

## Roboti u medicini

(predavanje održano 28. 02. 2017. u Akademiji medicinskih znanosti Hrvatske)

Prof. dr. sc. Gojko Nikolić, dipl. ing. strojarstva  
Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska (e-pošta: gojko.nikolic@ttf.hr)

Tekst ovog članka je skraćeni prikaz održanog predavanja i obuhvaća samo neke dijelove izlaganja bez većih objašnjenja, jer obim članka to ne dozvoljava.

### Što je to robot?

Povijest robota seže u daleku prošlost. Stalna je želja ljudi da izrade strojeve i uređaje koji bi umjesto njih obavljali neku radnju ili posao. U početku izrade uređaja poput čovjeka njihova namjena je bila da zadive publiku kao neko čudo, ali bez neke upotrebljive svrhe. Jedan od prvih takvih uređaja, za koji postoje dokumenti i crtež, je arapskog znanstvenika i inženjera Al-Jazarija koji je izradio oko 1200. godine djevojku koja poslužuje piće (slika 1 - gore). To je samo jedan od njegovih automata slične namjene. Poznat je i robot vitez Leonarda da Vinci koji je izradio oko 1517. godine (slika 1- dolje). Tijekom povijesti izrađivani su mnogi androidi koji su obavljali različite poslove: od sviranja, kretanja, plesanja do crtanja. Naziv robot je novijeg datuma promoviran 1939. od pisca znanstvene fantastike Issaca Asimova, a naziv je preuzeo od Karela Čapeka i njegove drame R.U.R. (Rossum's Universal Robots – Rossumovi univerzalni roboti) iz 1920.

Postoje različite definicije robota - od one početne i opće da je to mehanički uređaj koji slični čovjeku i samostalno obavlja neke poslove umjesto njega, do raznih definicija za industrijske robote. Danas je prihvaćena ona koja navodi da je robot fizička inkarnacija računala. Zato je danas najprihvatljivija suvremena definicija profesora B. Jerbića s Fakulteta strojarstva i brodogradnje (FSB) u Zagrebu:

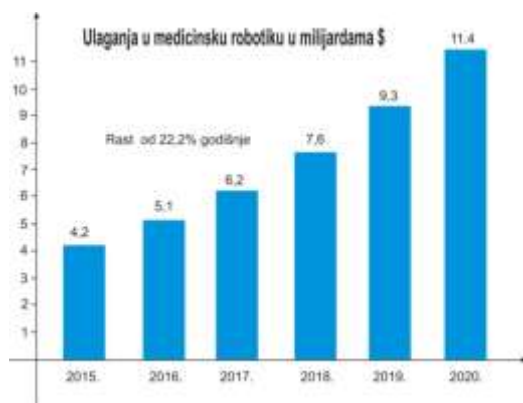
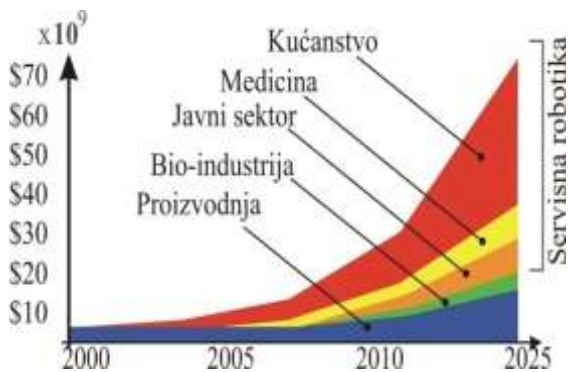
„Robot je informatički stroj koji ima fizičku stranu, odnosno robot je fizičko proširenje računalne tehnologije koji pretvara informaciju u rad neposredno utječući na nas i našu okolinu“.



