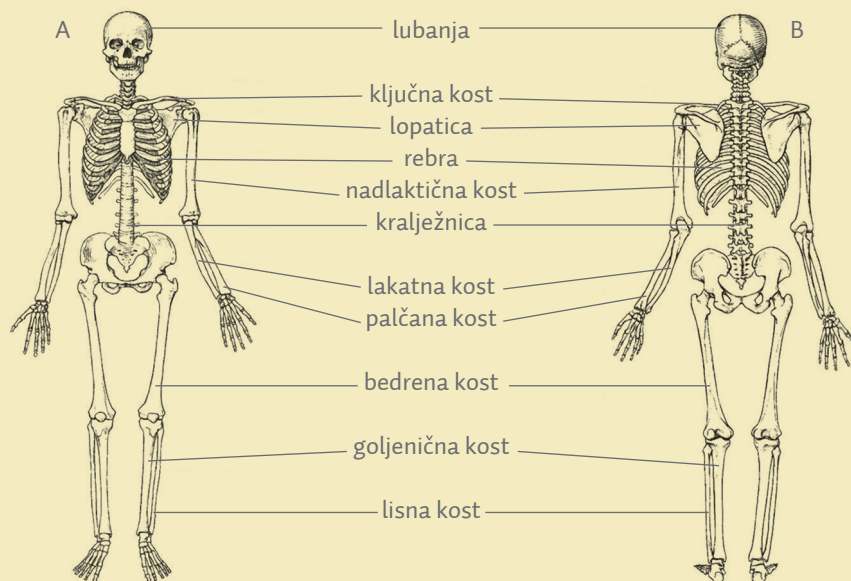
Evolucija je pojam kojim opisujemo postupnu promjenu živih bića na Zemlji od generacije do generacije. Neke vrste nestaju, neke nove nastaju, a one postojeće se pak nastoje što je moguće bolje prilagoditi okolišu. Jedna od promjena kojom je bila zahvaćena vlastita vrsta jest uspravljanje od četveronošca u dvoonošca. Pri tome nam je potpuno jasno da su naše prednje noge doživjele najradikalnije promjene, i to do te mjere da smo ih odlučili nazvati ruke. Za ovaj broj Sustava odlučili smo se poslužiti rukom kao primjerom na kojem ćemo promotriti načine kako je evolucija preoblikovala naše tjelesne sustave - u našem primjeru je to lokomotorni sustav, tj. sustav organa za pokretanje.

Ukoliko raščlanjujemo evoluciju kralješnjaka, kod riba ćemo se prvi put susresti s udovima, i to u obliku njihovih peraja. Iako peraje odlično obavljaju svoju ulogu u vodi, uvjeti kretanja na kopnu bitno su drugačiji, što se onda ogleda i u različitoj građi udova kopnenih kralješnjaka. Naime, izlaskom kralješnjaka na kopno, kosti udova postaju masivnije i čvršće te su potpuno okoštale, a kosti ramenog obruča (u ljudi ga čine lopatica i ključna kost), više nisu prirasle uz lubanjske kosti. Postupno međutim, prednji udovi poprimaju i drugu ulogu, odnosno ne služe više

samo pokretanju. Brojni sisavci prednje noge koriste kao oruđe, tj. oružje što je posebno dobro izraženo u primata, a ponajbolje u ljudi. Dok čimpanzama prednji udovi služe kako bi se kretale po drveću, naše su se ruke u cijelosti preobrazile u sustav za rad.

*Evolucijske promjene građe ruke zahvatile su sve njezine dijelove, od ramenog obruča pa sve do vrhova prstiju.* Ukoliko

krenemo od ramena, primijetit ćemo da je velika pokretljivost ruke u cjelini zapravo posljedica izrazite prilagodbe ramenog obruča (slika na stranici 28). Za razliku od masivnog zgloba kuka, kojim je noga pričvršćena za trup, ruku za trup povezuje samo mali zglob između ključne i prsne kosti. Na tom zglobu, kojega u anatomiji zovemo sternoklavikularni zglob, zapravo visi cijeli gornji ud: ključna



▲ Schematizirani prikaz kostura odraslog čovjeka, srijeda (A) i straga (B).

Izvor: N. Kovačić; I.K. Lukić; Anatomija i fiziologija, Medicinska naklada: Zagreb; 2006. Uz dozvolu izdavača.

## Ljudska ključna kost svojom se veličinom smjestila između veće kosti majmuna i manje kosti slona.

kost je povezana s lopaticom na koju se pak nastavlja nadlaktična kost. Premda je sternoklavikularni zglob malen, izuzetno je čvrst jer ne samo da nosi težinu ruke, nego se njime i sile s ruke prenose na trup, primjerice kod pada na ruku ili pri vježbanju na ručama. Zanimljivo je kako nam pri tome veličina ključne kosti može poslužiti kao pokazatelj opterećenja. Ljudska ključna kost se svojom veličinom smjestila između kosti majmuna i slona. Majmuni, koji su manji od čovjeka, imaju dugu i masivnu ključnu kost, veću nego u čovjeka jer su mehanička opterećenja koja njihova ključna kost prenosi na trup prilikom skokova s grane na granu izuzetno velika. S druge strane, slon ima zakržljalu ključnu kost ili ju uopće nema, premda je njegova tjelesna masa višestruko veća (prosječna težina slona je oko 6 tona, a čovjeka oko 70 kilo-

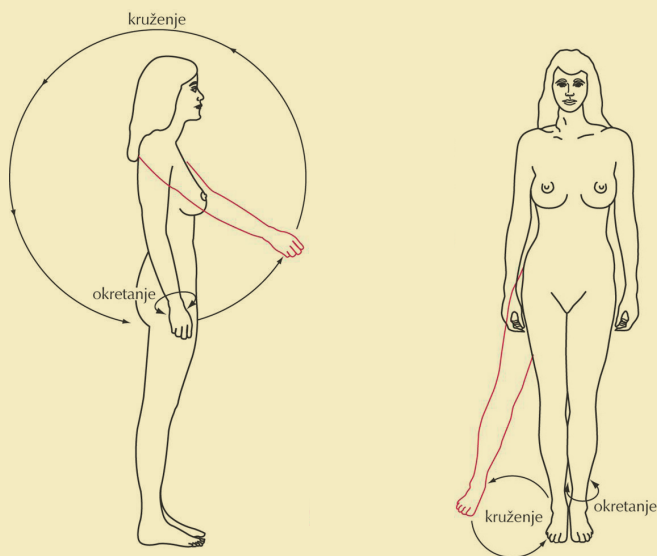
grama). Konačno, iako kažemo *rameni obruč*, zapravo je riječ o *prekinutom prstenu* → na prsnu kost se nastavlja ključna kost, koja je uzglobljena s lopaticom. No, dvije lopatice nisu u međusobnom dodiru, za usporedbu zdjelični obruč je potpun i neprekinut prsten kojeg čine dvije zdjelične kosti između kojih je umetnuta križna kost. Sukladno tome, kukovi imaju stalan položaj, dok je rame moguće pomicati naprijed–natrag.

Sljedeći način na koji se osigurava velika pokretljivost ruke je način na koji su lopatica i nadlaktična kost uzglobljene u rameni zglob. Ukoliko promislimo o građi tog zgloba, a posebno ukoliko ga usporedimo sa zglobom kuka, jer je to odgovarajući zglob donjeg uda, lako ćemo uočiti kako je ta pokretljivost ostvarena. Udubljeno zglobno tijelo zgloba kuka – koje se nalazi na zdjeličnoj kosti – oblika je zdje-

lice te dobro odgovara obliku glave bedrene kosti. Dodatno, zglobna ovojnica je čvrsta i zategnuta, a zglobne sveze ili ligamenti dobro su razvijeni i izuzetno jaki. O čvrstoći tih sveza govore nam i neki od okrutnijih povijesnih primjera mučenja, tako primjerice kada se čovjeka željelo s pomoću konja raščetvoriti prije bi pucale bedrena i zdjelična kost, negoli sveze/ligamenti koji sudjeluju u zglobu kuka!

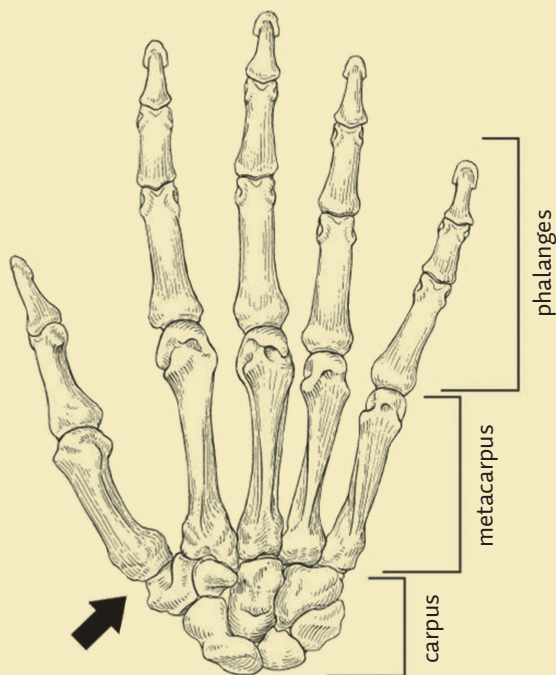
Nasuprot kuku, u ramenom zglobu postoji naglašeni nesrazmjer u veličini zglobnih tijela. Udubljeno zglobno tijelo na lopatici je plitko i malene površine, dok je površina zglobnog tijela na nadlaktičnoj kosti dva do tri puta veća od one na lopatici. Osim toga zglobna ovojnica je veoma izdašna i labava, a zglobne sveze slabo razvijene.

Osim izuzetne pokretljivosti, postoje i druge evolucijske prilagodbe kojima je ruka postala oruđe. Recimo, oba gornja uda u ljudi djeluju kao jedinstveni alat, a to je među inim, ostvareno sitnom i naoko nevažnom promjenom građe zglobnih tijela u lakatnom zglobu. Dok su u drugih primata zglobna tijela na nadlaktičnoj i lakatnoj kosti postavljena okomito na uzdužnu os kosti, u čovjeka je os zglobnog tijela nadlaktične kosti, takozvane trokleje (zglobni valjak), postavljena pod tupim kutem u odnosu na uzdužnu os nadlaktične kosti. Posljedicu možete lako vidjeti i sami – ukoliko promotrite ruku ispruženu u laktu, primijetiti ćete da nadlaktica i podlaktica zatvaraju tupi kut, otvoren prema van, tj. od tijela. Da je os zglobnog tijela nadlaktične kosti okomita na uzdužnu os nadlaktične kosti, pri ispruženom bi laktu nadlaktica i podlaktica oblikovale kut od 180°. Što to međutim praktično znači? Posljedica te promjene jest da se prilikom pregibanja



▲ Usporedba pokretljivosti u ramenu i kuku.

Izvor: N. Kovačić; I.K. Lukić; Anatomija i fiziologija, Medicinska naklada: Zagreb; 2006. Uz dozvolu izdavača.



- ◀ Shematizirani prikaz kostura desne šake odraslog čovjeka. Strjelica pokazuje na korijenski zglob palca. Zglobna tijela oblikovana poput sedla omogućavaju palcu da stane nasuprot ostalih prstiju ("opozicija"). Carpus: kosti pešća; metacarpus: kosti zapešća; phalanges: članci prstiju. Izvor: N. Kovačić; I.K. Lukić; Anatomija i fiziologija, Medicinska naklada: Zagreb; 2006. Uz dozvolu izdavača.

ruke u laktu lijeva i desna podlaktica i šaka približavaju jedna drugoj, čime šake mogu djelovati zajedno, kao jedinstveno oruđe. Sjetite se te anatomske činjenice ujutro u kupaonici – pregibanjem ruku u laktovima oba vam dlana dodiruju lice i učinkovito ga umivaju! Osim toga, budući da nadlaktica i podlaktica zatvaraju tupi kut usmjeren prema van, ispružena podlaktica ne udara u bedro. Time je uveliko olakšano nošenje tereta u ruci.

Konačno, šaka se u čovjeka evolucijski razvila u izuzetno specijalizirani sustav vezan uz uporabu prstiju pri rukovanju predmetima. Najvažnija promjena koja je dovela do toga je promjena građe palca koji u ljudi izvodi jedinstvenu kretnju: opoziciju palca (anatomski: *oppositio*), a koja ne postoji u drugih primata. To je kretnja kojom jagodicom palca dodirujemo jagodice ostalih prstiju. Kretnja opozicije moguća je zbog posebno građenog korijenskog zgloba palca – zgloba koji spaja sedlastu kost pešća (korijen šake; anatomski: *carpus*) i prvu kost zapešća (anatomski: *metacarpus*). Taj je zglob jedinstven u ljudskom tijelu – naziva se sedlastim zglobovom jer obje zglobne plohe imaju oblik sedla, što omogućuje palcu da stane nasuprot (u opoziciji) ostalim prstima (slika gore).

Vажnost palca naglasit ćemo i činjenicom da se smatra kako pola funkcije šake

Evolucijska prilagodba šake primata (red kojem pripada i čovjek) kao sustava. Majmuni avetnjaci pripadaju u evolucijski najniže primata. Oni ruke koriste za penjanje po krošnjama i prijanjanje za grane, i imaju duge prste i razvijene jagodice prstiju. Giboni imaju duge i snažne prste koji im pomažu u skokovima i ljuljanju na granama. Čimpanze su evolucijski i anatomski najbliže čovjeku, ali im se šake jako razlikuju od naših: dok čimpanza može šake koristiti za grube zahvate, primjerice držanje štapa kojim hvata bananu ili držanje kamena kojim razbija orahovu ljusku, čovječja šaka je s posebno razvijenim palcem postala savršen sustav za prihvaćanje i rad s predmetima, od oruđa za obradu drveta ili metala, preko oružja i strojeva do udijevanja konca u iglu, rukovanja mikrokirurškim instrumentima ili zakopčavanja dugmeta košulje.

Izvor slika primata: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)



avetnjak



gibon



čimpanza



čovjek



pripada upravo palcu, dok preostali četirima prstima pripada druga polovica. Prsti čovječje šake također su se prilagodili novim evucijskim zahtjevima, a zajedno s dlanom omogućavaju izvođenje dvaju ključnih pokreta, koje stručno nazivamo stisak preciznosti (engl. *precision grip*) i stisak snage (engl. *power grip*). Stisak preciznosti lijepo se vidi u vještini koja je potrebna pri udijevanju konca kroz ušicu igle, dok stisak snage dolazi do izražaja pri radu s čekićem.

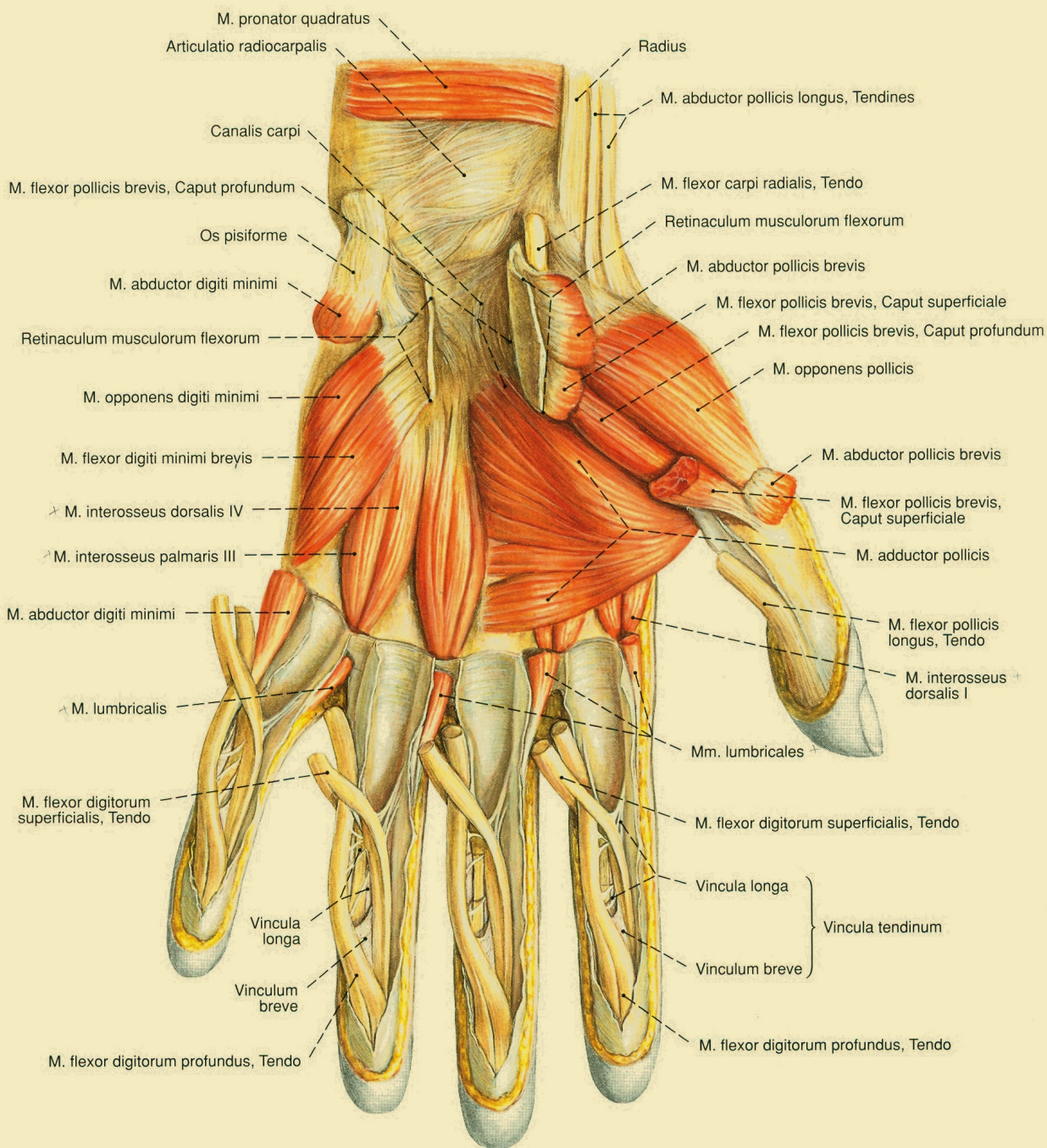
Tako se ljudska ruka počela mijenjati i prije što smo se počeli koristiti alatima, razvitak ruke kao specijaliziranog sustava odredio je daljnji razvitak čovjeka. Nažalost, za taj smo razvoj morali platiti cijenu. Tako je zbog nužnosti velike pokretljivosti, rameni zglobov izrazito nestabilan. Naime, obilata zglobna ovojnica i razmjerno slabe zglobne sveze ne mogu održavati čvrst odnos među zglobnim tijelima pa su iščašenja ramena prilično česta, tzv. habitualno iščašenje. Kako bismo vam što zornije to prikazali prisjetite se jednog od najpoznatijih filmskih ciklusa *Smrtonosno oružje* i njegova junaka redarstvenika Martina Riggsa (glumi ga Mel Gibson), koji ima problema upravo s ovakvom vrstom iščašenja ramena. Nadalje, budući da nam je ruka temeljno oruđe, njezina pretjerana uporaba može dovesti do oštećenja i

prijeвременog starenja njezinih dijelova. Tako u stanju kojeg nazivamo grčem pisaca (engl. *writer's cramp*), dolazi do gubitka preciznosti finih pokreta prstiju te bolova i osjećaja pritiska u prstima, korijenu šake i podlaktici. Dakle, kao što bismo pomno trebali paziti na vrijedne nam i skupocjene alatke koje nam uvelike olakšavaju život, tako bismo još i više morali paziti i na stanje našeg glavnog oruđa, naše ruke.

U slučaju grča pisaca te niza drugih poremećaja koje pribrajamo skupini sindroma prenaprezanja (prisjetite se teniskog lakta), najbolji savjet je pravovremeno napraviti stanku (*Take a break!*) čime i dovršavamo ovaj članak.

*Šaka se u čovjeka evucijski razvila u izuzetno specijaliziran sustav vezan za upotrebu prstiju pri rukovanju predmetima.*





▲ Anatomija ruke

Izvor slike:

R. Putz, R. Pabst. Sobotta - Atlas der Anatomie des Menschen. 22. izdanje

© Elsevier GmbH, Urban & Fischer Verlag, Muenchen

Hrvatsko izdanje: Naklada Slap, Jastrebarsko

# Ozljede ruke u sportu

Mr. sc. Miljenko Franić dr. med.  
Specijalist ortopedije  
KB Dubrava, Zagreb

Akutne ozljede i kronična oštećenja sustava za kretanje (lokomotornog sustava), učestale su u životu modernog čovjeka. Ruka je vrlo važan dio sustava za kretanje stoga su učestale ozljede i oštećenja ramena, lakta i šake.

Karakteristika ozljede je akutnost nastanka, odnosno točno znamo trenutak kada je ozljeda nastala. Oštećenje je kroničnog karaktera te nastaje kao posljedica niza uzastopnih mikrotrauma koje nazivamo sindromi prenaprezanja. Poseban problem predstavljaju kronična oštećenja sustava za kretanje obzirom na dijagnozu, razumijevanje uzroka nastanka te mogućnosti liječenja i prevencije. Liječnička pomoć traži se gotovo uvijek kasno, tj. kada je bol već ozbiljna smetnja sportskim aktivnostima. Često zanemarujemo početne simptome koji najčešće počinju postupno, no kada se već razvije klinička slika sindroma prenaprezanja, liječenje je otežano i zasniva se na kraćem ili dužem smanjenju aktivnosti što je teško prihvatljivo većini bolesnika. Osnova nastanka svih sindroma prenaprezanja sustava za kretanje je ponavljanje traume koja nadvladava sposobnost reparacije tkiva (tetiva, kosti, mišića, hrskavice). Plivač tijekom samo jenog treninga napravi oko 4000 zaveslaja, što iznosi i više od 800 000 zaveslaja u jednoj sezoni, pa nas znajući to ne iznenađuje da oko 60% vrhunskih plivača ima tegobe u smislu sindroma prenaprezanja u području ramena.

Ruku čine rame i nadlaktica, lakat i podlaktica te ručni zglob i šaka. Glavna



▲ Rtg prijeloma palčane kosti zadobivenog padom s motora



▲ Rtg nakon operacije, načinjena osteosinteza pločicom i 4 vijka

i najvažnija uloga ruke je pozicioniranje šake u odgovarajući položaj za obavljanje željene radnje.

Šaka je najsavršeniji organ lokomotornog sustava te o njenoj funkcionalnoj sposobnosti ovisi stvaralačka i sociološka sposobnost čovjeka. Glavna uloga ruke (odnosno ramena, nadlaktice, lakta, podlaktice i ručnog zgloba), je pozicioniranje šake u odgovarajući položaj za obavljanje određene radnje. Šaka koja se nalazi na krajnjem dijelu ruke istovremeno je izvršni i osjetni organ. O složenosti funkcije šake svjedoči i značajna veličina dijela mozga koji upravlja i kontrolira upravo funkciju šake. Šaka je izvanredno mobilna i prilagodljiva obliku predmeta koji hvata ili istražuje. To je moguće zahvaljujući posebnoj građi šake i ručnog zgloba koji se sastoje od 27 kostiju, 36 zglobova i 38 mišića.

Obzirom na veliki broj tetiva koje su smještene u području podlaktice i šake, vrlo su česti sindromi prenaprezanja, a najčešće se manifestiraju u obliku tendinitisa i tenosinovitisa – upale tih tvorbi. Svrha liječenja oboljele šake je prvenstveno restauracija funkcije dok vanjski izgled uglavnom ima sekundarno značenje.

Škljocavi prst ili “trigger finger” označava pojavu otežanih ili aktivno neizvodivih kretnji prsta, a pri kretnji se kadšto čuje zvučni fenomen – škljocaj. Radi se o kroničnom struganju tetiva o glavicu metakarpalne kosti, najčešće na dominantnoj šaci, češće u žena.

Periferni živci ruke prolaze u svojem toku kroz nerastezljive koštano-vezivne kanale, gdje mogu biti stiješnjeni (kompimirani) i ozlijeđeni. Nervus medianus prolazi u području korijena šake kroz koštano-vezivni kanal, zbog čega u nekih osoba nastane “sindrom karpalnog kanala” (koji pripada skupini *kanalikularnih sindroma*).

Lakat povezuje dva segmenta ruke, podlakticu i nadlakticu i omogućuje šaci uz komplementarne pokrete u rameu veliku pokretljivost. Podlakticu čine lakatna i palčana kost. Lakatnu kost smatramo produžetkom nadlaktične dok je palčana kost pretežno vezana uz funkciju šake. Teniski lakat vjerojatno je najpoznatiji sindrom prenaprezanja. Valja napomenuti da se samo u 5 % slučajeva javlja kod tenisača, dok je znatno češći kao profesionalna bolest (95 % slučajeva), daktilografa, zidara, postolara, kuhara, zubara, kirurga i ostalih profesija kod kojih se ponavljaju kontrakcije mišića podlaktice.