Sl. 1. Prvi automatizirani čovjekoliki strojevi – roboti: (gore) crtež [Al-Jazarijeve djevojke](#) koja poslužuje piće, (dolje) [rekonstrukcija da Vincijevog viteza](#) u oklopu

## Primjena robota u medicini

Roboti su do sada doživjeli najveću primjenu u industriji za proizvodnju proizvoda velikih serija, ali danas se znatno više počinju primjenjivati i u drugim djelatnostima, što pokazuje ulaganja u njihov razvoj u različitim područjima (slika 2 - gore).

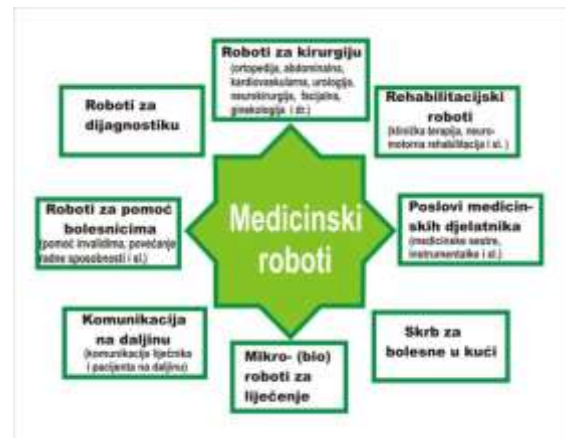


Sl. 2. Ulaganja za razvoj robota: (gore) u razna područja, (dolje) u medicinu (Izvor: MedicalRobotsMarket, iz 2015.)

Sve značajnija primjena robota je u medicini (slika 2 - dolje). Kako kaže profesor Richard M. Satava, University of Washington: „...budućnost tehnologije u medicini nije u krvi i crijevima, već u bitovima i bajtovima”.

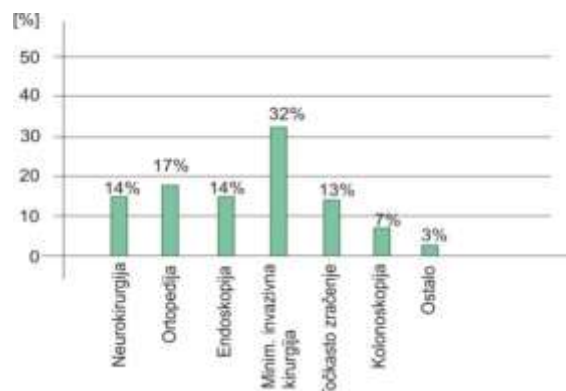
Široko je područje primjene robota u medicini (slika 3). Kao što je vidljivo, obuhvaćena su sva područja medicine. Neki smatraju da će zbog toga doći do gubitka radnih mjesta. Primjenu u medicini treba gledati u novim mogućnostima koje pružaju roboti a to je veća preciznost, brže obavljanje medicinskih zahvata, obavljanje pomoćnih poslova i sl. Robot je pomoć

medicinskom osoblju, a ne zamjena za njih.



Sl.3. Primjena robota u različitim područjima medicine

Nisu sva područja medicine jednako prikladna za robote, u nekima su oni našli veću primjenu dok kod drugih se tek počinju primjenjivati (slika 4). Razloga ima puno. Prije svega razlozi se odnose na vrstu medicinskog zahvata koji se obavlja i sadašnje mogućnosti tehnike da ih ostvare.



Sl. 4. Primjena robota u različitim područjima medicine (izvor: IFR-International Federation of Robotics)

Za komunikaciju na daljinu, pregled pacijenata od liječnika specijalista, koriste se *TelePresence* roboti poput robota „Rod“ (slika 5 - gore). Već postoji veliki broj različitih rješenja. Može se daljinski upravljati njihovim kretanjem, komunicirati s pacijentom, pregledavati medicinsku dokumentaciju, stetoskopom slušati pluća, srce i slične aktivnosti. Time

su specijalisti „prisutni“ i u udaljenim krajevima ili manjim mjestima.