Rame je najpokretljiviji zglob u ljudskom tijelu. Pokretljivost zglobova omogućuje nerazmjernost zglobova i obilatost



▲ Igrač sa loptom sprema se na udarac prema голу, faza “kuhanja” dok igrači u obrani rukama blokiraju udarac. U ovom slučaju kompletno tijelo omogućava ruci željeni položaj. Vidimo koliko energije je potrebno da tijelo postavi šaku u željeni položaj.

zglobne čahure. Zbog tih osobina rame je vrlo nestabilan zglob. Nestabilnost ramena može biti u bilo kojem smjeru (najčešća je prednja nestabilnost). Uzrok nestabilnog ramena je najčešće pad na ispruženu ruku nakon čega nastane iščašenje (luksacija) ramena. Bolno rame (rame plivača), je najčešći problem kod vaterpolista. Možemo reći da incidencija bolnog ramena korelira sa intenzitetom treninga u vaterpolista te prema dostupnim istraživanjima do 80% vaterpolista ima problem bolnog ramena.

Kod dugotrajnog zadržavanja ruke u poziciji iznad glave javlja se sindrom sraza ramena (učestalo pojavljivanje u bejzbolu, odbojci, tenisu, atletici, plivanju...). U trenutku kada se ruka nalazi visoko iznad glave dolazi do sudaranja mišića rotatorne manžete ramena te akromioklavikularnog luka. Najčešće je zahvaćena tetiva supraspinatuse. Kod neadekvatnog liječenja može doći i do rupture tetiva.

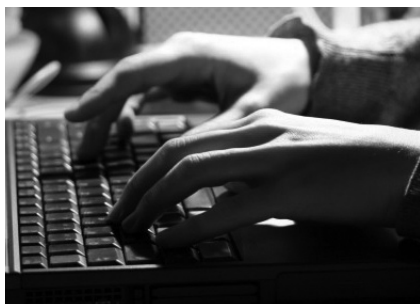
### **Prijelomi zamora**

Prijelomi zamora čest su problem, posebice u sportskoj medicini. Ovisno o medicinskoj ustanovi ti prijelomi čine između 1,1 i 3,7 % svih ozljeda sportaša. Prijelom kosti može biti posljedica djelovanja ili jednokratne jake sile ili mnogobrojnih

ponavljanja sila male jakosti. Sposobnost kosti da podnosi ponavljana opterećenja ovisi o veličini opterećenja, o broju ponavljanja te o učestalosti (frekvenciji), opterećenja. Do prijeloma uslijed zamora dolazi kada opterećenje, tj. zamor nadvlada sposobnost reparacije kosti. U žena se vrlo često ističe kao uzrok nastanka prijeloma zamora i hormonalni disbalans. Prijelomi zamora na ruci su vrlo rijetki, ali je važno prilikom postavljanja dijagnoze pomisliti i na njih.

### **Vježbe istezanja**

Fleksibilnost tijela dobar je pokazatelj zdravlja te je dijelom prirođena i podložna promjenama tijekom života, a dijelom je stečena i može biti poboljšana odgovarajućim vježbama. Program vježbi za postizanje gipkosti tijela koristan je u smislu relaksacije od stresa i psihičke napetosti, zatim u smislu mišićne relaksacije, poboljšanja tjelesnih sposobnosti i držanja tijela, smanjenja razika od ozljeda te podizanje svijesti o vlastitim sposobnostima. Kvaliteta istezanja značajnija je od kvantitete istezanja i upravo ona dovodi do optimalne fleksibilnosti.





# Ruke u plesu

Nensi Ukrainczyk, dance.lab collective  
mr. sc. Nikica Viličić, HID, ANZIP

*Svima je poznato kako pokreti ruku igraju važnu ulogu u našem svakodnevnom životu. Promatrajući sugovornike primijetit ćete kako njihove ruke prate verbalni dio komunikacije. Bilo da su stisnute, opuštene, u pokretu ili prekrizene, ruke govore svoju priču. U nekim profesijama pokreti ruku su glavni alat kojim se obavlja posao. Prometni policajac njima kontrolira promet, treneri u profesionalnim sportovima koriste geste ruku za prenošenje određene poruke igračima, dirigent rukama određuje tempo, dinamiku i mjeru glazbe koju izvodi orkestar. Prisjetite se, primjerice, kada ste pokušali nekome objasniti kako doći do određene ulice. U nastojanju da što bolje objasnite put kojim treba ići, mahali ste rukama kojima ste pokazivali smjer te objašnjavali gdje skrenuti i što zaobići. Kada biste utišali svoj glas, ostao bi samo pokret koji bi nalikovao na malu plesnu sekvencu ruku.*

Ples je univerzalni govor tijela, sredstvo komunikacije i izražavanja osjećaja. Star je gotovo kao i čovječanstvo, a prije plesa postojao je pokret. Društvenu važnost pokreta pronalazimo još u najranijim danima ljudskog društva. U počecima svog postojanja, prije razvoja govora, čovjek je komunicirao različitim gestama i pokretima tijela. Kroz pokrete i geste izražavao je reakcije na određene emocije, ali je izražavao i svoje stavove, namećao se kao autoritet ili upozoravao na opasnost. Kasnije se pokret razvio u ples koji je imao svoju svrhu. Njime su se održavali rituali, štovali su se bogovi, doživljavala se kiša ili bogatiji urod. Iz pokreta se razvio ples, a potom i plesna umjetnost. Tijekom godina, različiti društveno-kulturni čimbenici utjecali su na razvoj plesne umjetnosti i formiranje široke lepeze plesnih izražaja. U svakoj od tih for-

mi, glavni instrument je tijelo plesača, a ples je određen ili popraćen ritmom, glazbom, dahom ili tišinom.

Ruke čine dio najsavršenijeg instrumenta, ljudskog tijela, od ramenog zgloba pa sve do prstiju. U plesnoj umjetnosti imaju veliku važnost u izražavanju priče, osjećaja ili stanja. U funkcionalnom smislu igraju važnu ulogu pri održavanju ravnoteže prilikom izvođenja komplikiranih pokreta nogu i tijela, pogotovo kod pirueta, nekih skokova i sekvenci na podu, stoga su aktivni sudionici u umjetnosti pokreta. Zbog svoje anatomije i sposobnosti rotacije u zglobovima, pokreti ruku mogu izgledati nevjerovatno mekani i povezani, dok s druge strane, mogu biti vrlo čvrsti i eksplozivni.

## **Malo o anatomiji**

Kostur ruku ili gornjih ekstremiteta

spojen je s kosturom trupa lopatičnim pojasom, koji se sastoji od dvije kosti, ključne kosti (*scapula*) i lopatice (*clavicula*). Zahvaljujući zglobovima koji povezuju dijelove ruke omogućeno je njeno kretanje. Ruka se sastoji od nadlaktice ili ramenice (*humerus*), podlaktice koju čine dvije kosti (*radius* i *ulna*) i šake. Rameni zglob spaja ruku s tijelom, lakat spaja nadlakticu i podlakticu, a zglob šake spaja podlakticu sa šakom. Šaka se sastoji od dlana i prstiju, odnosno, kosti šake se sastoje od tri dijela: ručja (*ossa carpi*), doručja (*ossa metacarpalia*) i članka prstiju (*phalanges digitorum manus*). Svaki prst ima tri članka, s izuzetkom palca, koji ima dva članka. Prsti su završetak ruke i na njih se pridonosi posebna pozornost u plesu. Primjerice, plesači i plesačice Indije već stoljećima pričaju priče plešući prstima.

### Ruke u klasičnom baletu

Klasični balet svoje pokrete bazira na gracioznosti i estetici. Balet je zasnovan na plesnim pokretima koje su se razvijale u raznim varijacijama sve do danas. Sustav vježbi, pozicije ruku i nogu, odnosno postava tijela strogo su određeni. Karakteristika baletne umjetnosti su otvorene pozicije nogu, od kukova pa sve do stopala. Međutim, otvorenost stopala prisutna je i u nekim Indijskim plesovima, stoga bismo mogli reći i da je karakteristika koja odvaja balet od ostalih plesnih formi ples na vršcima prstiju (*en pointe*), u šlapicama koje se nazivaju špice, a izvode ga samo plesačice. Pet osnovnih pozicija stopala karakterizira otvorenost nogu, na način da se stopala maksimalno zakreću prema van, za 90 stupnjeva u odnosu na paralelni položaj. Zakretanje zglobova prema van započinje već u kukovima, nastavlja se na koljenima, sve do skočnog zgloba i nožnih prstiju. Ta otvorenost ima svoje anatomske i mehaničke razloge te istovremeno postavlja neke estetske zakonitosti koje balet čine specifičnim u usporedbi s drugim vrstama plesa.

Svako tko je gledao balet može potvrditi kako su ruke plesača elegantne i graciozne. Bilo da se izvode skokovi ili okreti, ruke skladno prate pokrete tijela,

*Povijest baleta počinje u vrijeme renesanse u Italiji. To su bili raskošni spektakli, parade u kojima se pjevalo i plesalo, recitirali su se stihovi, prikazivali razni mitološki sadržaji, nakon čega bi se svi izvođači okupili na svečanom plesu. Pravi procvat baleta odvija se u Francuskoj, kada je kralj Louis XIV, najpoznatiji plesač tog doba, počeo okupljati darovite plesne umjetnike. Prije nego što je prestao plesati, omogućio je budućnost baleta u Francuskoj osnivanjem "Academie Royale de Danse", 1661. godine.*

a pokreti se izvode s nevjerojatnom lakoćom. Međutim, do tog stupnja plesačice i plesači dolaze nakon godina i godina rada, a za postizanje lakoće pokreta i skokova potrebna je svakodnevna vježba. Ne treba zanemariti ni ples u dvoje, odnosno duet (*pas de deux*), koja je jedna od najzahtjevnijih plesnih formi. U njoj plesači moraju postići plesачki, glazbeni i umjetnički sklad. Osim toga, plesač

*Izraz Port de bras u baletu označava upotrebu ruku, što bi se moglo prevesti kao „vožnja ruku“, odnosno, definiranje na koji način se ruke vode u odnosu na pokrete tijela. Iako se ti pokreti isprva uče odvojeno od ostalih treba imati na umu da je konačna svrha koordinirati pokrete ruku s pokretima cijelog tijela. Prve forme su jednostavnije, a kasnije se ti pokreti koriste u kombinacijama s nagibima tijela, okretima i u skokovima. Različite škole imaju neke specifičnosti prilikom učenja port de bras, ali svima je zajedničko postizanje izražajnosti i sklada pokreta ruku s pokretima tijela.*



▲ Baletna papučica – špica

mora razviti snagu ruku za skladno i elegantno podizanje tijela partnerice te joj u isto vrijeme ulijevati sigurnost prilikom skokova, podrški i prenošenja.

### Pozicije ruku

U gotovo svim baletnim pozicijama ruke su lagano zaobljene. Važno ih je držati iz lopatica, pri čemu su ramena spuštена i opuštена dok su leđni mišići aktivni. Ujedno, kraj ruke, šaka, ima svoj karakterističan položaj. Prsti su skupljeni i prirodno opuštени, a srednji prst i palac su malo zaobljeniji od ostalih.

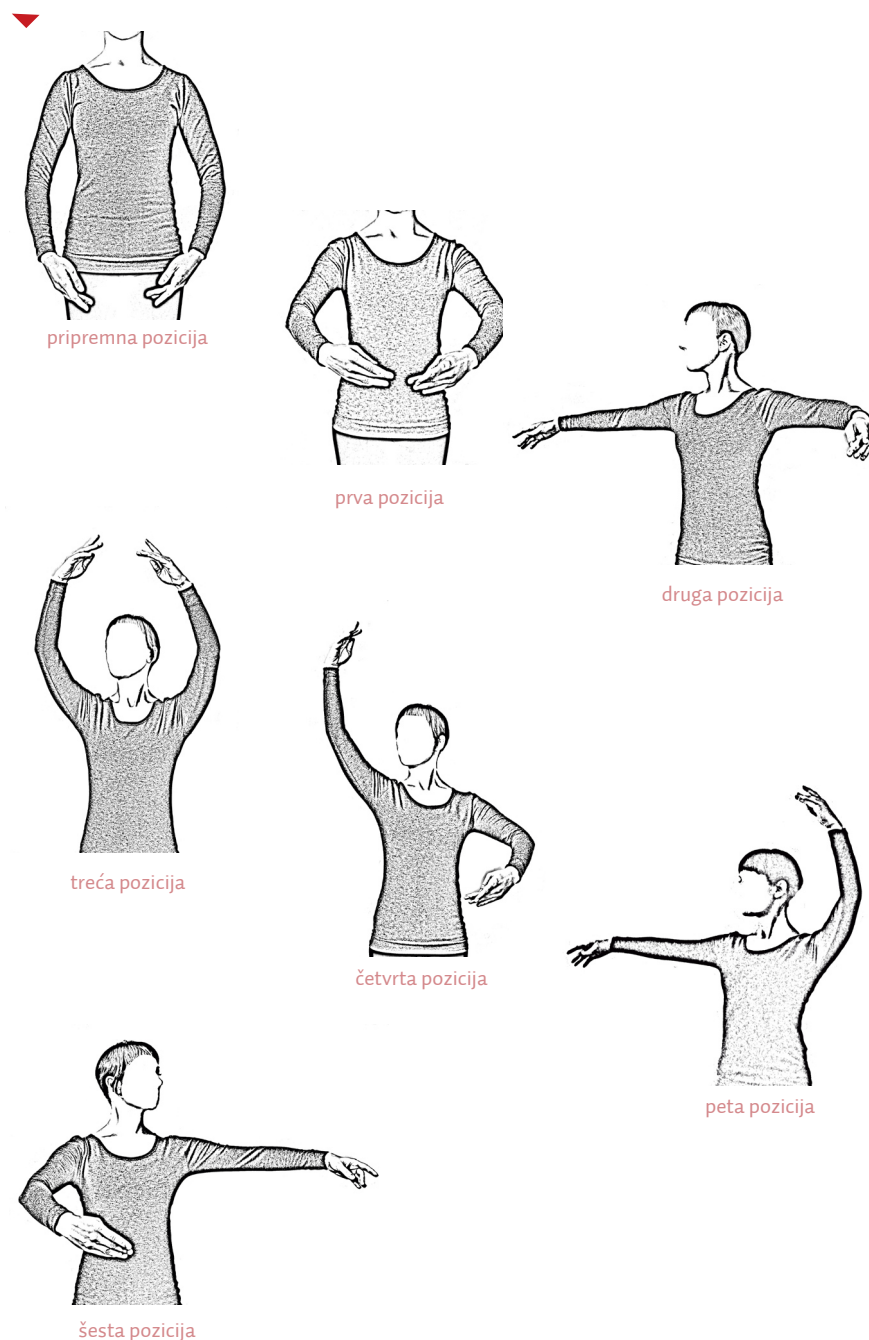
Pozicije ruku u klasičnom baletu su različito determinirane. Neke baletne škole prihvaćaju tri pozicije, ostale šest do sedam, iako sustav označavanja položaja ruku uključuje pripremnu i tri osnovne pozicije. U pripremljenoj poziciji, ruke su opuštene uz tijelo, a dlanovi su okrenuti jedan prema drugom. U prvoj poziciji, ruke se dižu iz pripremljene pozicije do visine pupka, lagano su zaobljene, a odvojene su od tijela na način da se laktovi dižu prema gore. Drugu poziciju karakteriziraju otvorene ruke, raširene u visini ramena, dlanovi su okrenuti prema naprijed, a ruke su lagano zaobljene, kao da se drži veliki balon. U toj poziciji ruke se drže iz mišića leđa, dok se lopatice ne spajaju, nego su spuštene i odvojene. Kod treće pozicije obje ruke su iznad glave, laktovi su lagano zaobljeni, a dlanovi su okrenuti jedan prema drugom. U svakoj od tih pozicija ruke zauzimaju simetričan položaj, osim kod vježbi na štapu gdje se jedna ruka pridržava za štap, dok druga zauzima određenu poziciju, ovisno o položaju nogu. Na osnovu tri osnovne pozicije ruku proizlaze tri nesimetrične, izvedene pozicije (četvrta, peta i šesta pozicija). Četvrta pozicija određena je jednom rukom u prvoj i drugom rukom u trećoj poziciji, petu poziciju karakterizira kombinacija druge i treće, a šestu poziciju karakterizira kombinacija prve i druge pozicije.

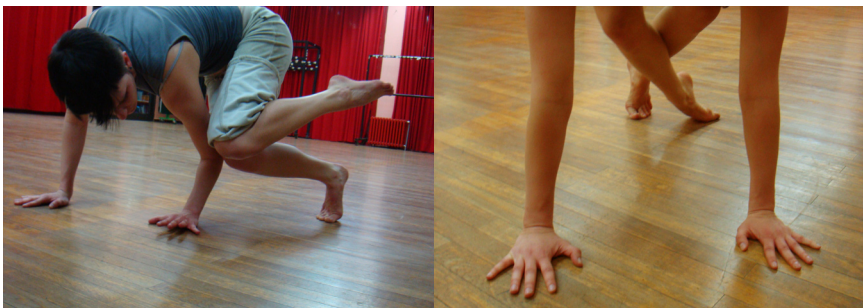
Prijelazi iz jedne pozicije u drugu izvode se pokretima koji započinju iz određenog dijela ruke, primjerice, prijelaz iz pripremljene u prvu vodi se iz laktova koji dižu ruke u zaobljenom obliku do visine pupka. Otvaranje ruku iz druge pozicije za-

počinje iz dlanova, dok prijelaz iz druge u primjerice šestu poziciju započinje rotacijom dlana i lakta prema dolje, sve dok ruka ne zauzme ispruženi položaj (*allongé*), nakon čega dlan vodi ruku u prvu poziciju u kojoj se postepeno zauzima zaobljeni položaj. Ispruženi položaj ruku koristi se, osim u prijelaznim pokretima, u nekim pozicijama kao što je *arabesque* u kojoj plesač stoji na jednoj nozi dok je

druga noga podignuta odostraga, ruka je ispružena daleko prema naprijed, a oba koljena su ispružena. Osim toga, na temelju tri osnovne i tri izvedene pozicije, koristi se niz varijacija položaja ruku u baletnim pozama i pokretima. Mada sve ove pozicije izgledaju jednostavne za izvesti, potrebne su godine rada kako bi se osvijestili dijelovi ruku kako bi pokreti izgledali graciozno i povezano.

Pozicije ruku u klasičnom baletu





▲  
Sekvenca na podu (I. Vratarić)  
Foto: N. Viličić

*Kontakt improvizacije počinju se razvijati početkom 70-ih godina prošlog stoljeća. Njihov začetnik je Steve Paxton.*

### **Ruke u suvremenom plesu**

Za razliku od klasičnog baleta, suvremeni ples se gotovo u potpunosti udaljuje od bilo kakvih zadanih formi. Dok moderne plesne tehnike (Graham, Cunningham, Horton i dr.) zadržavaju određene forme i pozicije u otklonu na balet, suvremene plesne tehnike u potpunosti napuštaju bilo kakvo strogo određivanje forme. Ono što može zbunjivati jest kako se onda uopće školuju suvremeni plesači, a da ni jedna pozicija nije određena?! Suvremeni plesni trening polazi od anatomske organizacije tijela pa tako i ruku što znači da će u konačnici biti onoliko oblika koliko je i individualnih tijela. No ipak, postoje određene zakonitosti koje se slijede i pritom se ipak prepoznaju određeni oblici.

Važno je da se forma ne nameće izvana već se oblikuje iznutra, kreće od samog pojedinčeva tijela prilagođavajući se njegovim anatomske mogućnostima, što znači da je prilagodljiva i odstupa od jedne univerzalne forme; univerzalna u onoj mjeri u kojoj su i sama ljudska tijela.

Ruka je povezana s centrom tijela što i jest jedan od principa kretanja suvremenog plesa. To znači da inicijacija pokreta dolazi iz centra tijela, a udovi mogu slijediti tu inicijaciju ili joj kontrirati/parirati na razne načine. Na zahtjev pedagoga ili

koreografa ta povezanost centra i periferije može se prekinuti u svrhu razbijanja određenih obrazaca kretanja ili pojedinačnih navika i ukalupljenosti.

S druge strane, suvremeni ples vraća tijelo na pod. Postavši četveronožac, plesač rukama daje jednu potpuno novu dimenziju osim estetske, koja sada slijedi prirodnost i plesačev anatomske realitet. Ruke postaju oslonac kod skokova, okre-

ta, ravnoteži, podrški i koriste se izrazito funkcionalno da bi uopće ovladali kretanjem u niskoj zoni. Velik broj suvremenih plesnih treninga započinje upravo zagrijavanjem na podu, gdje se nakon uvodnog dijela zagrijavanja anatomske prilagođenih vježbi, kreiraju čitave sekvence pa i koreografije. Neki suvremeni plesači i koreografi, jedan od njih je Russell Maliphant, su taj podni izraz doveli do takve virtuoznosti koja parira baletnoj virtuoznosti u visokoj zoni.

Treća stvar koju valja istaknuti jest da u suvremeni ples ulazi i jedna čitava grana plesa koja se naziva kontakt improvizacija. Ovdje se zadaća ruku ponovo proširuje, ne samo u estetskom i funkcionalnom već i u smislu neverbalne komunikacije s partnerom. Za razliku od *pas de deux*-a u baletu gdje se fizički kontakti rukama uvijek koriste u smislu podržavanja ženskog plesača i to ponovo u samo određenim situacijama, odnosno elementima, suvremeni ples ne može iscrpiti svu raznolikost i mogućnost podrški i kontakta rukama i to u oba smjera, muškom i ženskom. Taj kontakt ruku pa i ostalih dijelova tijela u kontakt improvizaciji funkcionira kao neverbalni jezik koji je u konstantnoj promjeni i razvoju.

I naposljetku, osvrnut ćemo se na nešto što će možda razjasniti pomalo

*Plesači suvremenog plesa na treningu dobivaju određene upute o linijama i smjerovima unutar ruku koje onda proizvode određene forme. Općenito, pozicije ruku slijede više pravocrtne nego zaobljene oblike iako i oni nisu isključeni. Na primjer, druga pozicija u suvremenom plesu se ne razlikuje mnogo od baletne druge, samo što dok šaka stremi na van (palac i treći prst nisu zaobljeni već u liniji s drugim prstima) centar tijela ju istodobno privlači ka sebi što kreira više pravocrtnu liniju rukom koja se zatim skreće prema centru tijela.*

nejasnu sliku koju suvremeni ples često ostavlja za sobom. Suvremeni plesač mora vrlo dobro praktično poznavati anatomske funkcioniranje svojega i tuđih tijela. U suvremenom plesnom treningu postoje vježbe koje usmjeravaju prema pravilnom držanju, možda bolje rečeno, zdravstveno ispravnom držanju i kretanju ruku, ali i one vježbe koje su u odmak od tog pravilnog postava upravo da bi se što bolje mogle uočiti sve mogućnosti koje nam anatomska organizacija omogućava. Uvijek su prisutni kontrasti/opozicije (zatvorenost-otvorenost, uvučenost-izbačenost, zaobljeno-pravocrtno, centar tijela – periferija i još mnogo drugih) koji osiguravaju pronalaženje ekstremnih pozicija i ravnoteže između njih, odnosno ona sredina koja će pojedincu biti najfunkcionalnija u određenom koreografskom zahtjevu.

Drugim riječima, kako suvremeni ples ne slijedi niti jednu određenu formu, stilski je isto tako u svojoj beskonačnosti neodrediv pa tako ruke u suvremenim koreografijama mogu biti sasvim isključene u smislu djelovanja. Takav pristup koristila je Nensi Ukrainczyk u koreografiji *Border Lines* premijerno odigranu 2004, u kojoj su plesači hodali i okretali se cijelo vrijeme sa spuštenim rukama uz tijelo. S druge strane ruke mogu nositi cijelu koreografiju, kao što je to slučaj u predstavi *Both Sitting Duet* (Jonathan Burrows / Matteo Fargion, 2002.), gdje su pokreti ruku sačinjavali većinu koreografije.



▲ Scena iz plesno-dramske predstave "Peterored", plesne skupine BrokPalatz.Co

*U nekim plesnim predstavama koristi se mima kao umjetnički izričaj. Na određen način uvođenjem mime u ples, pokret dobiva nešto manje apstraktni značaj. Korištenjem pokreta ruku iz svakodnevnog života publici se na neverbalni način predstavlja ideja koja se izvodi.*



#### **Za one koji žele znati više:**

- <http://encarta.msn.com>,
- <http://www.radman-tomic.hr/anatomy/kosti%20gornjih.html>,
- Kretanja 02. Hrvatski centar ITI UNESCO, Zagreb, 2004,
- S.J. Cohen; Ples kao kazališna umjetnost, Cekade, Zagreb, 1992,
- A. Maletić; Knjiga o plesu, Kulturno-prosvjetni sabor Hrvatske, Zagreb, 1983.



# Ruke kao nepriznato komunikacijsko oruđe

Mladen Iličković, prof.

## **Primitivne predrasude o primitivnoj imitaciji**

Svesti znakovni jezik samo na primitivnu imitaciju pokretima ruku, pogrešno je poput mnogih duboko ukorijenjenih ostalih predrasuda spram gluhih i nagluhih osoba od kojih su najčešće: intelektualna inferiornost prema onima koji čuju, odsustvo apstraktnog mišljenja, nedostatak kreativnosti te nesposobnost za intelektualno zahtjevnijim poslovima. Koliko je to pogrešno pokazala su mnoga lingvistička, neurolingvistička, psiholingvistička i edukacijsko-rehabilitacijska istraživanja, a prije svega borba gluhih intelektualaca. Znakovni jezik je sustav koji se razvija još od 18. stoljeća.

“Korištenje znakovnog jezika iz iskustva gluhe osobe je jednako korištenju govornog jezika iz iskustva svih ljudi zdrava sluha”, objašnjava gluhi predavač znakovnog jezika i pisac kazališnih komada na znakovnom jeziku Angel Naumovski, “to je normalna želja za komunikacijom, mnogi gluhi ne mogu govoriti, zbog raznoraznih razloga – vremena nastanka oštećenja sluha, stupnja oštećenja sluha, neadekvatne govorne i slušne rehabilitacije, osobnog angažmana, odnosno truda i želje za svladavanjem govora, socijalne sredine, obiteljskih uvjeta... No gluhi se ipak oslanjaju na

znakovni jezik, čak i da su svi gore navedeni razlozi idealni.”

Osobama oštećena sluha je puno lakše koristiti znakovni jezik u svakodnevnoj komunikaciji s gluhim osobama iz razloga što im je polako govorenje izuzetno naporno, tj. otvarati polagano usta jer je vizualna percepcija govora vrlo često samo pogađanje slova odnosno riječi iz usta govornika. Istraživanja su Edukacijsko-rehabilitacijskog fakulteta u Zagrebu pokazala kako je čitanje govora s lica i usana, koje često vidimo u kriminalističkim serijama, teško jer artikulatorni pokreti pri produkciji određenog broja glasova uopće nisu vidljivi ili su slabo vidljivi na usnama, pogotovo kod glasova koji nastaju dublje u ustima. Usto vrlo je teško, čak i nemoguće međusobno vizualno razlikovati glasove koji se tvore na istom mjestu, a razlikuju se

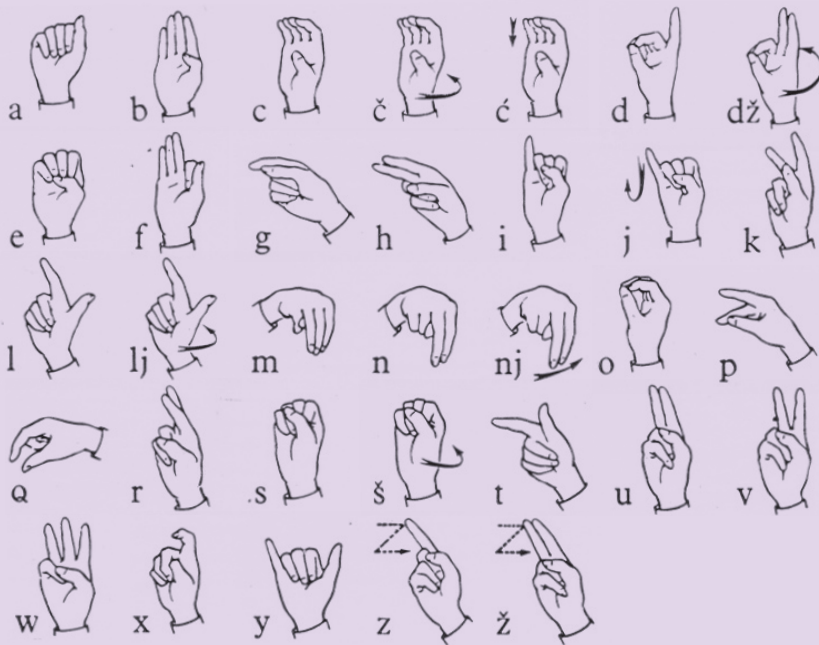
međusobno po zvučnosti, nazalnosti ili načinu tvorbe, kao primjerice razlikovati *b* od *m* odnosno *p* ili razlikovati *d* od *t* ili *n*. Zapravo svega je 30% glasova dobro vidljivo na usnama.

## **Pravi znakovni i simultani znakovno-govorni jezik**

Ipak, kad se govori o znakovnom jeziku treba reći kako je pravi znakovni jezik onaj bez govora ili onaj kojime gluhe osobe međusobno komuniciraju (mali rječnik znakovnog jezika dostupan je na [www.crodeafweb.net/rjecnik/](http://www.crodeafweb.net/rjecnik/), pojmove prevodi Angel Naumovski). Neki prevoditelji i edukatori tog jezika tvrde kako ga je prilično teško naučiti, a kompetenciju izvornih govornika gotovo je nemoguće postići nakon puberteta.

“Druga je vrsta znakovnog jezika govorenje popraćeno znakovanjem” – po-

*Korištenje znakovnog jezika iz iskustva gluhe osobe je jednako korištenju govornog jezika iz iskustva svih ljudi zdravog sluha.*



▲ Jednoručna znakovna abeceda

jašnjava pročelnica Odsjeka za oštećenja sluha Edukacijsko-rehabilitacijskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Sandra Bradarić-Jončić, “i u tom slučaju govorni jezik popraćen je leksičkim jedinicama znakovnog jezika.”

Svaki od ta dva jezika ima svoju publiku, ovaj simultani preferiraju osobe koje su kasnije oglušile. Oni dobro znaju hrvatski jezik i u posve su drugačijoj situaciji. U Zagrebu živi 3 tisuće gluhih i nagluhih osoba, a na cjelokupnom području Republike Hrvatske oko 12 tisuća, no prema procjenama Svjetske zdravstvene organizacije trebalo bi biti oko 60 tisuća osoba oštećena sluha svih kategorija, od čega je najviše zastupljena staračka naglušnost.

Znakovni jezik bez govorenja – pravi znakovni jezik, hrvatski znakovni jezik – preferiraju rano oglušjele osobe. Taj se jezik također koristi za komunikaciju s

malom gluhom djecom u programima dvojezičnog obrazovanja za gluha djecu, a istovremeno govorenje i znakovanje ne koristi se u svrhu komunikacije i poučavanja, osim u izuzetnim slučajevima. Inače više je stranih istraživanja potvrdilo, ono što vrijedi i za hrvatske maturante oštećena sluha – naime, oni zbog kasne dijagnostike, intervencije ili slabe podrške, kasne u poznavanju hrvatskog jezika osam godina za vršnjacima koji čuju što bitno utječe na pristupačnost daljnjem obrazovanju, zapošljavanju i društvenoj afirmaciji. Ako gluha djeca ne usvoje znakovni jezik na vrijeme, ostanu u međujezičnom prostoru što ostavlja posljedice na njihovo kasnije obrazovanje. U Hrvatskoj gluha djeca nemaju mogućnost obrazovanja na znakovnom jeziku no u zadnjih sedam godina na Odsjeku za oštećenja sluha ERF-a pokušavaju ispra-

viti nepravdu i uvesti takav sustav. Za taj sustav nema kadrovskih pretpostavki za to – jednostavno nema učitelja koji su bilingvalni i toliko fluentni kao odgovajatelji koji dobro čuju i koji predaju djeci koja normalno čuju, dakle da mogu biti model gluhoj djeci. Ohrabrujuće je ipak što studenti ERF-a imaju mogućnost učenja znakovnog jezika tijekom četiri godine studija. Drugi je pozitivni pomak to što je svako hrvatsko rodilište opremljeno uređajima za rano otkrivanje oštećenja sluha pa se sporo ide prema idealnom pristupu djeci oštećena sluha: otkrivanje do trećeg, početak rehabilitacije od šestog mjeseca života.

### Razlike i osnovni elementi

Razvoj znakovnog jezika doveo je do mnogo nacionalnih inačica, no zanimljivo je kako se gluhi savršeno razumiju internacionalnom znakovnom jeziku. Angel Naumovski tako priča i o tom aspektu znakovnog jezika za koji smatra kako pripada posebnoj kulturi: “Koliko me sjećanje služi, čujuće osobe se znaju diviti ljepoti komuniciranja znakovnim jezikom, čak se i nama, gluhim, dive kako se s lakoćom možemo sporazumijevati s gluhim a cijelog svijeta, na primjer ja sam se družio s Dancem, Švedaninom i Nijemcem.” Sustavno proučavanje znakovnog jezika pridonijelo je i njegovoj afirmaciji.

“Govorni i znakovni jezik su dva bitno različita sustava”, pojašnjava profesorica Sandra Bradarić-Jončić, “pravi znakovni jezik, nakon pedeset godina istraživanja u svijetu i četiri – pet kod nas, dokazuje kako nema više nikakvih dilema da je znakovni jezik pravi jezik, ne samo drugačiji od govornog nego i funkcionira po svojim pravilima, ima drugačiju sintaksu, morfoloiju i neke jezične oblike, npr. vrste gla-



◀ Angel Naumovski



Profesorica Sandra Bradarić-Jončić ▶

*Ako gluha djeca ne usvoje znakovni jezik na vrijeme, ostanu u međujezičnom prostoru što ostavlja posljedice na njihovo kasnije obrazovanje*

gola koje ne postoje u govornom jeziku.”

Jedna je od razlika spram govornog jezika postojanje promjenjivih i nepromjenjivih glagola. Nepromjenjivi se tvore u kontaktu s tijelom, a da se pritom ne mijenjaju osnovni elementi znakovnog jezika. Sličnost je opet što se i govorni i znakovni jezik može rastaviti na osnovne elemente. U govornom jeziku ulogu najmanjih razlikovnih jedinica imaju fonemi, a u znakovnom jeziku ti se osnovni elementi nazivaju *parametrima*. To su :

- oblik šake
- vrsta pokreta
- mjesto gdje se izvodi (na čelu, obrazu, na prsima...)
- orijentacija dlana
- nemanualni signali s lica koji imaju funkciju gramatičkih oznaka i to preko smjera pogleda, oblika usana.

Razni pokreti glave signaliziraju kako je rečenica organizirana. Pitanja se razlikuju po tim nemanualnim signalima koji mogu značiti razliku između pitanja:

*Čita li on? i Što on čita?*

Razlika: kod prvog pitanja su podignute obrve i spuštена brada, a kod druge vrste pitanja obratno – skupljene obrve, podignuta brada i trešnja glave.

To su sve gramatički signali, dio gramatičkog sustava znakovnog jezika, a ne puka mimika lica, kao što bismo na prvi pogled pomislili.

Nemanualni signali imaju još jednu funkciju. Sluh je kao osjetilo prilagođeno sukcesivnoj percepciji, a vid simultanoj. S druge strane slovanje znakovnom abecedom je tri puta sporije od govornog jezika. –*Da bi se kompenzirala relativna sporost ruku, da bi brzina prijenosa informacija bila jednaka govornom jeziku, emitira se s više izvora, rukama i nemanualnim signalima s lica* – raščlanjuje profesorica Jončić.

### **Materijalni dokaz verbalnosti**

Upravo su proučavanja jezične obrade u mozgu gluhih osoba koje su pretrpjele moždani udar, a bile su fluentni govornici znakovnog jezika, dale najmaterijalnije dokaze o ravnopravnosti znakovnog i govornog jezika. Neurolingvistička istraživanja su naime pokazala da se znakovni jezik u gluhih dešnjaka obrađuje



▲ Dvoručna znakovna abeceda

*Razvoj znakovnog jezika doveo je do mnogo nacionalnih inačica, no zanimljivo je kako se gluhi savršeno razumiju internacionalnom znakovnom jeziku*



▲ Predstava "Ruke koje plaču" A. Naumovskog

u istim područjima lijeve hemisfere kao i govorni jezik kod čujućih dešnjaka. Nemanualni signali kao dio gramatičkog sustava znakovnog jezika također se obrađuju u istim tim područjima mozga, za razliku od mimike lica koja je u funkciji emocionalne ekspresije, koja se obrađuje u drugim područjima mozga.

Profesorica Bradarić-Jončić još uvijek nailazi čak i na čujuće osobe koje te argumente ne uvažavaju – *Dugo se i kod nas smatralo kako je znakovni jezik neverbalni sustav komunikacije, no ta mimika lica se obrađuje u lijevoj hemisferi gdje se obrađuje i jezik. Dugo se smatralo kako znakovni jezik nije jezik, kako je to pantomima koja se može lako naučiti.*

Hrvatska je 2003. godine u Strassburgu prihvatila preporuku Vijeća Europe o priznavanju i zaštiti nacionalnih znakovnih jezika i pružanje mogućnosti gluhoj djeci da se obrazuju na znakovnom jeziku.

Angel Naumovski smatra kako nije problem samo u društvu, nego i u osobama oštećena sluha: *Kad god vidim kako na televiziji, u novinama ili na sastancima netko, tko nije gluha osoba, govori u naše ime ili nas predstavlja, mrak mi pada na oči, ne zbog toga što su se te osobe izborile za svoje položaje, nego zbog same činjenice da smo mi to dozvolili i ništa nismo poduzeli kako bi gluha osoba bila ta koja će znati reći i koja će sigurno biti efikasnija i uvjerljiva u svojim zahtjevima, željama i potrebama.*

### Budućnost i osobno uključivanje

Znakovni jezik je unatoč ogromnom naporu koji je postignut ugradnjom kohearnih implanata (umjetnih pužnica), i dalje za mnoge gluhe osobe osnovni način komunikacije osoba oštećena sluha.

Ono što će u budućnosti bitno olakšati njegovo učenje, ali i sistematizirati njegovo predavanje jest hrvatsko-američki projekt *Basic Grammar of Croatian Sign Language*, čiji je cilj opis osnovne gramatike hrvatskog jezika, a koji se provodi na Odsjeku za oštećenja sluha ERF-a. Ta će gramatika uz morfološki rječnik (porijeklo određenih riječi bit će lakše pojasniti gluhim osobama), olakšati i sistematizirati već postojeće edukacije znakovnog jezika. U neke od tečajeva znakovnog jezika svatko se može uključiti na način



◀ Prikaz riječi “sustavi” znakovnim jezikom – ruke skupljenih prstiju dotiču se više puta ispred prsa, svaki put u nižoj poziciji.  
Snimio: Darije Petković

da se obrati sljedećim udrugama:

- Udruga gluhoslijepih Dodir, [www.dodir.hr](http://www.dodir.hr), [dodir@dodir.hr](mailto:dodir@dodir.hr), tel. (1) 4875 431, (1) 4875 432
- Savez gluhih i nagluhih Grada Zagreba, tel. (1) 4619 116, prof. Mirjana Juriša
- tečajevi u organizaciji Udruge Kazalište, vizualne umjetnosti i kultura Gluhih – DLAN (informacije: [angel.naumovski@zg.t-com.hr](mailto:angel.naumovski@zg.t-com.hr) ili SMS-om na 091 4923 109).

Nakon tečaja znanje se može primijeniti u pomoći osobama oštećena sluha za njihovu potpunu emancipaciju koju su, recimo postigle neke druge osobe sa sličnim problemima: Gustav Anders Ekeberg, švedski kemičar koji je otkrio tantalij; John Warcup Cornforth, znanstvenik koji je s Vladimirom Prelogom dobio Nobelovu nagradu 1975. glasoviti bakteriolog Harold Conn i mnogi drugi.



▲ Dio iz predstave “Ruke koje plaču” A. Naumovskog

Zahvaljujemo tvrtki Microton d.o.o na potpori kod pripreme ovog članka.

# Religija kao simbolički sustav

Tijana Trako, dipl. soc., Filozofski fakultet,  
Sveučilište u Zagrebu

## **Simbol ruke u svjetskim religijama**

Od prapočetaka, Homo Sapiens se izdvojio od ostalih životinja i hominida sposobnošću simboličkog mišljenja i simboličke svijesti. Ljudi su, od samih početaka društvenog života, težili komunikaciji, prenošenju osjećaja, iskustava i informacija drugim ljudima. Razvili su tako, prije svega, primitivne oblike gestikulacije, koji su mogli prenositi mnogo dublja značenja od onih koje nalazimo kod viših primata – govor tijelom i rukama postajao je sve složeniji, primjerice kod Trapista ili Cistercita, redovnika “reda tišine” ili jezik gluhoonijemih. Gestikulacije i “govor tijela” i danas su važni pratioci verbalnog govora.

Uz prirodu koja ga je okruživala, ljudsko tijelo je čovjeku bilo najočitiije sredstvo za simboličku uporabu. Ipak, nisu svi dijelovi ljudskog tijela jednako zastupljeni. Jedan je organ posebno fascinirao ljudsku maštu – ljudska ruka. Otisci ruku na zidovima paleolitskih špilja jednako su brojni i tajanstveni kao i prikazi lova i drugih rituala pradávné zajednice. Simbol ruke tako koristimo ne samo u svakodnevnoj komunikaciji, nego i u umjetnosti, politici, raznim kulturama i religiji.

Značajno je da je “primitivna” religija odmah uočila važnost simbola (duhovi predaka koji uzimaju životinjski oblik, to-

tem klana). S razvojem religijskog sustava, razvijala se i suptilnost i kompleksnost simbolizma na kojem danas počivaju rituali svih svjetskih religija. Religije su uočile i važnost uporabe onih simbola koji su najbliži čovjeku pa tako nalazimo prirodnu simboliku i simboliku tijela, ali i nevjerojatno široku rasprostranjenost simbola ruke.

## **Magija – simbol ruke u ritualima primitivnih religija**

Sir Edward Burnett Tylor (1832.-1917.) engleski antropolog, smatrao je da je religija nastala onda kada su ljudi po prvi puta pokušali razumjeti one pojave i događaje koje nisu mogli objasniti kroz svoja svakodnevna iskustva. Što bolje nego simbolički sustav, kao sustav koji ne predstavlja samo sebe već prenosi i ona dublja, skrivena značenja, da posluži kao temelj religiji koja će pokušati predstaviti i objasniti nadnaravne pojave?

Moramo shvatiti, prije svega, da se ono što je prvim ljudima bilo čudno, strašno, nezamislivo ili nepojmljivo, umnogome razlikuje od onoga što bi moglo začuditi današnju Google ili internet generaciju. Uzmimo za primjer prirodne sile, za koje još nisu imali vremenske prognoze, lunarne ni solarne kalendare, prirodu za koju im ne bi padalo na pamet da joj podare epitete, nama poznate iz npr.

romantičarskog razdoblja književnosti, poput nježna, topla, majčinska, brižna pa čak i lijepa. Njihova je priroda bila surova, divlja, neukrotiva, nešto od čega se trebalo skrivati, iskoristiti za preživljavanje, ali u granicama, kako se ne bi naljutili dusi ili mnogi bozi, koji su njome vladali. Granice su tek otkrivali i kod vlastitog tijela. Manjak medicine kakvu danas poznajemo, koja bi pojasnila bolesti i brojne promjene koje se tijelu događaju kroz proces starenja – sve ovo značilo je da su onim pojavama koje nisu mogli objasniti, pridavali simbolička značenja.

Tijelo je kod mnogih naroda shvaćano kao nešto božansko, što moramo čuvati, jer tijelo zauzvrat čuva naš duh. Tako su se razvile brojne prakse i rituali magijskog sadržaja za sprečavanje zla da dođe do i uđe u naša tijela. Najviše čuvani bili su otvori na tijelu, a ruke su štice iz razloga što su bile otkrivene, tj. preko njih su demoni ili zle sile mogle ući u odjeću i tijelo.

Francuski arheolog Eugene Lefébure (1838.-1908.) u kratkoj studiji *La Main de Fatima* (Ruka Fatime), na temelju svojih istraživanja, zaključuje kako “... ne postoji nijedna zemlja na svijetu u kojoj ruka nije upotrijebljena kao talisman. U Egiptu, kao i u Irskoj, kako kod Židova, tako i kod Etruščana, ruci se pridaje tajanstvena moć.”

*Najučestalija praksa zaštite ruku od demona bila je tetoviranje. Tetovaže nisu samo ukrasi niti samo simboli visokog položaja u društvenoj hijerarhiji. One predstavljaju poruke od duhovne i moralne važnosti.*

Najučestalija praksa zaštite ruku od demona bila je tetoviranje. Tetovaže nisu samo ukrasi niti samo simboli visokog položaja u društvenoj hijerarhiji. One predstavljaju poruke od duhovne i moralne važnosti. Svrha tetoviranja kod plemena Maori, kako je primijetio francuski antropolog Claude Lévi-Strauss, nije samo iscrtavanje slika na koži već i bilježenje, očuvanje, kao i pamćenje tradicije i filozofije svoje grupe. U Maleziji se i danas mogu naći tetovaže koje pokrivaju ruku do lakta, poput gipsa, dok u Tunisu nalazimo detaljnije crteže na prstima i ruci – tako se prikazuje orao kao simbol moći, a iscrtavaju se i razni oblici koji predstavljaju ogledalo, oboje kao magijski simboli zaštite.

U Indiji je nešto uobičajenije nošenje mnoštva nakita poput prstenja, ogromnih narukvica na nadlaktici te ukrasa preko gornjeg dijela dlana. Njihovo zveckanje, sjaj i brojnost ispunjavaju svrhu magijske zaštite tjeranja zlih sila.

Zanimljiv slučaj tetovaža ruku kao označavanja religijske, ali i kulturne pripadnosti te isticanja vlastitog identiteta, nalazimo u Jajcu te na još nekim područjima Bosne i Hercegovine. Iako u mnogo manjoj mjeri, žene hrvatske nacionalnosti porijeklom iz Bosne i Hercegovine, tetoviraju svoje ruke i danas i to na vidljivim mjestima oko prstiju i zapešća. Dok znanstvenici poput Ćire Truhelke (1865.-1942.) argumentirano tvrde da su na ovaj način, nošenjem vidljivih oznaka kršćanske religije, žene uspjele spriječiti nasilno prevođenje na islam u vrijeme turske okupacije, ostaju otvorena pitanja: zašto baš ruke i kako objasniti zapis grčkog povjesničara Strabe iz 1. st. pr. Kr. koji spominje tetovaže stanovnika ovog područja još u to vrijeme?



U svjetlu onoga što znamo o ulozi ruku u magijskim ritualima, odgovor bi mogao vrlo lako ležati negdje između očuvanja identiteta, otklanjanja magijskih uroka (stanovnici ovog područja tradicionalno su vrlo praznovjerni) i zaštite ruku kao vitalnog dijela tijela od povrede.

Drevna magijska uporaba ruke danas se zadržala prije svega u astrologiji. Gatanje iz ruku smatra se jednim od pseudoznanstvenih načina proricanja budućnosti i sudbine, i to čitanjem linija dlana. Ovaj je način proricanja nastao u drevnoj Indiji, prije nekih 3000 godina. Dio je proučavanja nazvanog Samudrik Shastra ili ocean znanja. Smatra se da prvotna svrha čitanja iz dlana nije bila proricanje, već ocjenjivanje karaktera. Linije na dlanu mijenjaju se s vremenom pa se smatralo da pokazuju kako se naši oblici ponašanja i mišljenja također mijenjaju te stoga

**Slika 1** O postupku tetoviranja znam samo kratko ono što mi je mama ispričala i što sam već napisala na blogu:

U posudu se nakupi čađa (crnilo) od zapaljenog petroleja te se pomiješa zajedno s pčelinjim medom i dobro se izmiješa. U tu dobivenu mast se umače igla te se njome bocka po željenom dijelu tijela i izrađuje željene oblike i simbole.

Preuzeto s [bespelj.blog.hr](http://bespelj.blog.hr) uz odobrenje autorice.



**Slika 2** Slika prikazuje fotografiju "Tetovaže ruku žene iz Jajca" koju je snimio Franjo Topić, muzejski fotograf početkom 20. stoljeća. Fotografija se čuva u arhivu Odjela za etnologiju Zemaljskog muzeja, BiH.

nije niti moguće preko dlana točno predvidjeti sudbinu. Tragove čitanja iz dlana nalazimo i u staroj Grčkoj, a prihvatili su ga i mnogi kršćanski narodi.