Sl.5. Različite vrste robota kao pomoć medicinskom osoblju (gore) TelePresence robot Rob, (lijevo) dezinfekcija prostora u bolnici robotom GremZapping tvrtke XENEX

U bolnicama se posebno obraća pozornost dezinfekciji prostora, a naročito operacijskih dvorana. Robot *GremZapping* tvrtke XENEX koristi pulsirajuće ksenon ultraljubičasto svjetlo UVC, koje je 25000 puta intenzivnije od zračenja živinih svjetiljki za istu namjenu (slika 5 - lijevo). Uništava sve gljivice, viruse i bakterije poput bolničkih (HAI), uključivo *Clostridium difficile* (*C. diff*), *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Escherichia coli* (*E. coli*) i virus ebole. U prostoriji ne smije biti osoba, tako da imaju i senzor pokreta koji ga odmah isključuje. Dovoljno je desetak minuta za dezinfekciju s jedne strane, a nakon toga se premješta na drugu stranu prostorije da to obavi i na toj strani. Koristi se u većem broju američkih bolnica.

Robot *Penelopa* može zamijeniti medicinsku sestru instrumentarku na operacijama (slika 6). Reagira na komande glasom i dodaje kirurgu tražene

medicinske instrumente, a upotrijebljene odlaže.



Sl. 6. Robot Penelopa kao instrumentarka na operaciji

U povijesti medicine bilo je mnogo pokušaja izrade robota za obavljanje raznih kirurških zahvata. Navode se samo neki: *Arthrobot*, obavio je 12. 3. 1984. prvu ortopedsku operaciju u Vancouveru; 1985. robot *PUMA 560* koristio se u neurokirurgiji temeljem slike CT za stereotaktičku biopsiju; 1987. robot *NeuroMate* primjenjuje se u neurokirurgiji; 1988. *PROBOT* namijenjen je za operaciju prostate; 1992. *ROBODOC* primijenjen je u ortopediji; 1997. roboti *AESOP*, *ZEUS*, *MAKO* u kirurgiji; 1999. robot *NeuroArm* u neurokirurgiji; 2000. laparoskopski robot *da Vinci* u kirurgiji; 2001. *CyberKnife* u radiologiji, itd. sve do hrvatskog neurokirurškog robota *RONNA*, koji je u Kliničkoj bolnici Dubrava (KB Dubrava) obavio 10. 3. 2016. prvu stereotaktičku biopsiju tumora. Od svih nabrojanih robota bit će kratko opisani samo laparoskopski robot *da Vinci* i neurokirurški robot *RONNA*.

### Laparoskopski robot *da Vinci*

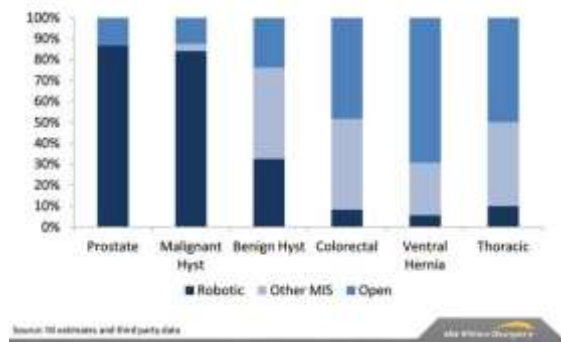
Laparoskopski robot *da Vinci* jedan je od najviše korištenih robota (slika 7 - gore). Do 2015. prodano je preko 3500 primjeraka, od toga 2000 u Americi. Početna namjena mu je bila operacija na daljinu, ali sada se koriste samo unutar iste operacijske dvorane. Danas je za neke vrste kirurških zahvata primjena robota *da Vinci* postala uobičajena, ona koja se preferira, (slika 7 - dolje). Iako je operacija

skuplja, zahvat je precizniji, a oporavak u bolnici brži.



### Open Surgery Remains Common – U.S.

Yr: 2015



Sl. 7. [Robot da Vinci](#): (gore) rad u operacijskoj dvorani, (dolje) [učestalost primjene robota da Vinci](#) kod različitih kirurških zahvata

Računa se da će u abdominalnoj kirurgiji primjena robota *da Vinci* s današnjih 15 % porasti za 5 godina na 35 %, a za 10 godina i na 41 %.