Lévi-Strauss pretpostavlja da su intelektualne sposobnosti primitivnih (taj pojam se etnocentrično koristi za nezapadnjačke ili tehnološki manje razvijene zajednice i kulture) ljudi jednake onima modernih te da se razlike u načinu mišljenja i ponašanja mogu objasniti isključivo drugačijim odnošenjem prema svakodnevnom iskustvu. Nije onda teško zamisliti kako ćemo tragove simbola ruke u sličnoj uporabi kao u magijskih sustava pronaći i kod velikih svjetskih religija.

### Ruke i tri abrahamske religije

Brojni rituali tri velike svjetske religije – islama, judaizma i kršćanstva – proistječu upravo iz navoda u njihovim svetim knjigama koji se odnose na ruke. Najznačajnija je prije svega molitva, u kojoj vjernici koriste ruke kao izraz čistoće, pokornosti i spremnosti na predanje: “A nema nasilja na rukama mojim, molitva je moja bila uvijek čista”, Biblija, Job 16:17, ili u Novom Zavjetu: “Tada mu doniješe dječicu da na njih stavi ruke i pomoli se. A učenici im branili.” Matej 19:13

Izvore polaganja ruku u znak blagoslova, prihvaćanja u religijsku zajednicu

ili Božje zaštite, nalazimo također i u Starom Zavjetu: “Ruka je Boga našega ispružena da blagoslovi sve one koji ga traže” Ezra 8:22 i “‘Uzmi Jošuu, sina Nuvona!’ – reče Jahve Mojsiju. ‘To je čovjek u kome ima duha. Na nj položi ruku svoju!’” Brojevi 27:18. Polaganje ruke koristi se i za izlječenje bolesnih u Novom Zavjetu: “...pa ga usrdno moljaše: ‘Kćerkica mi je na umoru! Dođi, stavi ruke na nju da ozdravi i ostane u životu!’” Marko 5:23

Ljubljenje ruke, čin koji nalazimo, npr. u Katolika kod ljubljenja ruke ili prstena Pape ili kardinala, također proizlazi iz Biblije, a simbol je odanosti i iskazivanja časti. Konačno, polijevanje vode po rukama pokazuje spremnost na službu i pokornost: “O vjernici, kad hoćete molitvu obaviti, lica svoja i ruke svoje do iza lakata operite – a dio glava svojih potarite – i noge svoje do iza članaka... Allah ne želi da vam pričini poteškoće, već želi da vas učini čistim i da vam blagodat Svoju upotpuni, da biste bili zahvalni.” Kur’an, Al-Ma’ide 6

U knjigama Starog Zavjeta ruka se uglavnom spominje kao simbol Boga – njegove moći, kazne, zadovoljstva, ljubavi ili karanja. Kada se spominje ljudska ruka to je obično u kontekstu prinošenja žrtve Bogu, pokajanja ili grešnosti. Tako nalazimo brojne referen-

ce na Božji prst ili Božju ruku u kontekstu stvaranja – Božja je stvaralačka ruka: “Nebesa su moje prijestolje, a zemlja podnožje nogama!... Sve je moja ruka načinila i sve je moje” – riječ je Jahvina.” Biblija, Izaija 66:1-2

Ruka je simbol ljubavi koju Bog ima za čovječanstvo koje je stvorio: “...nađoh Davida, slugu svoga, svetim ga svojim uljem pomazah, da ruka moja svagda ostane s njime i moja mišica da ga krije.” Psalam 89:22. Pružanje ruke čest je simbol darežljivosti i milostinje koji se pojavljuje i u Kur’anu: “Ne, obje ruke Njegove su otvorene, On udjeljuje koliko hoće!” Kur’an, Al-Ma’ide 64

Pranje ruku je pak znak očišćenja ili čistoće: “U nedužnosti ruke svoje perem i obilazim žrtvenik tvoj, Jahve...” Biblija, Psalam 26:6

Osim ovih značenja, koja zbog zajedničkog nasljeđa ove tri religije u velikoj mjeri dijele, najpoznatije ruke u kršćanstvu su one novozavjetne, Isusove razapete ruke, simbol patnje i raspeća za spas čovječanstva: “On im odvrati: ‘Ako ne vidim na njegovim rukama biljeg čavala i ne stavim svoj prst u mjesto čavala, ako ne stavim svoju ruku u njegov bok, neću vjerovati.’” Ivan 20:25

Otuda i čin križanja desnom rukom u Rimokatoličkoj i Pravoslavnoj kršćanskoj



◀ Slika 3 Talismani Ruke Fatime i Hamse: lijevo privjesak pronađen u Iranu iz 19. st. s natpisom na staroperzijskom jeziku, a desno stilizirana židovska Hamsa s plavim okom.

crkvi – simbol posvećenja Bogu i sjećanja na njegovu žrtvu. Kasnije se ova gesta razvila u svjetovnoj uporabi kao znak zazivanja dobre sreće (Fortune). U Novom Zavjetu ruka se koristi i kao simbol izdaje: “On odgovori: ‘Onaj koji umoči sa mnom ruku u zdjelu, taj će me izdati.’” Matej 26:23

### Desna ruka / lijeva ruka

Posebnu važnost ima i činjenica je li ruka desna ili lijeva. Desna ruka je obično simbol snage i moći i često korištena u judaizmu. U Psalmima tako nalazimo: “Da ti se ljubimci izbave, desnicom pomози, usliši nas!” Psalm 60:7

Lijevu ruku nećemo naći na zastavama ili simbolici islamskih zemalja jer je desna ruka ta koja predstavlja moć i snagu, dok je lijeva simbol slabosti i nečistoće. Ruka kao simbol zakletve ili obećanja u današnjem svijetu proizlazi još iz Starog Zavjeta: “Otišavši odatle, nađe Jonadaba, sina Rekabova, koji mu je dolazio u susret. On ga pozdravi i reče mu: ‘Je li tvoje srce iskreno prema mome, kao što je moje prema tvome srcu?’ Jonadab odgovori: ‘Jest.’ – ‘Ako je tako, daj mi ruku.’ Jonadab mu pruži ruku i Jehu ga posadi kraj sebe na kola.” 2. Kraljevima 10:15

Smatra se da je iz ovih davnih običaja pružanja ruke u znak pozdrava, ali i da bi se provjerilo nosi li protivnik oružje, je li iskren, nastalo današnje rukovanje.

### Simbol ruke u religijskoj umjetnosti

U islamu, Ruka Fatime najpoznatiji je prikaz simbola ruke. To je simbol Božje ruke, tj. božanstvene moći, sveprisutnosti i milosrđa. Palac simbolizira proroka Muhameda dok su ostala četiri prsta njegova četiri suputnika – do njega je kćer Fatima, zatim dolazi Ali, njen muž, a treći i četvrti su njihovi sinovi, Hasan i Husein. Četvrti prst također simbolizira moralno i duhovno uzdignuće, a svih pet prstiju zajedno simbol su pet stupova islamske vjere, pet temeljnih dogmi islama. U judaizmu također nalazimo stiliziranu simboliku ruke. Tako Židovi i Muslimani zapravo dijele simbol Ruke Fatime, koju Židovi nazivaju Hamsa, semiotičkog i lingvističkog korijena riječi pet. Obično se nosi kao privjesak ili se stavlja na vrata



Slika 4 Ikonografija iz Svete Sofije (gore), rimske crkve istočne tradicije i dva detalja sa svijećnjaka iz 11. st. u bazilici Sv. Pavla, Italija (dolje). Foto: Ivan Vrbicky.



kuće da bi se otklonila loša sreća ili utjecaj, tzv. zlog oka. Ponekad je unutar ruke izrađeno stakleno oko iste boje (obično plave), kakve se pretpostavlja da je i zlo oko (zlo oko se spominje i u Kura'nu kao slika vruga ili zloga), tako da može reflektirati zlo od ruke. Oko je tada simbol gledanja, sveprisutnosti, znanja, dok je ruka simbol svemoćnosti i djelovanja. Jedan od najčešćih prikaza ruku u kršćanskoj

umjetnosti, uz Kristovo raspeće, onaj je temeljen na navodu o rukama kao simbolu očišćenja, skidanja odgovornosti, kada Poncije Pilat traži vodu da opere ruke: “Kad Pilat vidje da ništa ne koristi, nego da biva sve veći metež, uzme vodu i opere ruke pred svjetinom govoreći: ‘Nevin sam od krvi ove!’” Matej 27:24

U kršćanskoj umjetnosti pojavili su se i neki simboli ruku koji ne proistječu

direktno iz svetih knjiga. Tako na umjetničkim slikama, freskama u crkvama, na ikonama i vitražima, nalazimo prikaze svetaca ili biblijskih likova koji nam rukama pokušavaju nešto poručiti. U umjetnosti ranog kršćanstva i bizantinskog doba, u 6. stoljeću, nalazimo podignutu desnu ruku s pruženim prstima, ali tako da joj se četvrti prst i palac dodiruju.

U grčkoj crkvi to je predstavljalo blagoslivljanje ili Kristovo posvećenje. U ruskoj crkvi iz tog vremena nalazimo sličnu gestu, ali ovdje mali prst i četvrti prst dodiruju palac – značenje je isto.

Na mnogim ikonama u istočnoj crkvi nalazimo tako, po uzoru na bizantinsko nasljeđe, slike Marije i Isusa na kojima dijete Isus drži tako podignutu desnu ruku – blagoslivlja. Dodatno značenje ove geste je simbol Trojstva (njega predstavljaju tri spojena prsta) te simbol Kristovog dvojstva – ljudsko i božansko – predstavljeno dvama ispruženim prstima.

### Budizam i hinduizam

Ruka ima značajnu ulogu u budizmu. Tako je Budina ruka – ruka zaštite. Kada je Budin dlan okrenut prema van, on simbolizira beskrajno davanje. Ako Budina desna ruka dodiruje tlo, to je simbol njegove vlasti nad zemljom, a ako je lijeva ruka okrenuta dlanom prema gore ili drži posudu za milodare, simbol je to za primanje i predanje. Različiti položaji ruku nazivaju se *mudre* te je Buda uvijek prikazivan u jednom od ovih mnogih položaja. Nije u potpunosti jasno gdje su ove geste nastale. U hinduizmu, kao i budizmu, *mudre* su nastale u svrhu joge, za ceremonije, dramske predstave i ples. Postoji stotine *mudrā*, a sve su temeljene na četiri osnovna položaja ruku: 1. otvoreni dlan, 2. savijeni dlan, 3. zatvorena pesnica, 4. ruka sa skupljenim prstima.

Ruke su u *mudrā* vježbama korištene da bi donijele korist onome tko ih prakticira. Ne samo da koriste zdravlju, one također stvaraju pozitivnu energiju koja pomaže osobi da ostvari svoje božanske potencijale, unutrašnje božanstvo koje prebiva u našem biću. Osnovni položaji *mudrā* u hinduizmu, kao i budizmu, su: podignuta desna ruka za neustrašivost ili davanje, ako je dlan okrenut prema van;



▲ Slika 5 Pozitiv i negativ – otisci ruke na špiljama Pedra Pintada (Obojena špilja), u Brazilu i Gargasu, Francuskoj.



Sljedeći put kada hodate ulicom, osvrnite se malo oko sebe – ruke su posvuda. Reprerentacije simbola ruku, samo u Hrvatskoj, uključuju isprepletene ruke na pozivu za davanje krvi, plave ruke spojene u krug kao simbol planeta Zemlje...

sklopljene ruke s podignutim dlanovima ili spuštenim na koljenima, predstavlja ju meditaciju i prihvaćanje; sklopljene ruke ispred srca su jedinstvo Mudrosti i Metode. Ruka u kojoj je prikazano oko predstavlja ruku pomoći, suosjećanja i mudrosti koja nije slijepa, već diskriminira, pravi razliku između dobrog i zla. U hinduizmu također nalazimo simbol ruke upotrijebljen da predstavlja božanstvo. Tako su ruke Šive, jednog od glavnih bogova u Hindusa, simbol mira i zaštite kada su podignute, a ako su spuštene i usmjerene prema nogama, simboliziraju izbavljenje. Udaranje o bubanj predstavlja čin stvaranja, a ruka koja drži plamen uništenje zemlje vatrom. Šivin ples ravnoteže između stvaranja i uništenja posebno je simboličan jer je božanstvo ovdje prikazano s četiri ruke i tri oka (treće oko je razina više svijesti) – u jednoj ruci drži dvostruki bubanj koji je suprotnost plamenu razaranja u drugoj ruci, treća ruka, otvorenog dlana prema gore, predstavlja zaštitu i naklonost promatraču, dok je četvrta utočište.

### Po-ruka ruke

Ruka je oduvijek fascinirala čovjeka, pa nije čudno da su ju kao simbol eksploatirali svi društveni sustavi, uključujući i religijski, koji bez simbola ne bi niti po-

*Drevna magijska uporaba ruke danas se zadržala prije svega u astrologiji. Gatanje iz ruku smatra se jednim od pseudoznanstvenih načina proricanja budućnosti i sudbine, i to čitanjem linija dlana. Ovaj je način proricanja nastao u drevnoj Indiji, prije nekih 3000 godina.*

stojao. U onom trenutku kada je naš pradedavni predak odlučio umočiti ruku u boju i otisnuti ju na zidu špilje ili uzeti boju u usta i poprskati prostor oko ruke naslonjene na stijenu, postala je dio tijela koji zauzima posebno mjesto u socijalnoj simbolici. U potrazi za simbolom ruke htjeli smo ovdje istražiti na koji način je ruka upotrijebljena kao simbol u svjetskim religijama. Moramo ipak biti svjesni da su danas brojni rituali vezani za ruke – stavljanje zaručničkog prstena ili burme, rukovanje, mahanje, podizanje dva prsta ili pak podizanje srednjeg prsta, pokazivanje kažiprstom... Religija je ruke vješto iskoristila da prenese svoju po-ruku i tako rukama dala još mnoštvo dodatnih značenja.

Sljedeći put kada hodate ulicom, osvrnite se malo oko sebe – ruke su posvuda. Reprerentacije simbola ruke,

samo u Hrvatskoj, uključuju isprepletene ruke na pozivu za davanje krvi, plave ruke spojene u krug kao simbol planete Zemlje na plakatu ciklusa predavanja Aktivne ekologije udruge Nova Akropola, a ruka će zasigurno biti i mnogo puta zvana kao prekršaj u svakom nogometnom prvenstvu. Kad sljedeći put budete razgovarali sa svojim kolegama/icama, obratite pažnju na ono što vam govore gestikulacijama ruku. I, na kraju, čak i ako niste religiozni, probajte ući u jednu od religijskih ustanova i ruke će vam zasigurno odmah odgovoriti – svećenik koji u rukama podiže hostiju ili kalež s vinom, slika sveca s podignutom rukom u blagoslov, ruke koje se mole, različiti položaji ruku Budinog kipa, itd. Zasigurno ćete se prisjetiti još mnogo drugih situacija u kojima se izdvajaju upravo ruke, a to je i cilj – da postanemo svjesniji ruku oko sebe jer su nam one tako bliske da nam se na prvi mah njihova simbolika može učiniti puno jednostavnijom nego što to zapravo jest.



◀ Slika 6 Šivin kozmički ples i četiri osnovne mudre u budizmu.



Abhaya mudra



Dhyana mudra



Bhumisparśa mudra



Dharmacakra mudra

Slika Albrechta Dürera (1471.–1528.) *Ruke koje mole*, krije iza sebe potresnu legendu te iako nema dokaza da je istinita, vrlo je poučna.

U Dürerovoj obitelji bilo je osamnaestoro djece. Usprkos neimaštini, dva najstarija sina imala su san – obojica su htjeli postati slikari. Nakon dugog razmišljanja, dječaci su sklopili sporazum. Bacat će novčić. Onaj koji izgubi zaposlit će se u lokalnom rudniku te će od svoje zarade pomoći da se drugi brat školuje na Likovnoj Akademiji. Kada ovaj završi studij, od prodaje svojih umjetnina, a ako treba i radom u rudniku, pomoći će drugom bratu da ode na studij. Albrecht Dürer je pobijedio i otišao u Nuremberg. Njegov brat Albert sljedeće je četiri godine radio u opasnim rudnicima i slao novac svom bratu. Albrechtovi su akvareli, drvorezi i uljane slike bili mnogo bolji od onih njegovih profesora pa kada je diplomirao dobivao je goleme svote novca za izradu narudžbi.

Kada se mladi umjetnik vratio u rodno selo, priredili su mu ogromno slavlje. Nakon večere, Albrecht se ustao i podigao zdravicu voljenom bratu koji je kroz svoju žrtvu omogućio njegov uspjeh. Kada je završio sa zdravicom, rekao je:

*- A sada, Alberte, moj dragi brate, je tvoj red.-*

Svi su se okrenuli prema Albertu kojem su suze tekle niz blijedo lice, a on je iznova ponavljao: *- Ne...ne.-* Albert se konačno podigao od stola, prišao bratu i, stavivši ruku na njegov obraz, nježno rekao: *- Ne, brate. Ne mogu poći u Nuremberg. Za mene je prekasno. Pogledaj što su mi četiri godine rada u rudniku učinile rukama! Kostí svakog prsta lomljene su bar jednom, a već dugo patim od artritisa tako da desnom rukom ne mogu niti podići čašu da ti uzvratim zdravicu, a kamoli iscrtavati precizne poteze kistom ili olovkom. Ne, brate...za mene je prekasno.-* (prijevod autorice iz: <http://www.barefootsworld.net/albrechtdurer.html>)

Preko pola stoljeća je prošlo. Albrecht Dürer postao je svjetski poznat umjetnik, no njegova najdirljivija slika je ona koju je naslikao u spomen žrtvi voljenog brata. Naslikao je bratove grube radničke ruke, spojenih dlanova i tankih prstiju ispruženih prema nebu. Sliku je jednostavno nazvao *Ruke*, ali je ona dirnula srca cijelog svijeta te je ovom remek-djelu kasnije promijenjen naziv u *Ruke koje mole*.

**Slika 7** Dürerove *Ruke koje mole*. Ruke se koriste u molitvi svih svjetskih religija, a i sama molitva je univerzalni ljudski ritual. (© Albertina, Beč)



#### Dodatna literatura

1. Religious symbolism and iconography, Encyclopaedia Britannica, <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/497416/religious-symbolism>,
2. T. Trako; Simbol ruke, Razmatranja o pojavi i značaju simbola ruke u kontekstu svakodnevné komunikacije, Socijalna ekologija, 16(1):35-56, 2007, [http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id\\_clanak\\_jezik=19204](http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=19204),
3. M. Eliade; Slike i simboli, Fabula Nova, Zagreb, 2006.

# Ruka – sustav prenošenja čovjekove vještine i kreativnosti

*Ruke u sviranju*

mr. sc. Konstilija Nikolić Markota

Mnoga živa bića imaju ruke ili ruka-  
ma nazivamo prednje ekstremitete koji  
su različito, ali specifično građeni ovisno  
o potrebama. Ono što je zajedničko svi-  
ma jest da svi slijede isti osnovni obrazac  
građe. Krila u ptica i šišmiša, peraje tu-  
ljana i kitova, te peraje nekih riba; sve su  
to varijacije istog.

S obzirom na sposobnost izuzetno  
kompleksnih funkcija njegovih ruku, ljud-  
sko biće u stanju je koristiti ih u daleko  
široj paleti svrha i namjera.

Ako je sposobnost mišljenja u sim-  
bolima, apstraktnog i stvaralačkog mi-  
šljenja preduvjet za umjetnost, ono što  
čovjeka razlikuje od životinje, onda je i  
ljudska ruka također nešto što tu razliku  
podcrtava. Razliku, koja moguće upuću-  
je na to da čovjek ima na ovom planetu  
još nekakav zadatak za koji su mu ponu-  
đene dodatne alatke.

Sažmemo li ove dvije predispozicije,  
onu mišljenja i onu povećane funkcio-  
nalnosti ruke, tada možemo zaključiti  
da u čovjekovim djelima, a posebice  
umjetničkim djelima, jest neka posebnost  
ljudskog postojanja. No, još i više,  
iz toga proizlazi nešto osobito važno za  
spoznaju čovjeka o samom sebi, a to je  
da je čovjek psihofizička cjelina.

Misao o psihofizičkoj cjelini osobito  
jasno dolazi do izražaja u izvedbenoj  
umjetnosti gdje je čovjekova ruka sustav  
prijenosa od imaginacije do realizaci-  
je. U procesu nastajanja tona, odnosno  
procesu preobražaja sluha u ton, ruka  
sudjeluje kao odlučujući faktor i to tako  
da je tijesno povezan s mentalnim i du-  
ševnim komponentama u tom procesu.  
Neraskidivost ovih komponenta, kao i  
neraskidivost mentalnih i fizičkih kom-  
ponenta jasno je uočljiva u činjenici da

nema manualne izvrsnosti bez potpune  
usavršenosti slušnog opažanja u stva-  
ranju i interpretiranju glazbe. Dapače,  
umjetnost stvaranja zvuka zasniva se na  
psihofizičkoj vještini oblikovanja tona. U  
toj realizaciji neprestano se isprepliću  
slušne i manualne komponente, bilo u  
nizu odluka koje projektiramo u vremen-  
ske i prostorne koordinate, bilo u potrebi  
sinkroniziranja pojedinih manualnih rad-  
nji. Imperativ izgradnje snažnog otiska  
glazbenog djela u glazbenoj interpretaciji  
počiva na svjesnom organiziranju tijeko-  
va u izgradnji uvjerljive umjetničke cjeline,  
što je moguće samo i isključivo svladava-  
njem i istodobnim razvojem manualnih i  
slušnih sposobnosti. Te dvije sposobnosti  
osnova su onoga što u izvođačkoj praksi  
zovemo *tehnika sviranja*. Osim ovih dviju  
komponenti psihičke aktivnosti izvođa-  
ča koje sudjeluju u stvaranju glazbenih

*Tijekom niza godina suočavajući se sa zadacima koje pred nas postavlja izvedba glazbenog djela i podučavanje u nastavi instrumenata, i to osobito u trenucima ponekad mučnog i dugotrajnog svladavanja kojekakvih tehničkih problema, često se moglo postaviti pitanje je li čovjek svojom građom tijela, osobito šake, dovoljno ili uopće predisponiran da svira instrument.*

komponenata u mentalnom prostoru izvođača, nalaze se i one vanglazbene komponente, kao što su emocije, a imaju jednako važno mjesto.

Tijekom niza godina suočavajući se sa zadacima koje pred nas postavlja izvedba glazbenog djela i podučavanje u nastavi instrumenata, i to osobito u trenucima ponekad mučnog i dugotrajnog svladavanja kojekakvih tehničkih problema, često se moglo postaviti pitanje je li čovjek svojom građom tijela, osobito šake, dovoljno ili uopće predisponiran da svira instrument. Drugim riječima, je li ljudska ruka namijenjena, unatoč svojim, na početku navedenim, širokim mogućnostima, nečemu kao što je sviranje? Je li svirati uopće nešto prirodno ili je to ljudski hir u sve većoj fascinaciji korištenja i rukovanja raznovrsnim strojevima koje je čovjek izmislio?

Kako god bilo, čovjekova strasna potreba za imaginacijom i samoizražavanjem te domišljatost u rješavanju različitih prirodnih nepogoda, ali i nasušna potreba da ovaj svijet shvati putem umjetnosti i ponajviše glazbom, nagnala ga je da doskoči i onim nepogodama na koje je naišao kada ga je građa ruke priječila da zvukom izrazi svoju stvaralačku misao.

Ruka je, doduše doživljavajući male ne konstitucijske preinake koje nastaju

školovanjem instrumentalista, ipak u stanju postati potpuno sposobna da kao sustav dovede do realizacije svu imaginaciju koju joj zadaje unutarnji sluh i racionalno zaključivanje.

Ruka kao sustav prijenosa u procesu nastajanja tona počiva na kibernetičkom principu uravnoteženja protuakcijom, gdje se upravljanje pokreta ruke zasniva na nizu ispravljačkih informacija koje naš sustav imaju zadatak dovesti u ravnotežu. U praksi se to zasniva na nizu neprestanih odluka koje donosimo u krugu na obodu kojega se nalaze točke: unutarnji sluh – oko – ruka – kontrolni sluh. Konkretnije rečeno, mi ton prvo zamislimo u unutarnjem sluhu, okom preciziramo mjesto kontakta s tipkom, dajemo informaciju ruci koja realizira ton i na posljertku kontroliramo rezultat naše akcije. Ovaj proces ponavljamo neprestano.

Sljedeći princip koji ruka mora slijediti svirajući instrument jest princip potpune ekonomičnosti, što znači da nema mjesta suvišnim pokretima koji opterećuju naše mišiće i u konačnici, nagomilavajući se, dovode do kočenja pojedinih mišića i smanjene funkcije ruke. Ruka opterećena suvišnim pokretima nije više u stanju svirati ispravno, brzo se zamara i čini sve više pokreta koje ne upravljamo svjesno. Dugoročno, ovakvo stanje zgrčenosti

priječi razvoj naše tehnike sviranja. Ne-dovoljna tehnika sviranja pak, onemogućuje izražavanje naših muzičkih zamisli tako da dolazi i do manjkave interpretacije i do mogućnosti da u potpunosti predstavimo ideju kompozicije. U konačnici, zatvara nam put ka spoznaji one ljepote koja leži tek iza beskrajne palete tonova, raznovrsnih po boji, intenzitetu i gradacijskim nijansama.

Budući da glazba nastaje psihološkom sintezom u vremenu nastalih odjelitih tonova, potrebno je te tonove (kao i tišine koje ih razdvajaju), proizvesti upravo na način da oni u konačnici tvore cjelinu. To znači da tonovi smisleno i zvukovno proizlaze jedan iz drugoga i pretaču se jedan u drugi, svaki prethodni uzrok je sljedećem, odnosno svaki sljedeći zaključak je prethodnog, sve u skladu sa smislenim muzičkim tijekom. Stoga je zadatak izvođača da uz aktivnost neprestanog uspoređivanja informacija koje daju kontrolni i imaginarni sluh, planira pokrete ruku kao odgovor na pitanje *kako ući u tipku i kako izići iz tipke*, kako dakle spojiti ili razdvojiti dva tona.

Sloboda interpretacije stoga počiva na slobodi sviračkog aparata, sustava koji u potpunoj opuštenosti i mirnoći omogućava prstima skladan rad, što se postiže time da pokreti ruke budu svrsis-

*Budući da glazba nastaje psihološkom sintezom u vremenu nastalih odjelitih tonova, potrebno je te tonove (kao i tišine koje ih razdvajaju), proizvesti upravo na način da oni u konačnici tvore cjelinu.*

*Ruka je u stanju postati potpuno sposobna da kao sustav dovede o realizacije svu imaginaciju koju joj zadaje unutarnji sluh i racionalno zaključivanje.*

hodni i potpuno svjesni, tako da u svakom trenutku možemo upravljati svojim pokretima ka željenom cilju.

Jedan od tehničkih uvjeta sviranja na klaviru jest smještaj za klavirom jer o pravilnom smještaju ovisi rad ruke i prstiju, nesmetan razvoj tehnike, precizan ritam, kvaliteta tona i u konačnici muzikalno izražavanje. Trup je uspravan ili malo nagnut prema klavijaturi, glava s vratnim mišićima mora biti slobodna, oba ramena su u vodoravnom položaju – u paralelnoj liniji s klavijaturom – opuštena i ne uzdignuta, a kralježnica je uspravna. Svirajući, imamo oporište u leđima i oslonac na stopala. To nam omogućuje da energiju cijelog tijela izlijemo u vrh prsta koji kao točka dodira s tipkom predstavlja točku produžetka naše ruke i mjesto ulijevanja cjelokupne energije u tipku.

Slijedi postavljanje ruku na klavijaturu. One prvo slobodno vise uz tijelo i tako potpuno opušteno poprimaju prirodan oblik. Takve ih položimo na klavijaturu i tome položaju i opuštenosti težimo tijekom cijelog sviranja jer samo potpuno opuštena ruka može razviti ispravnu tehniku sviranja. Mišići, tetive i živci ruke ne smiju se naprezati ili zamarati što znači da osim što su pokreti ekonomično kontrolirani, nakon svake akcije na kraju

treba slijediti relaksacija. Svako zatezanje ili formiranje šake prema nekim stranim, zamišljenim formama (npr. jabuka u ruci), koči ruku jer za sobom povlači nepotrebnu aktivnost pretjeranog zao kruživanja prstiju što je ne samo štetno za samu ruku, nego se takvim držanjem uopće ne bi mogla izvesti pojedina djela određenih stilskih razdoblja. Udaljenost od klavijature određuje dužina podlaktice, a visinu stolca na kojem sjedimo dužina nadlaktice, što znači da će ove dvije poluge tvoriti približno pravi kut ili blago težiti ka tupom kutu.

Prsti prenose težinu ruke na tipku s kojom su u kontaktu preko jagodice, osim palca koji svira krajem donjeg brida. Zglobovi su zaobljeni i treba paziti da se ne *lome*, odnosno upadaju što se početnicima – među ostalim nedaćama – često događa.

Korijeni prstiju trebaju biti istureni tako da prate prirodnu zaobljenost šake, a prstima omogućuju pokretljivost. Ručni zglob omogućuje šaci podizanje i spuštanje, a dlan se uz njega pomjera unutra, lijevo ili desno i ispravlja. Kod početnika je ručni zglob potrebno postaviti prema visini crnih tipki jer previsoko ili prenisko postavljen zglob lomi priliv snage u prste. Ručni zglob je miran, ali istovremeno elastičan i taj proces slobodne fiksaci-

je i relaksacije treba dovesti do pravilnog kretanja ruke.

Kako bismo uvijek ostvarili cilj koji predstavlja naš željeni tonski rezultat, potrebno je slijediti glavne principe za razvoj klavirske tehnike, a to su:

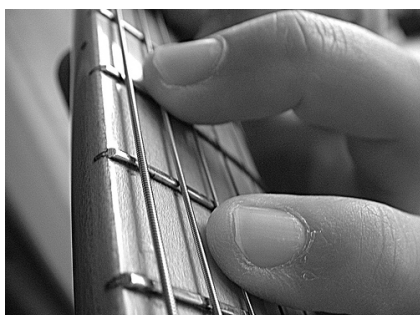
- gipkost i plastičnost cjelokupnog aparata
- povezanost i uzajamno djelovanje svih dijelova ruku uz aktivne i pokretljive prste
- svrsishodni i ekonomični pokreti i potpuno uspostavljena veza između ideje (zvukovne zamisli) i pokreta (realizacije).

Iako je mišićni rad neosporan i temeljni izvor energije koju pri sviranju koristimo, ni u kojem slučaju nije jedini. Mogli bismo, štoviše ustvrditi da on ne bi niti smio biti jedini jer bismo ograničavajući se samo na mišićni rad osiromašili velik dio palete tonskih boja pa i drugih kvaliteta tona koje su nam neophodne kako bi interpretacija, osobito ona koja stremlji ka što suptilnijim nijansama izraza, našla svoju punu estetsku potvrdu. Ova tvrdnja daje naslutiti da su za razumijevanje tehnike sviranja značajniji pojmovi koji se tiču fizike, tj. mehanike, nego medicine, tj. anatomije. Svirači aparat u konačnici je sustav poluga koje, različite po dužini i hvatištu (osloncu), prenose energiju na način da prema potrebi uključuju i isključuju intenzitet svoje prisutnosti. Ovisno o kvaliteti tona iskoristit ćemo aktivno pojedinu polugu ili više njih dok će ostale tvoriti konstrukciju, slikovito rečeno *visećeg mosta*, što znači da će opušteno i gipko omogućiti protjecanje i prenošenje energije prema točki u kojoj se ruka preko jagodica na prstima spaja s tipkama, odnosno instrumentom.

Slavni pijanist i pedagog H. Neuhaus ovako je svojim đacima tumačio mehaniku nastajanja tona:

*Ton na klaviru nastaje kada energija ruke prijeđe u energiju zvuka, odnosno kada tipka primi energiju udarca što se nalazi u sili (F) kojom djelujemo na ruku, i visini (h) s koje ruka kreće na tipku. Sukladno veličinama "F" i "h", ruka u trenutku udarca ima i određenu brzinu (v) i težinu (m). Odatle proizlazi da je energija kojom djelujemo na tipke također i*

*Izvori energije koju dakle koristimo u oblikovanju tona su mišićni rad i težina ruke, a način na koji to ostvarujemo proizlazi iz slobodnog pada, zamaha, udara i pritiska.*



rezultat umnoška brzine ( $v$ ) i mase ( $m$ ) ruke... Ukoliko je veća visina ( $h$ ) s koje ruka polazi na tipku, utoliko je manje potreban pritisak, odnosno sila ( $F$ ), sve do njenog potpunog uki-danja. I obratno, koliko je manja visina ( $h$ ), toliko će biti potrebno više sila ( $F$ ) da dobijemo jednako jak ton.

(H. Neuhau; O umjetnosti sviranja klavira)

Određivanje najmanje brzine kojom prst pokreće tipku kako bismo dobili najtiši tona ili najveću brzinu koja stvara oštar i odrješit ton, određivanje minimuma snage mišića koji će s površine tipke proizvesti ton ili maksimuma snage i visine s koje ruka kreće kako bi proizvela snažan, zvučan, ali ne i grub ton – sve su to mogućnosti koje svjesno i unaprijed odabiremo kako bi točno oslikali zvučne predodžbe. Zadatak je ruke omogućiti što širi spektar raznovrsnih kvaliteta tonova, što se prije svega postiže time da poluge ruke koje sudjeluju u rađanju tonova budu samostalne, aktivne, precizne, ujednačene i koordinirane, potpuno srodne i bliske s klavijaturom na koju se oslanjaju. Preduvjet tome je da cijela ruka od šake do ramena bude opuštena, što znači da se nigdje ne smije grčiti, kočiti i izgubiti svoju potencijalnu elastičnost. Prenošenjem energije s tipke na tipku, ruka se pomiče po klavijaturi, tako da prelazi najbliži put između dviju tipki koji je, kao i u neuklidskoj geometriji – luk. Opuštenost ruku, odnosno neprekidna izmjena akcije i relaksacije, preduvjet su postizanja limita klavirske zvučnosti. Svako grčenje, pa i najmanje kočjenje pojedinog dijela sustava, prekida potpuni dotok energije što s jedne strane osiromašuje kvalitetu tona, a s druge strane uzrokuje gomilanje stresa u sustavu koji će sve manje imati spo-

*Svirači aparat u konačnici je sustav poluga koje, različite po dužini i hvatištu (osloncu), prenose energiju na način da prema potrebi uključuju i isključuju intenzitet svoje prisutnosti.*

sobnosti za pravilne pokrete.

Izvori energije koju dakle koristimo u oblikovanju tona su mišićni rad i težina ruke, a način na koji to ostvarujemo proizlazi iz slobodnog pada, zamaha, udara i pritiska.

Ovo su samo grubi i šturi pojmovi jer tonove uglavnom oblikujemo kombinirajući više načina i vrsta pokreta u čemu sudjeluju, dakle težina poluge, brzina kretanja i dužina puta koju poluga prijeđe.

Važno je istaknuti da elastičnost zglobova ruke i fiksirani prsti koji nose ruku omogućuju da oni pravilno prenose snagu i energiju te aktivno izvode pokrete prema tipki. To da je težina u ruci aktivna znači da je ona promjenljiva, odnosno da je kombinacija težine ruke i rada prstiju u neprestanoj međuovisnosti i stalno se mijenja. Promjena ovih varijabli također je u stalnoj međuovisnosti s promjena-

ma položaja ruke, a najbolji položaj ruke na klavijaturi jest onaj koji se može najlakše i najbrže promijeniti. Tako je ruka kao sustav prijenosa, živi organizam određen ne samo zakonitostima koje su preduvjet dobrog funkcioniranja sviračkog aparata, već i potpunom pretakanju naših misli, ideja i kreacija.



# Pneumatski mišić kao aktuator

doc. dr. sc. Željko Šitum, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

*Pneumatski mišić, koji je nastao kao rezultat interdisciplinarnog istraživanja u području robotskih manipulatora i bioloških sustava, predstavlja zanimljiv izbor tipa aktuatora koji se može koristiti u primjenama za regulaciju položaja i/ili sile manipulatora.*

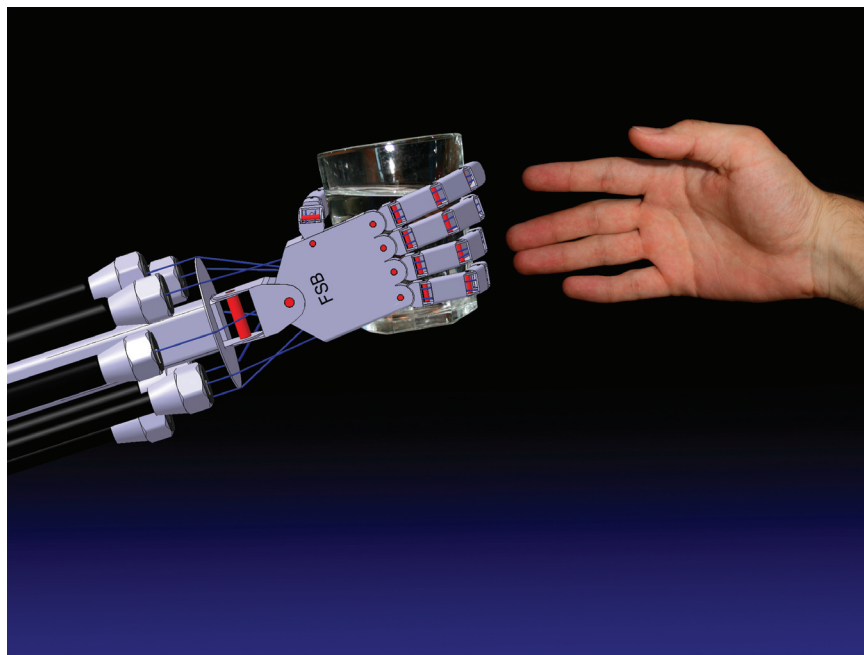
Umjetni pneumatski mišići imaju prirodnu elastičnost što ih čini pogodnim za primjenu u bioničkim sustavima, tj. biološki inspiriranim izvedbama tehničkih sustava. Ovaj osebujni transfer tehnologije između živih stvorenja i umjetnih tehničkih sustava čini se izrazito poželjan jer je evolucijski razvoj prirodne sustave načinio visoko optimiranim i učinkovitim. Iako se bionika kao znanstvena disciplina može smatrati kao relativno novo područje, treba se prisjetiti da je još Leonardo da Vinci bio inspiriran prirodom pri konstruiranju svojih letećih strojeva i plovećih objekata.

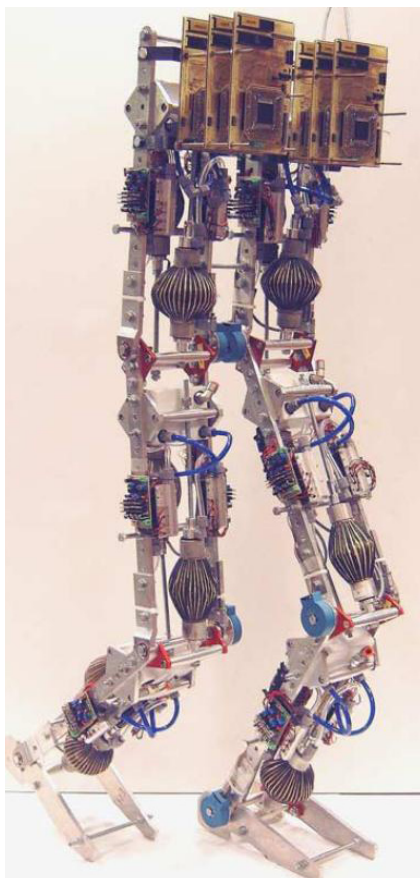
## **Područja primjene pneumatskih mišića**

Umjetni pneumatski mišići (engl. *Pneumatic Artificial Muscles*) nalaze primjenu u raznim područjima industrijske automatizacije, robotike i fizioterapije. Njihova najranija primjena bila je kod izrade ortopedskih pomagala u medicini, gdje su zbog svojih značajki kao što su mala masa i dimenzije, povoljan odnos mase i sile koju proizvode, mekana karakteristika sile, lako održavanje, dugi vijek trajanja i dr. bili vrlo prihvatljivi izbor aktuatora. U području robotike, primjena pneumatskih mišića rezultira elastičnošću prilikom gibanja robota jer manja krutost sustava uslijed stišljivosti zraka omogućuje im djelovanje poput opruge.

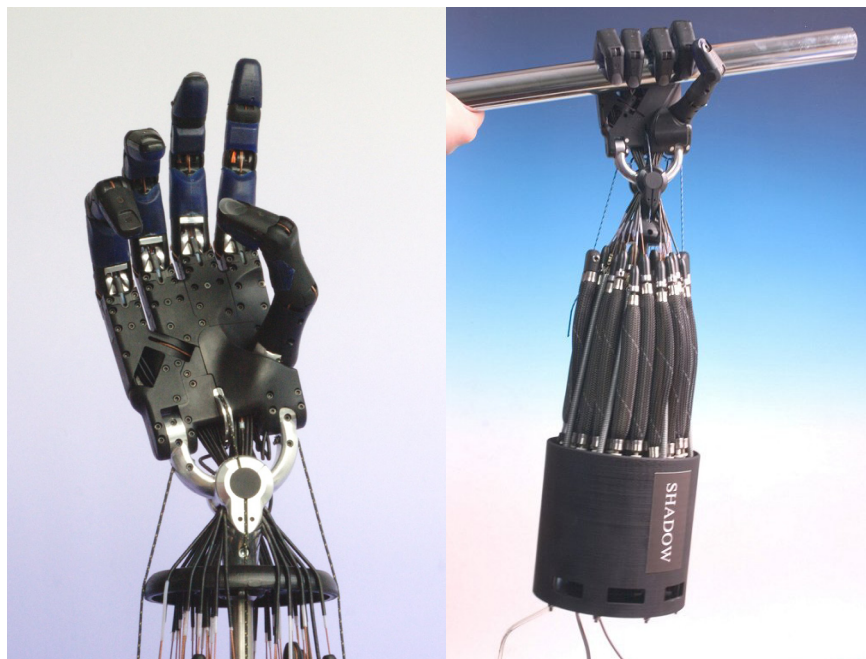
I u području industrijske automatizacije pneumatski mišići se sve više koriste te s uspjehom mogu nadomjestiti primjenu pneumatskih cilindara i omogućiti bolja svojstva u nepovoljnim uvjetima okoline u pogledu otpornosti na vlagu, prašinu i nečistoće u pogonu. Najčešće se koriste za podizanje i spuštanje tereta, u procesima sortiranja, manipuliranja radnim predmetima ili kao pneumatske opru-

**Slika 1** Robotska šaka pokretana umjetnim pneumatskim mišićima  
Autor: S. Herceg

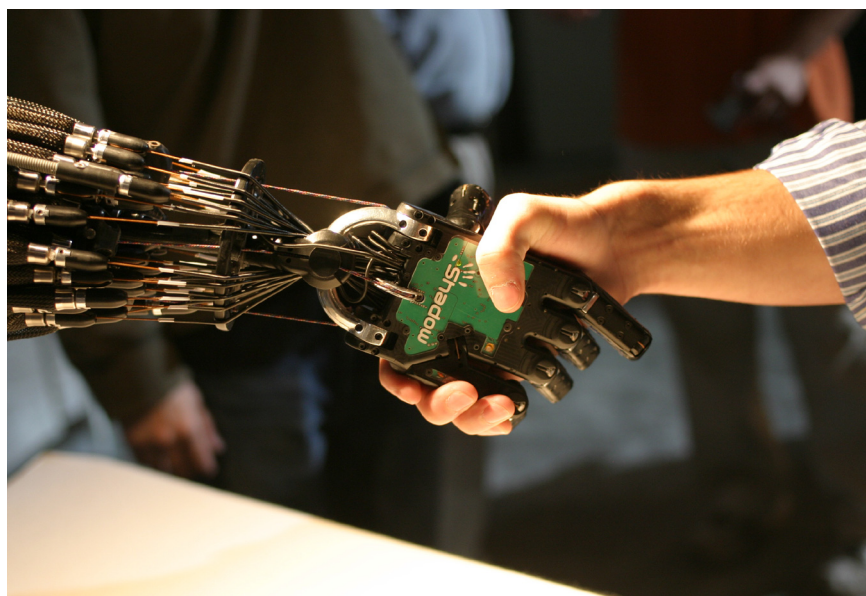




▲ Slika 2 Humanoidni hodajući robot Lucy (prema: B. Verrelst i dr: Control architecture for the pneumatically actuated dynamic walking biped "Lucy", Mechatronics 15; 2005.)



▲ Slika 3 Robotska šaka tvrtke Shadow Robot Company © (preuzeto sa: <http://www.shadowrobot.com>)



▲ Slika 4 Mehanički sustav za pokretanje ljudske ruke (prema: N.G. Tsagarakis, D.G. Caldwell: Development of a 'Soft-Actuated' Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training, Autonomous Robots 15; 2003.)



*Humanoidni roboti koji koriste pneumatske mišiće kao aktuator, predstavljaju primjer bioničkih sustava kod kojih se nastoji ostvariti konverzija konstrukcijskih principa i procesa prirodnih bioloških sustava s ciljem poboljšanja suvremenih tehnoloških rješenja.*

◀ Slika 5 Ortoza za stopalo pokretana pneumatskim mišićima (prema: K.E. Gordon, G.S. Sawicki, D.P. Ferris: *Mechanical performance of artificial pneumatic muscles to power an ankle-foot orthosis*, Journal of Biomechanics)

ge. Primjenom poboljšanih upravljačkih komponenta i naprednih upravljačkih algoritama prilagođenih danom zadatku prevladavaju se poteškoće u pogledu regulacije položaja i/ili sile aktuatora.

### **Pneumatski aktuatori**

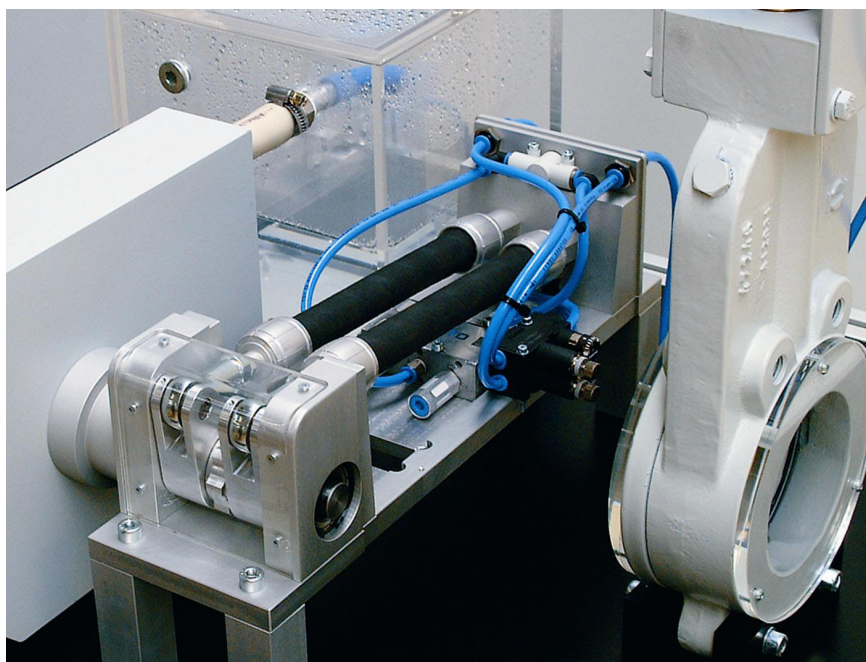
Aktuatori kao osnovne pogonske jedinice sustava (bioloških ili mehaničkih), omogućuju pretvorbu energije u različite oblike gibanja čime se ostvaruje interakcija sustava s njegovom okolinom. Pomoću aktuatora se npr. kod robota ostvaruju sile i momenti koji omogućuju pokretanje zglobova, a time i gibanje elemenata robota. Najčešća je primjena električnih aktuatora (elektromotora) i pogona koji koriste energiju stlačenog fluida – hidrauličkih aktuatora za veće snage, te pneumatskih aktuatora. Električni aktuatori imaju relativno mali odnos snage i težine, tj. malu *specifičnu snagu*, što može biti nepovoljno u nekim primjenama kao što je primjerice kod humanoidnih (antropoidnih) robota. Prednosti pneumatskih pogona su visoka brzina rada, lakoća u prijenosu snage, jednostavnost održavanja, raspoloživost medija, sigurnost operacija, a u usporedbi s elektromotornim i hidrauličkim pogonima, pneumatski sustavi su općenito sigurni od zapaljenja te omogućuju čist radni okoliš. Međutim,

u usporedbi s električnim i hidrauličkim pogonima, pneumatski pogoni su složeniji za upravljanje jer nelinearnosti uzrokovane kompresibilnošću zraka, trenjem, internim i eksternim poremećajima, promjenama tlaka napajanja i opterećenja čine pneumatski sustav zahtjevnim za ostvarenje reguliranog gibanja. Za razliku od pneumatskih cilindara ili pneumatskih motora kao često korištenih aktuatora u industrijskim pogonima, umjetni pneumatski mišić se puno rjeđe koristio kao pogonska jedinica u pneumatskom sustavu. Međutim, tehnološka poboljšanja i inovacije, kao i novi načini regulacije daju pneumatskim mišićima veliki potencijal u industrijskim primjenama za pogon novih vrsta manipulatora.