### Neurokirurški robot *RONNA*

Sigurno je za nas u Hrvatskoj značajan razvoj neurokirurškog robota *RONNA* (RObotska NeuroNAvigacija). Ideja je nastala 14. 1. 2010. Prvo je zamišljena izrada robota za operaciju trigeminusa, a kasnije je proširena na kirurške zahvate na mozgu: bušenje lubanje, biopsiju, postavljanje katetera, ugradnja elektroda za DBS i dr. Razvoj je trajao šest godina do prve operacije (biopsija) 10. 3. 2016. u KB Dubrava. Operacije s robotom *RONNA* se i dalje obavljaju.

Projekt je započeo prijavom 2011. godine Hrvatskom institutu za tehnologiju (HIT) kao program TEST. HIT je započeo s financiranjem projekta, a kasnije su sredstva dobivena od Hrvatske zaklade za znanost (HRZZ), Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR) i međunarodnog fonda UKF (*Unity through Knowledge Fund*). Ukupno je utrošeno nešto više od 7 milijuna kuna. Razvijene su tri generacije *RONNA* (slika 8 - lijevo).

*RONNA* tim se sastoji od inženjera s Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (Katedre za robotiku) i liječnika neurokirurga Neurokirurškog odjela KB Dubrava (slika 8 - gore).



Sl. 8.(gore) Razvojni tim robota *RONNA* na početku projekta, (lijevo) izgled robota *RONNA 3G* (treća generacija)

Cilj projekta je bio stereotaktičku navigaciju ostvariti robotom što je značilo ostvariti prostorno precizno pozicioniranje robota prema podacima iz CT/MR snimaka pacijenta. Jedan od zadataka robota je i mogućnost obavljanja jednostavnih kirurških zahvata. Za takvo rješenje bilo je nužno koristiti dva robota: jedan za usmjeravanje instrumenata (master), a drugi za rukovanje instrumentima (asistent). Budući da su oni povezani, upravljani s jednog mjesta i

međusobno komuniciraju, robot *RONNA* tretiramo kao robot s dvije ruke. Za rješavanje postavljenih ciljeva bilo je nužno kao prvo projektirati posebne *biljege* koji se postavljaju na glavu pacijenta pomoću kojih se osigurava veza između CT/MR slike i pacijenta. Rješenjem *registriranja* ostvaruje se kod CT/MR slika povezivanje koordinata markera i ciljnih točaka. Bilo je potrebno riješiti *lokalizaciju* koja označava prostorno pozicioniranje glave pacijenta pomoću stereovizijskih kamera. Nakon toga potrebno je *pozicioniranje* robota temeljem upisanih prostornih koordinata prema biljezima na glavi pacijenta odnosno povezivanje tih dvaju koordinatnih sustava. Odstupanja u pozicioniranju robota kompenziralo bi se preciznim navođenjem i automatskom korekcijom. Da bi cijeli sustav bio jeftiniji od sličnih koji postoje, korišteni su komercijalni roboti opće namjene. Svi ti ciljevi su u razvoju riješeni i sustav pouzdano radi s izrazito velikom točnošću od oko 0,3 mm. (Ovo su samo naznake ciljeva i potrebnih rješenja, a na predavanju je detaljno opisan proces i koraci razvoja i rješenja koja su realizirana od početne ideje do početka ove godine kada je održano predavanje).

Razvoj je trajao šest godina do prve stereotaktičke operacije početkom 2016. (slika 9), ali se nastavlja i dalje te je *RONNA* već doživjela tri tehnološke generacije. Sada se radi na sljedećem koraku – primjeni druge ruke (drugog robota - asistenta) koja je projektirana da obavlja određene kirurške zahvate umjesto neurokirurga.

Sve se više primjenjuju različiti oblici robotiziranih ekstremiteta upravljanih signalima direktno iz mozga. Fascinantan primjer je istodobnog upravljanja s dvije ruke osobe koja ih je izgubila u nesreći prije 40 godina (sl. 10).