Pneumatski mišić, koji je nastao kao rezultat interdisciplinarnog istraživanja u području robotskih manipulatora i bioloških sustava, predstavlja zanimljiv izbor tipa aktuatora koji se može koristiti u primjenama za regulaciju položaja i/ili sile manipulatora. Na taj način, npr. humanoidni roboti koji koriste pneumatske mišiće kao aktuator, predstavljaju primjer bioničkih sustava kod kojih se nastoji ostvariti konverzija konstrukcijskih principa i procesa prirodnih bioloških sustava s ciljem poboljšanja suvremenih tehnoloških rješenja.

### **Nastanak i izvedbe pneumatskih mišića**

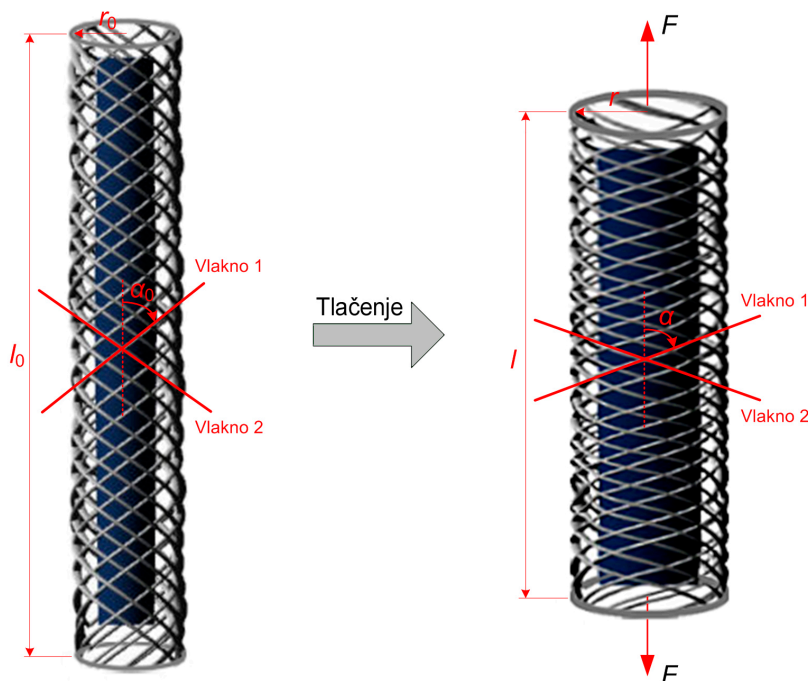
Ruski izumitelj S. Garasiev još je 30-tih godina prošlog stoljeća razvijao različite tipove aktuatora u obliku mišića koji su bili pogonjeni različitim vrstama fluida. Međutim, najčešće korišteni i u literaturi najviše obrađivani pneumatski umjetni mišić je McKibbenov mišić. Njegov izumitelj, liječnik Joseph L. McKibben je s umjetnim mišićem imao ideju pokretanja ortoza ruke njegove kćeri oboljele od dječje paralize pa se pneumatski mišići od tada često koriste i u izradi umjetnih proteza. Loša strana ovoga *mekanoga* aktuatora u izradi umjetnih proteza je potreba za stlačenim plinom koji se mora osigurati u spremniku određenog volumena, što je i bio razlog sve češće upotrebe električnih motora pogonjenih malim električnim baterijama. Međutim, i pneumatski sustavi imaju mogućnost učinkovite pohrane i brze nadopune stlačenog plina (zraka) potrebnog za pogon aktuatora. Tri desetljeća kasnije inženjeri u japanskoj tvornici gume Bridgestone redizajnirali su i poboljšali verziju McKibbenovog mišića (*rubbertuator*), koriste za pogon robotskih članaka. Tvrtka *Shadow Robot Company* koristi čak 40 integriranih pneumatskih mišića za ostvarenje 24 pokreta robotske šake, što je čini usporedivom s ljudskom šakom.



▲ Slika 6 Pneumatski mišići u industrijskoj primjeni. Mehanizam koji služi za pogon crpke za punjenje spremnika fluidom realiziran je s parom pneumatskih mišića. (Preuzeto sa: <http://www.festo.com>)

Zbog jednostavne konstrukcije i održavanja, kao i relativno niske cijene McKibbenov mišić predstavlja najčešće korišteni tip umjetnog pneumatskog mišića.

▼ Slika 7 Shema radnog principa pneumatskog mišića  
Autor: S. Herceg



kom. Također i njemačka tvrtka Festo komercijalizira primjenu pneumatskih mišića za potrebe u robotici i industrijskoj automatizaciji. Pokrenuti projekti na velikom broju istraživačkih instituta i sveučilišta u svijetu ukazuju na povećano zanimanje istraživača za primjenu pneumatskih mišića u području robotike, a taj trend će se sasvim sigurno nastaviti i u budućnosti. Pneumatski mišići postižu prihvatljive radne učinke slične biološkim mišićima, te se koriste i u studijama iz područja biomehanike (projektiranje bioloških sustava s inženjerskim pristupom).

Premda ima različitih tipova pneumatskih mišića obično su građeni na način da je elastična zatvorena kontrakcijska membrana, izvana ojačana pletenim vlaknima, pričvršćena s obje strane različitim tipovima prirubnica s priključkom za dovod stlačenog zraka s jedne ili s obje strane mišića. Mišić je karakteriziran početnim vrijednostima duljine, polumjera i kuta nagiba između uzdužne osi mišića i jednog od dvaju isprepletanih vlakana. Kada se u pneumatski mišić dovodi stlačen zrak, membrana se istovremeno radijalno širi (ekspandira) i aksijalno sužava (kontrahira), pri čemu se ostvaruje vlačna sila i gibanje koje je linearno i jednosmjerno.

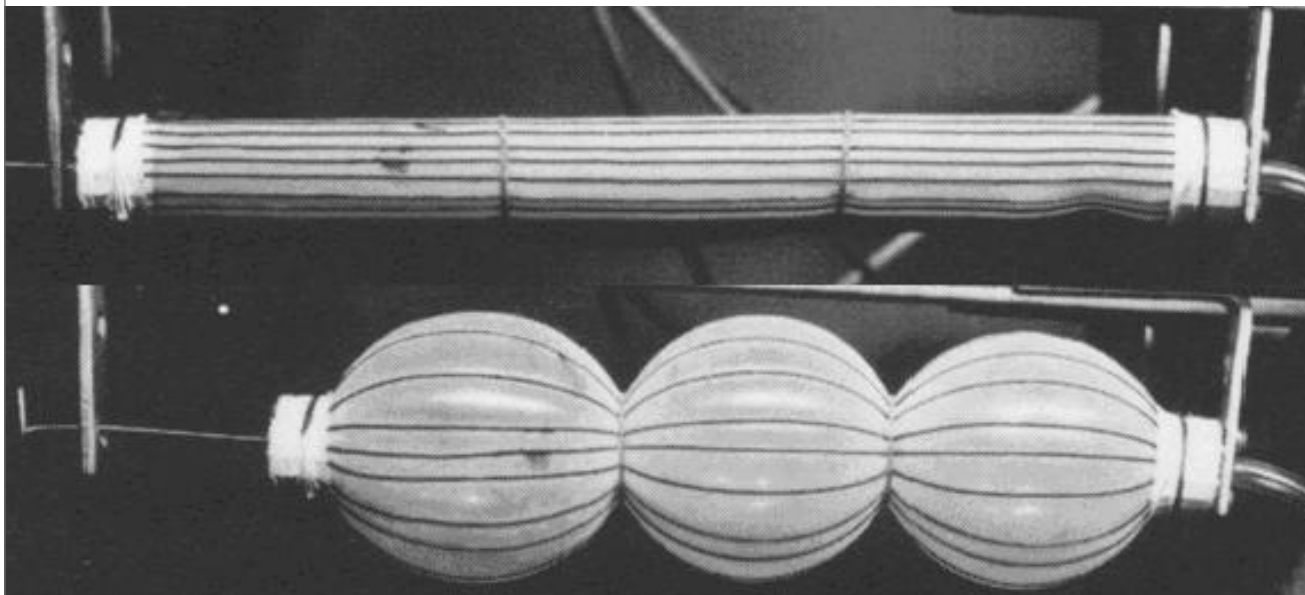
Uz već ranije spomenute izvedbe umjetnih pneumatskih mišića, na slici 8 prikazane su i druge izvedbe mišića koje se susreću u stručnoj literaturi. Materijali koji se uobičajeno koriste za izradu umjetnih mišića su silikonska guma, lateks, najlonska vlakna i sl. Područje radnih tlakova umjetnih mišića uobičajeno je 100–500 kPa, a maksimalno dozvoljeni tlak ograničen je čvrstoćom kontrakcijske membrane jer pri visokim iznosima tlaka mogu nastati ispuččenja membrane kroz vlakna koja ju okružuju i pucanja membrane.

Zbog jednostavne konstrukcije i održavanja, kao i relativno niske cijene McKibbenov mišić predstavlja najčešće korišteni tip umjetnog pneumatskog mišića. Pneumatski mišić s uzdužnom armaturom (*rubbretuator*), sastoji se od cijevi načinjene od elastomera koja je očvrstnuta vrlo snažnim nitima postav-

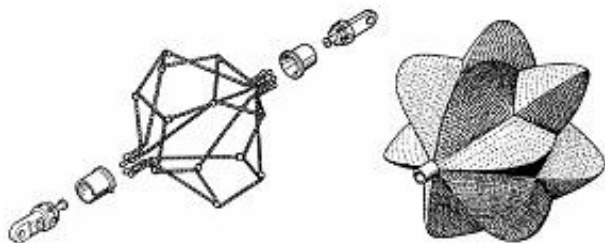
McKibbenov pneumatski mišić ▶



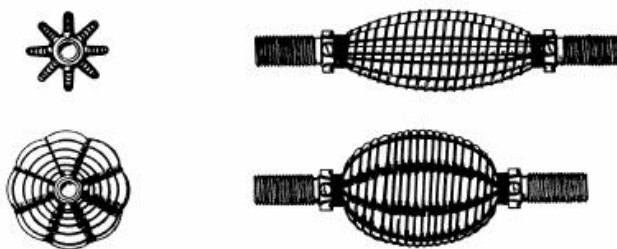
Pneumatski mišić s uzdužnom armaturom (Rubbertuator) ▼



ROMAC (RObotic Muscle ACtuator) pneumatski mišić ▼



Yarlottov pneumatski mišić ▼



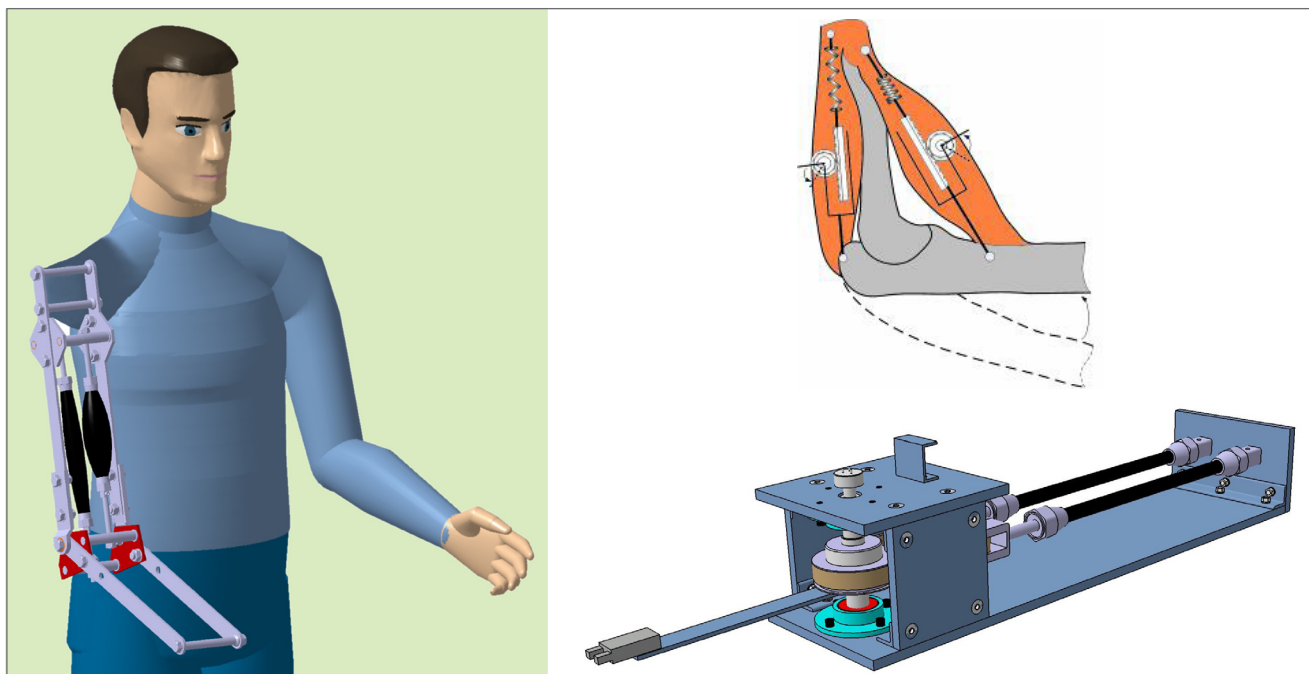
Pneumatski mišić tvrtke FESTO ▼



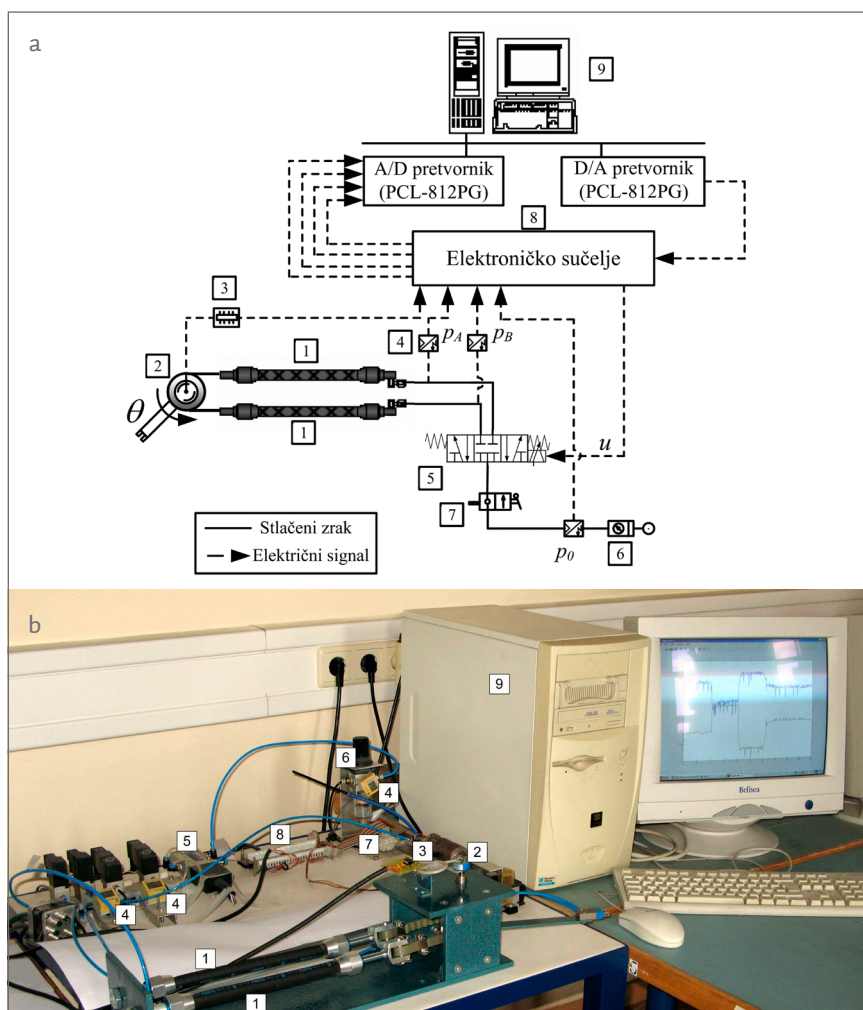
Kukoljev pneumatski mišić ▼



▲ Slika 8 Neke izvedbe umjetnih pneumatskih mišića. (prema: F. Daerden, D. Lefeber: Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation, European Journal of Mechanical and Environmental Engineering 47; 2002.)



▲ Slika 9 Sličnost djelovanja ljudskih mišića s djelovanjem umjetnih pneumatskih mišića  
Foto: S. Herceg



► Slika 10 Manipulator s pneumatskim mišićima kao aktuatorima:

a) Shematski dijagram reguliranog sustava:

1. Pneumatski mišić,
2. Rotacijski potenciometar,
3. Referenca napona,
4. Osjetilo tlaka,
5. Proporcionalni ventil,
6. Priprema grupa,
7. Ventil za otvaranje/zatvaranje dovoda zraka,
8. Elektroničko sučelje,
9. Upravljačko računalo

b) Fotografija eksperimentalnog sustava. Manipulator je načinjen u Zavodu za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu

ljenim uzduž mišića. Pneumatski mišić tipa ROMAC sastoji se od višedjelnog mjehura izrađenog od nepropusnog, fleksibilnog materijala visoke krutosti obavijenog mrežom načinjenom od žice koja je s obje strane zatvorena spojnim elementima. Žičana mreža povezana je u čvorove, tako da oblikuje niz četverostranih ispupčenja, koja se pri upuhivanju fluida pod tlakom širi u radijalnom smjeru i istovremeno skraćuje u aksijalnom smjeru. Pri tome je ukupna površina aktuatora konstantna zbog slabo rastezljive obloge. Zbog smanjenja trenja i iznimno čvrste konstrukcije ostvaruju se veće vlačne sile aktuatora. Yarlottov pneumatski mišić sastoji se od membrane loptastog oblika, preko koje su u aksijalnom smjeru prevučene žice. U napuhanom stanju mišić poprima sferni oblik, dok pri niskim iznosima tlaka nastaje niz ispupčenja i udubljenja po obodu mišića. Kukoljev pneumatski mišić predstavlja varijaciju McKibbenovog mišića. Osnovna razlika je u vanjskom pletivu od vlakana koje je kod Kukoljevog mišića izvedeno kao otvorena mreža. Nešto robustniji tip pneumatskog mišića predstavlja fluidički mišić tvrtke Festo. Izvedba ovog mišića uključuje fleksibilnu polimernu cijev visoke čvrstoće dodatno ojačanu žičanim pletivom, čime je dobivena kompaktna

struktura sa smanjenim iznosom trenja, koja omogućuje vrlo veliki broj radnih ciklusa (prema podacima proizvođača i do 10 milijuna ciklusa).

### **Konstrukcija ruke manipulatora s pneumatskim mišićima kao aktuatorima**

Par spregnutih, suprotno djelujućih pneumatskih mišića zakreću rotacijski zglob manipulatora na sličan način kao što se odvija zakretanje ljudske podlaktice oko lakta skupljanjem i izduživanjem mišića bicepsa i tricepsa. Dva suprotno djelujuća pneumatska mišića direktno su povezani remenom te vlačne sile mišića zakreću remenicu na kojoj je pričvršćena ruka manipulatora. Početni tlak unutar mišića je približno jednak. Rotacijsko gibanje ruke manipulatora ostvaruje se povećanjem tlaka u jednom mišiću uz istovremeno smanjenje tlaka u drugom, suprotno djelujućem mišiću. Stupanj kontrakcije pneumatskih mišića uobičajeno je do 25 % njegove početne duljine.

Na slici 10 prikazan je shematski dijagram i fotografija eksperimentalnog modela manipulatora koji koristi pneumatske mišiće kao aktuatore. Eksperimentalni postav moguće je podijeliti na mehanički dio i upravljački dio sustava. Mehanički dio sastavljen je od manipulatora koji uključuje pneumatske miši-

će, sklopa pomoću kojeg se ostvaruje rotacijsko gibanje ruke s prihvatnicom, proporcionalnog ventila za upravljanje protokom zraka prema aktuatorima, senzora za mjerenje kuta zakreta ruke manipulatora i tlakova u aktuatorima, te sustava za pripremu i dovod stlačnog zraka. Upravljački dio sustava čine računalo i sustav za akviziciju (prihvat i obradu) signala. Upravljački program (algoritam upravljanja), implementiran je na računalo i izveden je u programskom jeziku C. Mjereni signali sa senzora se putem A/D (analogno/digitalnog) pretvornika kartice za prihvat i obradu signala učitavaju u računalo. U računalo se izvršava algoritam upravljanja te se izračunati upravljački signal putem D/A (digitalno/analognog) pretvornika šalje na ventil, koji upravlja protokom zraka prema aktuatorima. Promjenom količine zraka u aktuatorima se mijenjaju tlakovi, što uzrokuje različite vlačne sile u aktuatorima koje zakreću ruku manipulatora. Pri tome, regulator realiziran u upravljačkom algoritmu nastoji održati pogrešku regulacije (razliku između referentnog, tj. željenog kuta zakreta i ostvarenog, tj. mjenog kuta zakreta) što manjom.

### **Za one koji žele znati više**

- F. Daerden, D. Lefeber; Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation, *European Journal of Mechanical and Environmental Engineering*, 47, pp. 10-21, 2002,
- N. Tsagarakis; D. G. Caldwell; Development and Control of a 'Soft-Actuated' Exoskeleton for Use in Physiotherapy and Training, *Autonomous Robots*, 15, pp. 21-33, 2003,
- F. Daerden; Conception and Realization of Pleated Pneumatic Artificial Muscles and their Use as Compliant Actuation Elements, disertacija, Vrije Universiteit Brussel, 1999,
- R. Van Ham; Compliant Actuation for Biologically Inspired Bipedal Walking Robots, disertacija, Vrije Universiteit Brussel, 2006,
- K. E. Gordon, G. S. Sawicki, D. P. Ferris; Mechanical performance of artificial pneumatic muscles to power an ankle-foot orthosis, *Journal of Biomechanics*, 39, pp. 1832-1841, 2006,
- S. Herceg; Konstrukcija robotske ruke s pneumatskim mišićima kao aktuatorima, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, završni rad (mentor Ž. Šitum), 2007,
- Shadow Robot Company, The Hand Overview, <http://www.shadowrobot.com/hand/>,
- Fluidic Muscle DMSP/MAS, FESTO katalog, 2005.

# Dominantnost ruke

Ivana Hromatko, Odsjek za psihologiju, Filozofski fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Ne samo da naši neparni organi, poput srca, jetre i slezene nisu simetrično postavljeni, nego ni naši parni organi nisu posve simetrični. Dio središnjeg živčanog sustava – parni organ koji nam je od posebnog interesa kada se radi o tome koja nam je ruka vještija jest, naravno – mozak. Veliki se mozak sastoji od dviju hemisfera, koje su na prvi pogled vrlo slične, ali se ipak međusobno podosta razlikuju i anatomski, i histološki, a ponajviše funkcionalno. To znači da će jedna hemisfera brže, bolje ili učinkovitije obavljati određene funkcije u odnosu na drugu hemisferu. Ova funkcionalna specijalizacija hemisfera naziva se *lateralizacija*.

U popularnoj literaturi često se mogu naći navodi da je lijeva hemisfera racionalna, a desna kreativna ili pak da je lijeva analitička, a desna holistička – valja odmah naglasiti da ovakve, pretjerano pojednostavljene generalizacije nisu točne. Moderne tehnike slikovnog prikazivanja rada mozga nisu potvrdile pretpostavke kakojesevakahemisferaisključivo specijalizirana za rješavanje pojedinih zadataka. Slika je mnogo složenija od toga i najčešće možemo vidjeti bilateralnu aktivaciju različitih moždanih regija prilikom odvijanja kognitivnih procesa koji su se tradicionalno smatrali funkcijom jedne ili druge hemisfere.

Slika prikazuje ilustraciju koju je švicarski slikar Hans Erni naslikao za Vladimira Preloga s ciljem lakšeg razumijevanje kiralnosti - značaja ljudske inteligencije i dominantnosti lijeve i desne ruke.



*Kao i neke životinje, tako i ljudi pokazuju opću tendenciju k asimetričnosti: iako se može činiti da smo lateralno simetrični s obzirom na našu središnju os, ova je simetrija samo prividna.*

*Jedna od najprihvaćenijih teorija o tome zašto uopće postoji dominantnost ruke je teorija o podjeli rada među hemisferama. Prema ovoj teoriji, postojanje dominantne ruke odraz je učinkovite mozgovne organizacije*

### Što znači biti ljevak?

U prošlosti su ljevac često bili prisiljavani na promjenu dominantne ruke, ako je u pitanju bila lijeva ruka te na korištenje desne. Danas je taj pritisak bitno smanjen, ali ljevac i dalje žive u dominantno desno-orijentiranom svijetu: mnogi alati, svakodnevne potrepštine i procedure prilagođene su korištenju desnom rukom. Također, latinski naziv kojim označavamo riječ lijevo (lat. *sinister*), znači *nepovoljan, nespretan* (u nekim drugim jezicima ova je riječ poprimila i mnoštvo drugih nepovoljnih značenja), dok naziv kojim označavamo pojam desno (lat. *dexter*), znači *prikladan, vješt*. Da ova podjela nije pretjerano utemeljena, govori nam i poduga lista slavnih i uspješnih ljevaka (preuzeto s <http://www.indiana.edu/~primate/left.html>, gdje možete naći i mnogo duži popis), od političara i znanstvenika do glumaca, glazbenika i ostalih umjetnika: Julije Cezar, Napoleon Bonaparte, Princ Charles, Fidel Castro, Harry S. Truman, George Bush, Bill Clinton, Pablo Picasso, Michelangelo, Leonardo da Vinci, Jimi Hendrix, Paul McCartney, Paul Simon, Dan Akroyd, Jim Carrey, Charlie Chaplin, Greta Garbo, Henry Ford, Edwin Buzz Aldrin.....

Ipak, jezik i govorne funkcije se i danas još uvijek smatraju izrazito lateraliziranim funkcijama. Prvi je to još u 19. stoljeću otkrio francuski neurokirurg Paul Broca, koji je utvrdio i prikazao da određeni dio lijeve hemisfere igra ključnu ulogu u nastajanju/proizvodnji govora. Ubrzo je i njemački neurolog Carl Wernicke prepoznao još jedan dio lijeve hemisfere, koji je ključan za razumijevanje jezika. Iako se na prvi pogled može činiti kako ovo nema nikakve veze s dominantnošću ruke, još ćemo se kratko zadržati na lateralizaciji jezika. Naime, u većine je ljudi lijeva hemisfera specijalizirana za jezične funkcije: konkretno, lijeva je hemisfera specijalizirana za jezik kod 95 % desnjaka i 70 % ljevaka. Broca je prvi uočio da je dominantna hemisfera suprotna dominantnoj ruci – tj. da su ljudi kojima je centar za govor u lijevoj hemisferi, gotovo uvijek desnjaci. Međutim, kao što ćemo vidjeti, ova korelacija nije stopostotna.

### Podrijetlo dominantnosti ruke

Iako većina ljudi misli da je dominantna ruka ona koju koristimo za pisanje, situacija je nešto složenija od toga: mnogi ljudi zaista pišu desnom rukom, ali sve ostale svakodnevne aktivnosti – pranje zuba, držanje škara, kuhanje, dijeljenje karata – obavljaju lijevom. Osim toga, neki

istraživači dominantnom rukom smatraju onu kojom brže ili preciznije obavljamo neku manualnu operaciju, dok drugi smatraju da je to ona ruka koju uobičajamo koristiti, neovisno o tome jesmo li tom rukom vještiji ili ne. Očigledno, veći broj ljudi u općoj populaciji su po oba kriterija desnjaci. Ovisno o definiciji i metodi koju su pojedini istraživači koristili, procjenjujemo da je u općoj populaciji oko 8-15 % ljevaka, a najrjeđi su ambideksteri, tj. oni koji su jednako vješti s obje ruke. Zašto je tome tako, odnosno zašto je većina ljudi vještija u korištenju desnom rukom?

Bilo koje pojašnjenje bioloških procesa u podlozi nekih ponašanja, a tako je i kada govorimo o pojavi dominantnosti ruke, možemo svrstati u jednu od dvije skupine objašnjenja, ovisno o tome koju vrstu mehanizama to objašnjenje opisuju: *proksimalne* ili *evolucijske* (krajnje, ultimativne), mehanizme. Proksimalni mehanizmi odnose se na neposredne procese koji se odvijaju tijekom života svakog pojedinca (primjerice, način na koji geni ili hormoni utječu na razvoj mozga, pa tako i preferenciju ruke). Evolucijski mehanizmi odnose se na posredne procese koji su djelovali na razvoj neke karakteristike (u ovom slučaju, dominantnosti ruke), tijekom evolucijske povijesti vrste koja tu osobinu posjeduje, tj. na način



*Uočeno je da djeca koju su usvojili ljevoruki roditelji ne pokazuju u većem postotku dominantnost lijeve ruke od djece koju su usvojili dešnjaci, što znači da učenje po modelu nema veliku ulogu u usvajanju dominantnosti ruke.*

na koji je neka osobina evoluirala putem prirodnog odabira. Naravno, ovo su dvije različite razine objašnjenja i stoga teorije koje pripadaju jednim ili drugima mogu međusobno biti komplementarne.

### **Evolucijski mehanizmi razvoja dominantnosti ruke**

Vjerojatno najsimpaticijska, ali najmanje utemeljena teorija naziva se teorijom peloponeskih ratova ili hipotezom mača i štita: prema kojoj je samo ponašanje prethodilo pojavi dominantnosti ruke, pa tako lijeva ruka drži štit kako bi štitila srce, a desna drži mač i na taj način postaje vještija. Tako ratnik koji koristi ovu strategiju ima veću šansu preživljavanja, što dovodi do veće smrtnosti ljevaka i prevladavajućeg broja dešnjaka u populaciji. Prema ovoj teoriji je i među ženama najveći broj dešnjakinja zato što su držale dijete u lijevoj ruci, kako bi ga ritam njenog srca umirivao, a desnom rukom obavljale ostale poslove. Glavni među brojnim nedostacima ove teorije jest da je jednako uvjerljivo (pa i uvjerljivije!) objašnjenje da je sama dominantnost ruke prethodila ponašanju, a ne obratno. Nadalje, srce nije smješteno toliko daleko od centra da bi ovo predstavljalo dovoljno snažan selekcijski pritisak, a osim toga, od brončanog

doba do danas nije bilo dovoljno generacija kako bi se učinci ovog konkretnog selekcijskog pritiska dokazali. Naposljetku, analize pećinskih slika pokazuju da su ljudi bili pretežno desnoruki i mnogo prije brončanog doba.

Jedna od najprihvaćenijih teorija o tome zašto uopće postoji dominantnost ruke je teorija o podjeli rada među hemisferama. Prema ovoj teoriji, postojanje dominantne ruke odraz je učinkovite mozgovne organizacije: budući da i govor i spretnost ruke zahtijevaju fine motoričke vještine, učinkovitije je imati centar koji kontrolira te dvije vještine u istoj hemisferi, negoli podijeliti nadležnost. A kada bi se sve funkcije obavljale u obje hemisfere, tj. kada bi obje bile jednako specijalizirane za obavljanje svih zadataka, veličina mozga i energija koju on koristi porasli bi do neisplativih razina. Tako, ova teorija pojašnjava prevladavanje dešnjaka u populaciji upravo time da velika većina ljudi ima centar za govor smješten u lijevoj hemisferi. Međutim, to je upravo i najveći nedostatak ove teorije, budući da ona ne nudi nikakvo pojašnjenje zašto tolika većina ljudi ima centar za govor lateraliziran u lijevoj hemisferi. Jednako bi plauzibilno bilo imati slučajnu raspodjelu, u kojoj bi polovica populacije bila desnoruka i imala cen-

tar za govor u lijevoj hemisferi, a druga polovica ljevoruka i imala centar za govor u desnoj hemisferi. Nadalje, kao što smo već spomenuli, iako je istina da 95% dešnjaka ima centar za govor u lijevoj hemisferi, kod ljevaka je ova raspodjela mnogo varijabilnija – pa tako njih 70% ima centar za govor u lijevoj hemisferi, 15% u desnoj, a 15% u obje! Osim toga, lateralizacija funkcija je pronađena kod mnogih životinja, pa tako psi i majmuni preferiraju određenu šapu, konji se više oslanjaju na određenu nogu pa čak i hobotnice imaju preferirani krak, a jastozi kliješta! Koliko znamo, niti jedna od ovih životinjskih vrsta nema razvijen govor.

### **Proksimalni mehanizmi razvoja dominantnosti ruke**

O postojanju genetske predispozicije za dominantnost ruke znanstvenici su odavno raspravljali: uočeno je, primjerice, da djeca koju su usvojili ljevoruki roditelji ne pokazuju u većem postotku dominantnost lijeve ruke od djece koju su usvojili dešnjaci, što znači da učenje po modelu nema veliku ulogu u usvajanju dominantnosti ruke. Prema jednoj od poznatijih starijih genetskih teorija, postoji gen za dominantnost desne ruke, ali ne postoji gen za dominantnost lijeve ruke pa će u slučaju kada nedostaje gen za desno-

*Postojanje dominantne ruke odraz je učinkovite mozgovne organizacije: budući da i govor i spretnost ruke zahtijevaju fine motoričke vještine, učinkovitije je imati centar koji kontrolira te dvije vještine u istoj hemisferi, negoli podijeliti nadležnost.*

rukost, dominantnost ruke biti slučajna. Međutim tek je u dogledno vrijeme po prvi put identificiran konkretni gen (LRRTM1), koji povećava vjerojatnost razvoja ljevorukosti. Ipak, nasljeđivanje dominantnosti ruke složeno je i zasigurno ne ovisi o samo jednom genu – čak i kada su oba roditelja ljevoruka, njihovo dijete ima samo oko 25% šanse da bude ljevoruko.

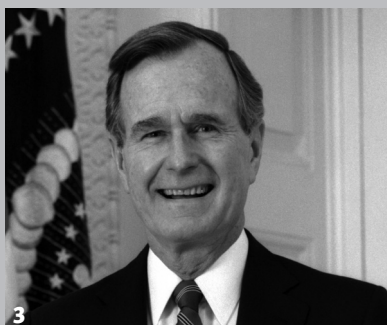
Postoji i velika količina dokaza da prenatalna razina testosterona utječe na organizaciju mozga, pa tako i na razvoj onih neuralnih struktura koje kontroliraju dominantnost ruke (poznato kao Geschwind-Galaburda hipoteza). Čini se da povećane razine testosterona u prenatalnom razvoju dovode do povećane vjerojatnosti razvoja ljevorukosti. Ovo bi ujedno moglo objasniti zašto ima oko tri puta više ljevorukih muškaraca od ljevorukih žena, te zašto je incidencija ljevorukosti nešto veća kod muških blizanaca.

Mnogi se autori slažu da ljevorukost može biti i posljedica oštećenja mozga tijekom poroda. Statistike pokazuju da su ljevoruke osobe i ambideksteri češće imale težak ili kompliciran porod. Osim toga, u populacijama osoba s poteškoćama u razvoju uočen je veći postotak ljevaka nego u općoj populaciji (20–30%), što implicira da su kod njih i poteškoće u razvoju i ljevorukost posljedica istog uzroka – oštećenja lijeve hemisfere mozga. U ranom je razdoblju mozak vrlo plastičan pa nakon oštećenja određene regije jedne hemisfere, druga može preuzeti tu funkciju. Neki su kritičari neopravdano ovoj teoriji zamjerali svojevrsnu političku nekorektnost te kao kontraargument navode činjenicu da ne pokazuju svi ljevaci deficite u kognitivnom funkcioniranju – dapače, neke analize pokazuju da ljevaci imaju natprosječnu inteligenciju, a neki autori ljevorukost dovode u vezu s izraženom kreativnošću. Međutim, ova hipoteza ne implicira da su svi ljevaci postali ljevaci uslijed ozljede mozga; ona objašnjava samo jedan od mogućih uzroka ljevorukosti – uz već opisanu, tzv. prirodnu ili genetsku ljevorukost, te naučenu ljevorukost.

Naposljetku, postoji i tzv. naučena ljevorukost. Budući da mala djeca još

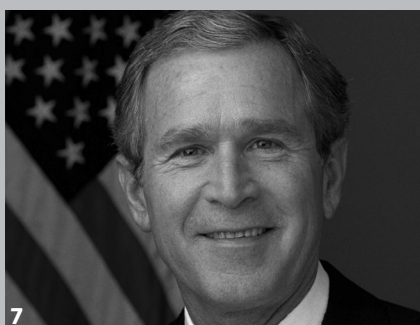
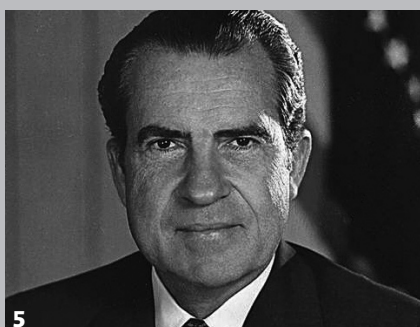
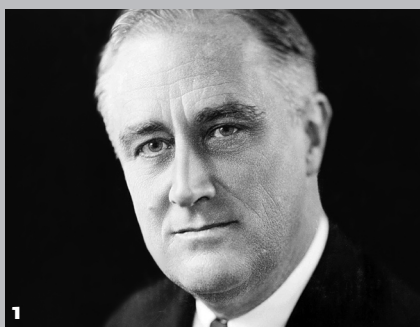
## Ljevoruki američki predsjednici

1. Herbert Hoover (1929.–1933.)
2. Gerald Ford (1974.–1977.)
3. George H. W. Bush (1989.–1993.)
4. Bill Clinton (1993.–2001.)
5. Barack Obama (2009.–)



# Desnoruki američki predsjednici

1. Franklin D. Roosevelt (1933.–1945.)
2. Dwight D. Eisenhower (1953.–1961.)
3. John F. Kennedy (1961.–1963.)
4. Lyndon B. Johnson (1963.–1969.)
5. Richard Nixon (1969.–1974.)
6. Jimmy Carter (1977.–1981.)
7. George W. Bush (2001.–2009.)



nemaju potpuno lateraliziranu dominantnost ruke, moguće je da čistom slučajnošću počnu uspješno dohvaćati, npr. igračku lijevom rukom pa nakon što su nekoliko puta to uspješno izveli, jednostavno nastave koristiti više lijevu ruku za baratanje igračkama. Kada im se naposljetku da olovka u ruke, budući da su već vičniji korištenju lijeve ruke, početak će njome i pisati. Ovu vrstu naučene ljevorukosti karakterizira relativno loš rukopis – za razliku od osoba koje su genetski predisponirane za ljevorukost, čiji se rukopis po kvaliteti ne razlikuje od rukopisa dešnjaka – te bilateralna hemisferna aktivacija tijekom procesiranja verbalnog materijala.

Sve ove teorije zajedno daju nam neki uvid u to kako se dominantnost ruke razvija kod pojedinca i zašto je u evolucijskim terminima adaptivno postojanje lateralizacije funkcija, ali niti jedna od ovih teorija ne daje nam odgovor na pitanje zašto je velika većina populacije baš desnoruka? Novije hipoteze pokušavaju odgovor na ovo pitanje naći na kemijskoj razini, pa dovode ovu pojavu u vezu s ljevorukošću i desnorukošću (kiralnosti), molekula aminokiselina, građevnih elemenata svog živog tkiva. Ipak, konačan odgovor na ovo pitanje za sada još uvijek ostaje tajna.

## Tko želi znati više

- N.Geschwind, A.M Galaburda; Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations, and pathology, I. A hypothesis and a program for research, Archives of Neurology, 42, 428-459., 1985,
- C.McManus; Right Hand, Left Hand: The Origins of Asymmetry in Brains, Bodies, Atoms and Cultures, Weidenfeld & Nicolson, London, 2002,
- S.P. Springer, G.Deutsch: Left Brain Right Brain, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 2001.



# Bušenje

Prof. dr. sc. Zdenko Krištafor, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Bušenje je proces izrade bušotina za različite tehničke namjene. Ovisno o dubini i promjeru bušotine, bušenje je našlo svoju primjenu u različitim gospodarskim granama, a ponajprije u geoznanostima. Od davnine se problem opskrbe pitkom vodom rješavao izradom bunara i zdenaca. U rudarstvu se bušenje rabi za izradu plitkih i dubokih minskih bušotina, dok se za učvršćenje geotehničkih i građevinskih objekata često koriste injekcione bušotine. U načelu ne postoji bitna razlika između plitkih bušotina i bušotina veće dubine, ali zbog komplikacij, većih i skupljih postrojenja i opreme za izradu i opremanje bušotine, dubinsko se bušenje obično izdvaja iz opće tehnologije bušenja kao posebna disciplina. Kada se govori o bušenju na veliku dubinu, prvenstveno se misli na tehniku izrade dubokih bušotina u cilju pronalazjenja nafte, plina ili termalne vode. Kao najvažniji energenti današnjice, nafta i plin čine gotovo dvotrećinski udjel u podmirenju energetskih potreba Republike Hrvatske.

Metode bušenja dijele se prema načinu razrušavanja stijena. Na današnjoj razini tehničkog razvoja upotrebljava se, praktički, jedino mehanički način razrušavanja stijena, dok su ostale metode (termičke, akustičke, erozijske, kombinirane), još uvijek u eksperimentalnoj fazi ili je njihova primjena skuplja od mehaničkog načina razrušavanja. Glavna mehanička metoda za izradu dubokih bušotina danas u primjeni je rotacijsko bušenje.

Zajedničko svim metodama rotacijskog bušenja je da se dlijeto, alatka koja neposredno razrušava stijenu, pod opterećenjem okreće na dnu bušotine. Zavisno od konstrukcije dlijeta i vrste

*Bušenje započinje dlijetom velikog promjera do određene dubine, nakon čega se ugrađuju zaštitne cijevi odgovarajućeg promjera i cementiraju... To su samo neke od informacija koje je potrebno imati u vidu prije početka jednog tako složenog procesa kao što je bušenje.*

stijene prema kojoj je ono odabrano, to se razrušavanje vrši rezanjem, odlamanjem, drobljenjem, istiranjem ili kombinacijom navedenih djelovanja. Prijenos opterećenja na dlijeto i okretnog momenta potrebnog za razrušavanje stijene ostvaruje se na dva načina. Bušaći alat, koji se u svojoj osnovnoj namjeni sastoji od dlijeta na dnu, teških šipki, teških bušaćih šipki (engl. *heavy weight*), bušaćih šipki te radne šipke na koju se nastavlja isplačna glava, dovodi se u vrtnju posredstvom vrtaćeg stola (rotacijski stol) ili rotacijske glave (tzv. vršni pogon – engl. *top drive*), te pripadajućih pogonskih i prijenosnih uređaja. Pritom se cijeli niz bušaćeg alata okreće.

Drugi način stavljanja dlijeta u vrtnju je korištenjem uronjenog motora koji se u sastav bušaćeg alata, u načelu, smješta između dlijeta i teških šipki. Uronjeni motor (turbinska bušilica ili vijčani motor), koristi hidrauličku energiju protoka ispirnog fluida ili električnu energiju dovedenu s površine (elektrobušilica) za okretanje osovine koja je povezana s dlijetom. Pritom dlijeto rotira, a kućište uronjenog motora kao i cijeli niz bušaćeg alata miruju. Takav je način rotacije dlijeta našao svoju veliku primjenu prilikom izrade jako zakošenih (koso-usmjerenih, zakrivljenih) ili vodoravnih bušotina

pri čemu bi rotacija niza bušaćeg alata, zbog oslanjanja na stijenke kanala bušotine, bila onemogućena, otežana ili, iz tehnoloških razloga, štetna.

## Postrojenja za bušenje

Suvremena praksa izrade dubokih bušotina na kopnu podrazumijeva primjenu mobilnih bušaćih postrojenja. Obzirom na veliku istraženost plićih područja, s povećanjem dubine bušenja postavljaju se sve veći zahtjevi, posebice na dimenzioniranje pojedinih sklopova, na alatke i na pogonske uređaje. Postrojenja za bušenje su obično diesel, električna ili diesel-električna postrojenja koja već i po instaliranoj snazi predstavljaju vrlo složena i skupa postrojenja. Zastupljenost ležišta nafte i plina ispod vodenih površina uvjetovala su razvoj i postavljanje postrojenja za bušenje na pilotima, plovnicama i platformama (teglenicama, baržama) i platformama. Izbor tipa bušaćeg platforme ovisit će o udaljenosti od kopna, dubini zalijeganja kolektorske stijene nosioca ugljikovodika, a najviše o dubini dna rijeka, jezera, mora ili oceana. Na taj se način razlikuju bušaćeg platforme koje se prilikom rada upiru o dno (poduprte platforme, uronjene splavi ili platforme), i platforme koje se na zadanoj lokaciji zadržavaju sidrenjem ili dinamičkim po-

◀ Slika prikazuje proizvodno-bušaću platformu



▲ Brod koji prevozi poluuronjivu platformu

zicioniranjem (poluuronjive platforme, brodovi za bušenje).

Tehnološki proces bušenja sastoji se, bez obzira na metodu ili način bušenja, od triju glavnih i velikog broja sporednih operacija. Glavne su operacije: razrušavanje stijena, odstranjivanje (čišćenje dna i iznošenje), krhotina probušenih stijena te zaštićivanje stijeni kanala bušotine ugradnjom kolone zaštitnih cijevi i njihovim cementiranjem. Cilj izrade svake bušotine je izraditi ju što brže, kvalitetnije i jeftinije. Velike brzine bušenja mogu se postići samo ako dlijeto stalno radi na čistom dnu. Krhotine probušenih stijena moraju se gotovo trenutno i neprekidno odstranjivati s dna bušotine. Svi suvremeni postupci bušenja obuhvaćaju odstranjivanje čestica razrušenih stijena s dna bušotine ispiranjem ili ispuhivanjem. Zajednički naziv svim vrstama ispirnih fluida je isplaka. Dakle, za ispiranje se mogu koristiti obična ili morska voda, čiste ili obrađene aditivima, glinovita suspenzija, isplake na bazi ulja, emulzije, polimerne isplake, zrak ili drugi inertni plinovi i pjene.

Obzirom na raznolikost litološkog sastava i svojstava stijena koje kanal bušotine presijeca, zbog poremećenosti uvjeta naprežanja u stijenskoj masi u okolici kanala bušotine kao i zbog povezivanja ra-

zličitih hidrodinamičkih cjelina kroz koje bušotina prolazi, nemoguće je izraditi duboku bušotinu jednolikog promjera od ušća do dna. Posljedice takvog pristupa su bubrenje ili zarušavanje stijeni bušotine, zaglava bušačeg alata, erupcije, gubljenja isplake, hidrauličko raspucavanje (frakturiranje) naslaga i u krajnjem slučaju gubitak bušotine kao rudarskog objekta.

Sastavni dio suvremenog tehnološkog procesa bušenja je i niz sporednih operacija čiji je cilj, pored osiguravanja kvalitetne izrade bušotine, ustanoviti obilježja naftonosnosti ili plinonosnosti uz prosudbu ekonomske vrijednosti mineralnog blaga; mjerenje prostornog položaja (kuta odklona i azimuta), kanala bušotine; mjerenje svojstava probušenih stijena i fluida u njima vađenjem jezgara, elektrokarotažnim mjerenjima ili isku-

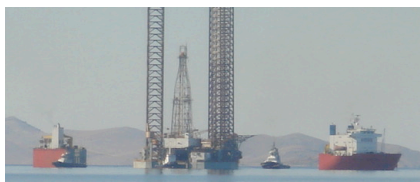
šavanjem; instrumentiranje, tj. postupci spašavanja alata, opreme i same bušotine; konačno, postupci kontrole tlaka u bušotini radi ugušenja iznenadnih erupcija fluida iz kolektorskih stijena.

### Projektiranje konstrukcije bušotine

Konstrukcija bušotine obuhvaća određivanje: promjera dlijeta i sastava bušačeg alata s kojima se izrađuje kanal bušotine od ušća do dna; broja, dužine, promjera i debljine stijenke zaštitnih cijevi te kvalitete čelika od kojeg su izrađene; dužine razmaka prekrivenih cementnom kašom, odnosno cementnim kamenom u i oko ugrađenih zaštitnih cijevi. Navedeni pokazatelji u funkciji su dubine bušotine, a prvenstveno ovise o hidrodinamičkim uvjetima duž kanala bušotine, tj. o odnosu gradjenata slojnog tlaka, hidrostatskog tlaka isplake u optoku i tlaka frakturiranja naslaga.