Rješenja umjetnih udova ima jako mnogo. Prikazano je samo ovo jedno. Nisu

obrađeni ni složeni robotizirani uređaji za terapiju, koji se i kod nas primjenjuju.



Sl. 9. Prva primjena robota *RONNA* kod biopsije tumora obavljena u KB Dubrava 10. 3. 2016.



Sl. 10. Ispitanik *Les Baughs* [dvije robotske ruke](#) s kojima upravlja mislima, (razvijene su na *Johns Hopkins University*)

## Daljnji razvoj robotike u medicini

Ne treba ipak zaboraviti značajni trend razvoja humanoidnih robota koji pomažu starim, bolesnim i nemoćnim osobama (slika 11). Posebno se razvijaju u Japanu i Francuskoj. Osim posluživanja, namjena im je praćenje zdravstvenog stanja pacijenata i suvisli razgovori s njima. Traži se način da stariji ljudi što dulje ostaju kod kuće, da ne idu rano u staračke domove dok im još nije potrebna stalna medicinska skrb, a u tome im trebaju pomoći ti novi roboti s ugrađenom umjetnom inteligencijom.

Kako bi se osigurala preciznija dijagnostika, a ujedno omogućilo ciljano liječenje, razvijaju se i minijaturni roboti. Mnogi su već razvijeni za probavni trakt, ali razvijaju se i znatno manji za

kretanje u krvnim žilama. Predviđa se da će ovi posljednji biti razvijeni i primijenjeni za desetak godina. Njihova bi uloga bila raznovrsna, od uklanjanja masnih nakupina (plak), ugrušaka krvi i tumorskih stanica, do uništavanja bubrežnih kamenaca.



Sl. 11. Francuski robot Romeo pomaže nemoćnim osobama (Fotografija: FredFroese)

Danas postoje rješenja malih robota za dijagnostiku i intervencije u probavnom traktu, od kojih neki imaju minijaturne kamere, igle za biopsiju, minijaturni laser za kauterizaciju rana i slično (slika 12).



Sl. 12. Minijaturni robotski uređaji za dijagnostiku u probavnom traktu

Može se zaključiti da će u skoroj budućnosti roboti imati značajnu ulogu u liječenju, a time i na zdravlje ljudi. To, nažalost, znači i znatno veća financijska sredstva i njihovo izdvajanje iz proračuna za zdravstvo. Koliko već sada zaostajemo zbog nedostatka tih sredstava za zemljama sličnih nama pokazuju i podatci da Slovenija ima dva robota *da Vinci*, Slovačka čak četiri, a Hrvatska ni jedan.

## Literatura

1. Halverson N. The Robot Doctor Will See You Now. Dostupno na <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/robotics/robo-doctor-will-see-you-now>. Pristup: 25.01.2013.
2. Hruškovec I. On je prvi koji mislima upravlja s dvije proteze u isto vrijeme. Dostupno na <http://www.24sata.hr/lg/article/tech/on-je-prvi-koji-mislama-upravlja-s-dvije-proteze-u-isto-vrijeme-399019>. Objavljeno u 24 sata, 18. 12. 2014.
3. Jerbić B. Robotika u medicini, izazov 21. stoljeća. Presentacija u PP na Tribini: Presjecišta medicine i strojarstva, Zagreb, 2014.
4. Nikolić G. Medicina - perspektivno područje primjene robotike. Polytechnic&Design 2016; 4(3): 208-224.
5. XenexSecures \$11.3 Million in Funding; Superbug Zapping Robot Enhances Patient Safety by Eliminating Pathogens that Cause Hospital Infections. Dostupno na: <http://www.businesswire.com/news/home/20131121005872/en/Xenex-Secures-11.3-Million-Funding-Superbug-Zapping>. Pristup: 21. 11. 2013.

*Napomena:* za ovaj članak korišteni su podatci izneseni na predavanju.