Bušenje započinje dlijetom velikog promjera do određene dubine, nakon čega se ugrađuju zaštitne cijevi odgovarajućeg promjera i cementiraju. Kako s dubinom napreduje proces bušenja, tako se smanjuju promjeri dlijeta i zaštitnih cijevi sve do minimalno potrebnih za nesmetanu proizvodnju ugljikovodika iz ležišta. Najkraći, iako ne uvijek i najjednostavniji, način dosezanja kolektorske stijene u podzemlju je izrada okomite bušotine. Međutim, bušenje u naslage ispod naseljenih mjesta, nepristupačnog terena ili vodenih površina s obale, izrada grma bušotina s jednog stajališta bušačeg postrojenja ili platforme, skretanje nakon bezuspješne instrumentacije odlomljenog alata ili alata u prihvatu te spašavanje požarom unesrećene bušotine, neki su od glavnih razloga primjene zakrivljenog bušenja. Projektom bušotine potrebno je odrediti najpovoljniju

*Razvoj tehnologije bušenja, a prije svega uronjenih motora i sklopova za praćenje trajektorije bušotine te izvođenje mjerenja tijekom bušenja (mwd, lwd), omogućili su izradu vodoravnih bušotina kao rutinski postupak koji je unatrag desetak godina bio praktično nezamisliv.*



▲ Tegljenje (prevoženje) samopodižuće platforme "Noble Carl Norberg" na brodu "Swan". Uočite da se vide pramčani i krmni dio broda "Swan", crvene oplata, dok je srednji potopljen

dubinu od koje će započeti usmjeravanje kanala bušotine željenim intenzitetom (stupanj promjene veličine kuta otklona po jedinici duljine) i u željenom smjeru. Ta je dubina poznata pod nazivom točka skretanja (engl. *kick-off point*). Razvoj tehnologije bušenja, a prije svega urođenih motora i sklopova za praćenje trajektorije bušotine te izvođenje mjerenja tijekom bušenja (MWD, LWD), omogućili su izradu vodoravnih bušotina kao rutinski postupak koji je unatrag desetak godina bio praktično nezamisliv. Mogućnost vođenja bušotine vodoravno unutar ležišta, znatno povećava površinu dreniranja iz koje u kanal bušotine pritječu nafta ili plin. Na taj se način višestruko povećava proizvodnja ugljikovodika u odnosu na uvjete kada bi isto ležište bilo raskriveno samo okomitom bušotinom.

Bušotinu s vodoravnim dijelovima kanala može se izraditi u nekoliko inačica. Razlikuju se: nove vodoravne bušotine izrađene od površine; bočne (lateralne) bušotine izrađene iz jednog kanala uspravnih ili zakrivljenih bušotina koji se, prema broju proslojaka, volumenu ili svojstvima ležišta, mogu granati u više bočnih kanala istog ili manjeg promjera. Moguće je i gospodarski opravdano izvesti zasijecanje jako nagnutog ili vodoravnog kanala iz postojeće, u naftnogeološkom smislu, negativne okomite bušotine (engl. *re-entry*). Danas su dostupni podaci o izradi bušotina jako velikog vodoravnog dosega (engl. *extended reach well*), čak i do 10 000 m, u stijenama odgovarajućih fizičko-mehaničkih svojstava.

Prema načinu prijelaza iz uspravnog u vodoravni položaj razlikuju se četiri tipa vodoravnih bušotina: velikih polumjera zakrivljenja (300-1000 m uz intenzitet povećanja kuta od  $1-3^\circ/10\text{m}$ ); srednjih

polumjera zakrivljenja (50-300 m uz intenzitet povećanja kuta od  $2-8^\circ/10\text{m}$ ); malih polumjera zakrivljenja (6-12 m uz intenzitet povećanja kuta od  $5-10^\circ/\text{m}$ ); izuzetno malih polumjera zakrivljenja (0,3-0,6 m uz intenzitet povećanja kuta od  $15-20^\circ/0,1\text{m}$ ). Obično su vodoravni kanali bušotina izrađeni u malim promjerima (engl. *slim hole*), manjim od 0,159 m.

Značajan doprinos povećanju iscrpka iz postojećih ležišta ugljikovodika, uz istodobno smanjenje oštećenja pribušotinske zone tijekom bušenja, predstavlja razvoj tehnologije bušenja u uvjetima ispod hidrostatičke ravnoteže (engl. *underbalanced drilling*, UBD). Budući da je slojni tlak tijekom bušenja veći od hidrostatičkog tlaka stupca isplake u bušotini, posebna se pažnja u praksi pridaje hermetizaciji ušća bušotine. Bušenje u uvjetima ispod hidrostatičke ravnoteže moguće je ostvariti klasičnim bušaćim postrojenjem ili primjenom mobilnog postrojenja sa savitljivim tubingom (engl. *coiled tubing drilling*, CTD).

### **Napuštanje (likvidacija) bušotine**

Kada ulaganja u sustav podizanja nafte ili plina do površine premašuju dobit od proizvedenih količina, pristupa se postupku napuštanja bušotine. Postupak napuštanja obično podrazumijeva po-

stavlanje cementnih pregrada (čepova) uzduž kanala bušotine kako bi se spriječila moguća komunikacija fluida između različitih hidrodinamičkih cijelina u nezacijevljenom dijelu kanala bušotine. Tijekom proizvodnje, zavodnjene naftne ili plinske bušotine mogu se iskoristiti za održavanje ležišne energije utiskivanjem proizvedene vode natrag u ležište. Uobičajena je svjetska praksa da se negativne, kao i prethodno spomenute, bušotine koriste za utiskivanje otpadnih tehnoloških fluida nastalih ponajviše tijekom izrade bušotina u nekom području. Osnovni preduvjeti prenamjene postojećih bušotina u utisne podrazumijevaju brižljivo odabrane naslage odgovarajućih fizikalnih svojstava za prihvaćanje i pohranjivanje otpadnih fluida te primjerenu opremljenost bušotine. Pritom krovinke i podinske naslage sloja u koji se namjerava utiskivati otpadni fluid svojim izolatorskim svojstvima moraju isključiti mogućnost komunikacije s ostalim slojevima, a posebno s podpovršinskim vodonosnicima. Strogi zakonski propisi i briga za očuvanjem okoliša nameću kao potrebu izradu projekata za utiskivanje otpadnih tehnoloških fluida u podzemlje, odakle su tijekom bušenja dobrim dijelom i potekli.



▲ Proizvodna platforma Ivana D (monopod konstrukcije) na plinskom polju Ivana



▲ Proizvodna platforma Ivana E (rešetkaste konstrukcije s više nogu) na plinskom polju Ivana



# Franjo Hanaman - Izumitelj električne žarulje s volframovom niti

Renato Filipin, dipl. ing, Tehnički muzej Zagreb

## **Životni put Franje Hanamana do izuma volframove žarulje**

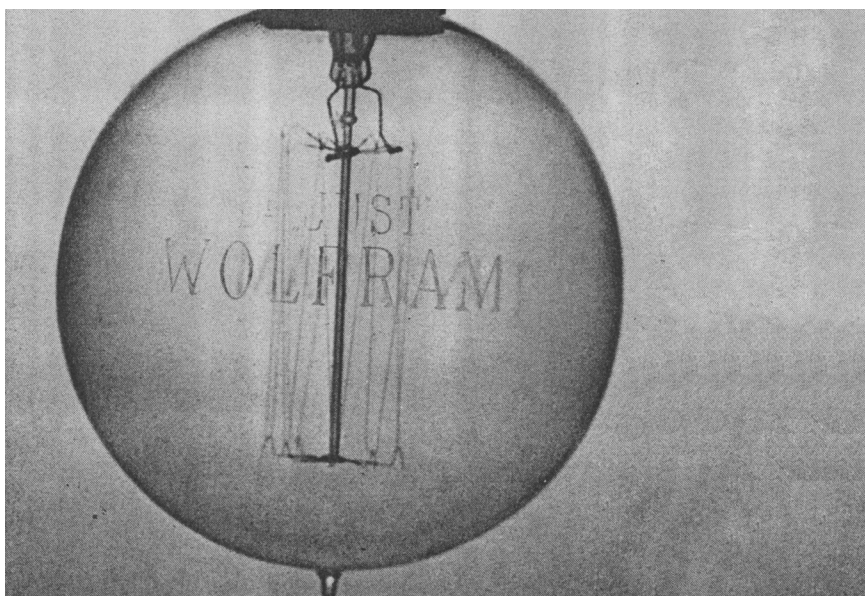
Franjo Hanaman rođen je 30. lipnja 1878. u Drenovcima, mjestu koje je u ono doba pripadalo kotaru Županja, od oca Gjure (1847.-1921.) i majke Emilije rođene Mandušić (1854.-1939.). Oba su roditelja potjecala iz trgovačkih obitelji. Od najbliže rodbine imao je još i brata Aleksandra (1875.-1950.). Ubrzo nakon austrougarske okupacije Bosne i Hercegovine obitelj Hanaman odselila se u Brčko. Tamo se otac Franje Hanamana bavio izvozom šljivica i trgovinom soli na veliko. Sina je u rujnu 1883. godine upisao u pučku školu koju je Franjo završio 1887. Godine 1890. upisao je realnu gimnaziju u Zemunu jer su ga privlačile prirodne i tehničke nauke. U gimnaziji bio je Franjo stalno odličan učenik. Profesor iz kemije bio mu je Ivan Marek (1863.-1936.) i upravo je on pobudio Hanamanovo zanimanje za tu znanost te na taj način odredio smjernice njegove budućnosti. Poslije se Hanaman često susretao sa svojim bivšim profesorom jer su bili kolege na Visokoj tehničkoj školi u Zagrebu, gdje je od 1920. Ivan Marek predavao organsku kemiju. Tada su razmjenjivali iskustva i sjećali se anegdota iz školskih dana Franje Hanamana. Profesor fizike i matematike bio mu je dr.

Stanko Plivelić (1868.-1925.) autor popularnih članaka s područja elektrotehnike, koji je do smrti ostao povezan sa svojim bivšim učenicom i pratio njegov razvoj i uspjehe. Dr. Stanko Plivelić zajedno s dr. Otonom Kučerom (1856.-1931.) napisao je djelo *Novovjekni izumi*, knjiga IV, koju je objavila Matica hrvatska u Zagrebu 1913. U knjizi je pisao o električnim akumulatorima i rasvjeti pa se tako dotaknuo i rada svoga bivšeg učenika iz realne gimnazije na području uporabe volframa za izradu niti u žaruljama. Franjo Hanaman maturirao je 1895. u Zemunu.

Nakon mature odlazi u Beč studirati kemiju na Tehničkoj visokoj školi (*Technische Hochschule*). Na početku studija imao je manjih poteškoća zbog nedovoljna poznavanja njemačkog jezika, ali je ustrajnim radom 1899. uspio diplomirati s odličnim uspjehom na Kemijskom

odjelu Tehničke visoke škole u Beču. Tijekom studija aktivno je sudjelovao u društvenom životu hrvatskih studenata u Beču. Bio je član Akademskog društva *Zvonimir*, a sa skupinom vršnjaka osnovao je i šaljivo društvo *Kum*, čiji su članovi i nakon završetka studija održavali prijateljske veze. Za vrijeme studija u Beču otputovao je s grupom zemljaka u Rusiju, gdje se prvi put susreo i upoznao s jednim od najvažnijih hrvatskih političara Stjepanom Radićem (1871.-1928.). Nakon završetka studija zaposlio se kao pogonski asistent šećerane u Usori, gdje je radio tek nekoliko mjeseci. Početkom 1900. Franjo Hanaman vraća se u Beč na Tehničku visoku školu i počinje raditi kao asistent svoga bivšeg profesora dr. Georga Vortmanna (1854.-1932.) na ka-

*Hanamanovi izumi načina dobivanja volframovih žarnih niti bili su pionirski koraci prema modernoj i ekonomičnoj električnoj rasvjeti.*



▲ Slika prikazuje prvu žarulju s volframovom niti

tedri analitičke kemije. Radio je u praktikumu iz kvalitativne analize, a uz to je vodio i elektro-analitički laboratorij. To ga je potaknulo da se temeljitije počne baviti elektrotehnikom, pa je odlazio na predavanja prof. dr. Karla Hocheneggera (1860.-1947.) koji je bio stručnjak na tom području. Tako je stekao nužno znanje koje mu je poslije dobro poslužilo pri rješavanju problema vezanih uz električnu žarulju. Prvi rad na području elektroanalize publicirao je 1902. godine pod naslovom *Ein Apparat für elektroanalytische Zwecke* (Aparat za elektroanalitičke namjene), u časopisu *Zeitschrift für Elektrochemie*. Kada se Franjo Hanaman zaposlio kao Vortmannov asistent, tamo je već dvije godine istu dužnost obavljao i dr. Alexander Just, mladi znanstvenik koji ga je uspio zainteresirati za rad na poboljšavanju električne žarulje. Dr. Just surađivao je s bečkom tvrtkom *Schneider*

& Sons na usavršavanju žarulje s ugljenom niti koja je bila preteča žarulja s metalnom niti. Dr. Just snažno je utjecao na odluku mladoga Hanamana da se tada potpuno posveti istraživanjima na području električne rasvjete, odnosno pronalaženju postupaka za dobivanje žarnih niti. Godine 1902. započinje zajednički rad Franje Hanamana i dr. Alexandra Justa u toj tvrtki. Ispočetka su radili pokuse s borovim nitridom, a zatim s različitim kovinama od kojih je volfram pokazao najbolja svojstva.

### **Od žarulje s ugljenom niti do volframove žarulje**

Izum električne žarulje u obliku kakav je danas opće poznat svugdje u svijetu pripisuje se Amerikancu Thomasu Alvi Edisonu (1847.-1931) Edison je 1. listopada 1879. dobio patent za električnu žarulju s ugljenom niti od karboniziranoga karto-

na koja je gorjela 170 sati. Ipak, neekonomičnost žarulja s ugljenom niti, proizšla iz nemogućnosti da dulje vremena izdrže visoke temperature, uzrokovala je da su se počeli tražiti drukčiji oblici električne rasvjete, odnosno drukčije vrste niti. Godine 1899. nastala je prva važna promjena u izradbi električnih žarulja, kada je njemački fizičar Walther Hermann Nernst (1864.-1941.) upotrijebio nit od magnezijeva oksida. Zatim su 1902. prema izumu bečkoga kemičara dr. Carla Auera von Welsbacha (1858.-1929.) izrađene prve uporabljive žarulje s osmijem, metalom veoma velike specifične gustoće. Slijedili su izumi žarulja s nitima od cirkonija i tantalata. U normalnim uvjetima tantalove žarulje prosječno su trajale oko tisuću sati, a trajnost im je dosta ovisila i o stabilnosti napona mreže. Dr. Alexander Just i Franjo Hanamana potaknuli su Auerovi pokusi s osmijem da i sami počnu proučavati metale s visokim talištem koji bi se primijenili za niti u žaruljama. Početkom 20. stoljeća bila su nepoznata tališta kovina kao što su molibden, volfram, titan, uran i torij. Od svih tih metala jedino je volfram bilo relativno lako proizvesti što je navelo dr. Justa i Hanamana da upravo tu kovinu upotrijebe za nit žarulje. U Beču, u travnju 1903. Just i Hanaman zaštitili su svoj prvi postupak za dobivanje volframovih žarnih niti (*postupak supstitucije*), patentom D.R.P. No.154262. Patent je nazvan *Verfahren zur Herstellung von Glühkörpern aus Wolfram oder Molybdän für elektrische Glühlampen*. Postupak se sastojao u tome da se prvo kemijskim putem dobije lako ispariv spoj volframova oksiklorida iz klora i smjese  $WO_3$  s ugljenom, a zatim da se u parama tog spoja grije ugljena nit u prisutnosti vodika. Ugljen pri tome reagira s kisikom iz oksiklorida uz nast-

*Dr. Just snažno je utjecao na odluku mladoga Hanamana da se tada potpuno posveti istraživanjima na području električne rasvjete, odnosno pronalaženju postupaka za dobivanje žarnih niti.*



nak ugljikova monoksida, a vodik s njegovim klorom uz nastanak klorovodika. Volfram koji nastaje tom redukcijom zauzima mjesto ugljika na niti, odnosno supstituira ga. Podašavanjem temperature niti i koncentracije plinova koji sudjeluju u reakciji može se postići da nit poprimi jednoličan presjek. Prolaskom struje mjestima na kojima je nit tanja ona će se više zagrijati od ostalih dijelova niti, što će uzrokovati jače izlučivanje volframa iz volframova oksiklorida na tim mjestima i izjednačavanje debljine niti. Žarulje s nitima dobivenim ovim postupkom trošile su samo oko 1,5W po jednoj Hefnerovoj svijeći, za razliku od žarulja s ugljenom niti, koje su trošile 3-4W. Glavni nedostatak žarulja s volframovim nitima dobivenih tim postupkom bila je krhkost niti.

Poslije su Just i Hanaman prijavili još nekoliko patenata koji opisuju načine izrade volframovih niti drugim postupcima, kao što je i tzv. postupak s pastom, gdje im je pomagao i Auer von Welsbach. Godine 1905. Hanaman i Just zapošljavaju se u Újpestu (danas dio Budimpešte), u tvrtki *Egyesült Izzólámpa és Villamosági Rt* (Sjedinjeno dioničarsko društvo za žarulje i elektrotehniku), koja se u to doba bavila proizvodnjom žarulja s ugljenom niti. Tvrtka je otkupila njihov patent i 1906. započinje proizvoditi žarulje s vol-

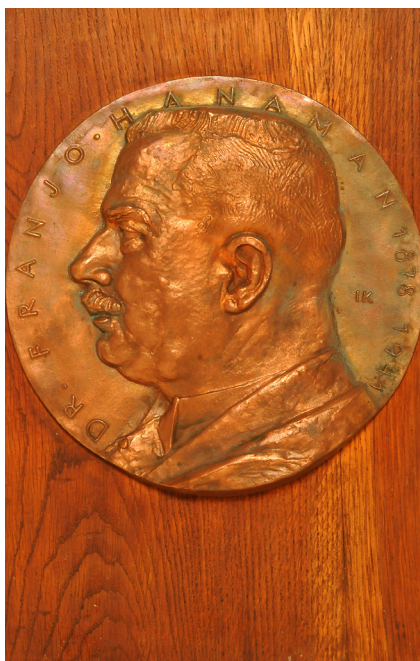
## Za F. Hanamana se može reći i da je bio jedan od začetnika kemijskog inženjerstva i tehnologije u Hrvatskoj.

framovom niti. Iste godine Hanaman postaje potpredsjednik novoosnovanog dioničkog društva pod nazivom *Nemzetközi Wolframlámpa Rt* (Međunarodno društvo za volframove svjetiljke), s ciljem unovčavanja patenta za proizvodnju volframovih žarnih niti i zbog pravnih razloga. Patent je bio registriran u trinaest zemalja širom svijeta. Primat u proizvodnji žarulja s volframovom niti preuzima američka tvrtka *General Electric Co.*, koja je 1910. uspjela proizvesti elastičnu volframovu nit zadovoljavajuće čvrstoće, tzv. *Coolidgeovim postupkom*. Uvidjevši da ne može držati korak u istraživanjima s Amerikancima, Hanaman odlazi u SAD i 1910. prodaje svoja patentna prava tvrtki *General Electric Co.* Hanaman je nakon prodaje patentnih prava bio materijalno osiguran, tako da je potkraj 1911. napustio Budimpeštu i otišao u Njemačku. Za

boravka u Charlottenburgu kod Berlina od 1912. do 1915. radio je na Tehničkoj visokoj školi na institutu za metalurgiju željeza, gdje je napravio i doktorsku disertaciju *Über Rostversuche mit nitrirtem Eisen* (O pokusima korozije s nitriranim željezom), kojom je u svibnju 1913. promoviran za doktora tehničkih nauka. Potom je napravio i habilitacijski rad za docenta pod naslovom *Über Cer-Legierungen. Die Cer-Kupfer-Legierung und ihre Konstitution* (O legiranju s cerom. Legure cera i bakra i njihova struktura), koji je 1915. objavljen u Leipzigu, ali je postupak njegove habilitacije obustavljen zbog mobilizacije u Prvom svjetskom ratu.

### **Dolazak u Zagreb i rad na Sveučilištu**

Titula docenta dodijeljena mu je 1919. u Zagrebu na Tehničkoj visokoj školi na temelju tog rada. Za docenta mehaničke



tehnologije izabran je 1920. i iste godine počinje predavati metalurgiju studentima strojne tehnike. Godine 1922. izabran je za redovitog profesora anorganske kemijske tehnologije i metalurgije, kada osniva i Zavod za anorgansku kemijsku tehnologiju i metalurgiju na tadašnjem Kemičko-inženjerskom odjelu. Iste godine Franjo Hanaman postao je dekan Kemičko-inženjerskog odjela Tehničke visoke škole. Tu je dužnost obavljao do 1924, kada postaje rektorom Tehničke visoke škole. Školske godine 1925./26. obnaša dužnost prorektora, a nakon 31. kolovoza 1926., kada Tehnička visoka škola postaje Tehnički fakultet, postaje prodekan. Od 1939. pa do kraja života bio je pročelnik Odjela za rudarstvo i metalurgiju Tehničkog fakulteta. Također je bio predsjednik Jugoslavenskoga kemijskog društva od 1933. do 1934. godine. Osim što je obnašao različite dužnosti u zemlji, Hanaman je bio i istaknuti član različitih udruženja u inozemstvu kao što su *Institute of Metal* iz Londona (od 1925), *Verband deutscher Eisenhüttenleute* iz Düsseldorfa i *Deutschen Gesellschaft für Metallkunde* iz Berlina. Od 1934. do 1939. bio je glavni urednik časopisa *Arhiv za hemiju i farmaciju* (1938. časopis mijenja naziv u *Arhiv za hemiju i tehnologiju*, a od 1939. zove se *Arhiv za kemiju i tehnologiju*), gdje se najviše objavljuju članci s područja prirodnih i tehničkih znanosti. Franjo Hanaman rado se bavio eksperimentalnim i praktičnim radom. Nažalost zbog ostalih dužnosti nije imao dovoljno vremena za objavljivanje rezultata svoga znanstvenog rada. Tako se njegov znanstveni opus sveo na tek nekoliko objavljenih radova u časopisima *Zeitschrift für Elektrochemie*, (Beč 1902), *Tehnički list* (1925), *Arhiv za hemiju i farmaciju* (1927, 1934), *Novo narodno bogatstvo* (1928), *Građevinski vjesnik* (1932), *Rudarski i topioničarski vesnik* (Beograd 1936). Umro je naglo 23. siječnja 1941. u Zagrebu, a pokopan je na Mirogoju.

Hanamanovi izumi načina dobivanja volframovih žarnih niti bili su pionirski koraci prema modernoj i ekonomičnoj električnoj rasvjeti, a može se reći i da je bio jedan od začetnika kemijskog inženjstva i tehnologije u Hrvatskoj.

### Literatura

1. I. Čosić-Bukvin; Ing. Franz Hanaman aus Drenovci in Slavonien, časopis Hrašće, 1996(1), str. 22.-23,
2. R. Filipin; Franjo Hanaman-izumitelj električne žarulje s volframovom niti, Zagreb, 2001,
3. M. Kaštelan-Macan; Franjo Hanaman, začetnik kemijskog inženjstva u Hrvatskoj, časopis Hrašće, Drenovci, 2000(5), br. 19, str. 51.-57,
4. M. Kaštelan-Macan; Počeci kemijsko-tehnološkog studija u Hrvatskoj, Zagreb 1989, 10, str. 23.-24,
5. O. Kučera; Stanko Plivelić, Novovjekni izumi, knjiga IV, Zagreb, 1913, str. 93.-111,
6. V. Muljević; Franjo Hanaman - život i djelo, časopis Hrašće, Drenovci, 2000(5), br. 19, str. 30.-37,
7. V. Muljević; O stotoj obljetnici električne žarulje, časopis Elektrotehnika, Zagreb, 1980(23), br.3, str. 172.-174,
8. V. Muljević; Volfram kao srce žarulje, časopis Hrašće, 1996(1), str. 17.-21,
9. I. Mužić; Masonstvo u Hrvatskoj , II izdanje, Split, 1983,
10. V. Njegovan; Franjo Hanaman. Prigodom 50-godišnjice života i 25-godišnjice volframove sijalice, Arhiv za hemiju i farmaciju, Zagreb, 1928(2), br. 3, str. 106.-109,
11. R. Podhorsky; Franjo Hanaman (1878-1941), časopis Hrvatsko sveučilište, Zagreb, 1971(1), br. 20, str. 7,
12. R. Podhorsky; Prof. dr. ing. Franjo Hanaman, nekrolog, Arhiv za kemiju i tehnologiju, Zagreb, 1940(14), br. 3/6, str. 81.-92.



*Ispričavamo se čitateljstvu zbog izostavljanja imena autorice fotografija u članku M. Kučinića i V. Mičetić objavljenog u prošlom broju časopisa Sustavi. Autorica je Ana Previšić, asistentica na odsjeku za biologiju Prirodoslovno matematičkog fakulteta u Zagrebu. Priloženu sliku izvora Cetine u zimsko doba također je fotografirala kolegica Previšić.*

