

SUSTAVI

časopis za razumijevanje naše okoline / broj 7 / godina 4. / kolovoz 2019. / ISSN 1864 5080 / besplatni primjerak

**ROBOTSKI SUSTAVI S HIDRAULIČKIM I
PNEUMATSKIM POGONOM**

ERGONOMIJA, SUSTAVI I ČOVJEK

**VIŠEAGENTSKI MODELI: JATA PTICA,
TERMITI KOJI GRADE GOMILE
TRIJEŠĆA I OSTALA ČUDA**

O KOROZIJI



Financijski
podržava



Nacionalna
zaklada za
razvoj
civilnoga
društva

Hrvatsko interdisciplinarno društvo
Ivana Lučića 1, 10000 Zagreb
<http://www.idd.hr>, sustavi@idd.hr

SUSTAVI

časopis za razumijevanje naše okoline

Izdavač

Hrvatsko interdisciplinarno društvo
Ivana Lučića 1, 10000 Zagreb
<http://www.idd.hr>, sustavi@idd.hr

Urednica broja

prof. dr. sc. Biserka Runje

Glavni i odgovorni urednik

prof. dr. sc. Josip Stepanić

Lektorica

prof. Sonja Krvavica

Tehnička priprema

Igor Cerin

Grafička priprema i tisak

Redak d.o.o.

Časopis Sustavi financijski je poduprla Nacionalna zaklada za razvoj civilnog društva u okviru Inicijalne programske suradnje.

Mišljenjima Agencije za odgoj i obrazovanje te Agencije za strukovno obrazovanje, časopis Sustavi se preporuča kao neobvezno, dodatno obrazovno sredstvo.

SADRŽAJ

RIJEČ UREDNICE BROJA 3



Prof. dr. sc. Željko Šitum
ROBOTSKI SUSTAVI S HIDRAULIČKIM
I PNEUMATSKIM POGOM 4



Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić
ERGONOMIJA, SUSTAVI I ČOVJEK 12



Dr. sc. Armano Srblijinović
VIŠEAGENTSKI MODELI: JATA PTICA,
TERMITI KOJI GRADE GOMILE
TRIEŠĆA I OSTALA ČUDA 23



Prof. dr. sc. Ivan Juraga,
Prof. dr. sc. Vesna Alar,
Prof. dr. sc. Vinko Šimunović,
Prof. dr. sc. Ivan Stojanović
O KOROZIJI 31



Tiskanje ove publikacije omogućeno je financijskom podrškom Nacionalne zaklade za razvoj civilnoga društva. Sadržaj ove publikacije isključiva je odgovornost autora i nužno ne izražava stajalište Nacionalne zaklade.



Riječ urednice broja

Poštovani čitatelji,

u ovom broju bavimo se medijski manje eksponiranim, ali jednako raznovrsnim i relevantnim temama koje su obuhvaćene kraticom STEM (engl. *science, technology, engineering, mathematics*), područja koja, osim što su izrazito važna sama po sebi, često su i nužan preduvjet za razvoj drugih medijski eksponiranih grana STEM područja. Shodno tome, imat ćete mogućnost dobiti potpuniji uvid u bogatstvo, različitost, ali i komplementarnost različitih grana STEM područja. Naravno, STEM je preširoko područje da ga se može jasno obuhvatiti jednim tematskim brojem, pa smatrajte ovaj broj početkom.

Autor dr. sc. Armano Srblićević predstavlja višeagentski model emergencije složenih kolektivnih obrazaca iz jednostavnih individualnih pravila. Navedenu emergenciju složenih kolektivnih obrazaca autor ilustrira na primjerima kolektivnog ponašanja ptica, termita, mrava, krijesnica te distribucije raznih ljudski fenomena kao što su prometni čepovi te segregacija gradskih četvrti.

Rad autora prof. dr. sc. Ivana Jurage, prof. dr. sc. Vesne Alar, prof. dr. sc. Vinka Šimunovića, te prof. dr. sc. Ivana Stojanovića, odgovara na pitanja: kako nastaje korozija na nehrđajućim čelicima, koje sve vrste korozivnih oštećenja postoje te kako pravilnim odabirom materijala i oblika konstrukcije, parametara i tehnike zavarivanja umanjiti rizike i opasnosti od

korozijskih oštećenja i dobiti konstrukciju s visokom otpornošću na korozijska oštećenja. Uz navedeno, rad pruža i detaljan ilustrirani uvid u proces nastanka samih korozijskih oštećenja nehrđajućih čelika.

Članak *Ergonomija, sustav i čovjek* savršeno ilustrira cilj ovog broja časopisa, tj. najbolji je primjer manje poznatog STEM područja. Autor dr. sc. Aleksandar Sušić u svome radu ukratko se osvrće na razvoj ergonomije kao interdisciplinarnarne znanosti, od etimoloških korijena samog pojma do ergonomskog aspekta, koja obuhvaća mnogo više od uskog područja znanosti o radu te detaljno ilustrira relevantnost povezanosti ergonomije, čovjeka i sustava.

Iako je tema koju u svom radu obrađuje autor prof. dr. sc. Željko Šitum *mainstream* STEM, autor temu obrađuje na inovativan način. Autor govori o novim mogućnostima primjene robotskih sustava s hidrauličkim i pneumatskim pogonom za obavljanje veoma složenih zadataka koji općenito zahtijevaju brže i točnije gibanje, kao i sve veću interakciju robota s okolinom u kojoj djeluje.

Ako vas zanimaju ovakve i srodne teme te želite saznati više, slobodno kontaktirajte s nama na e-adresi sustavi@idd.hr te pratite naše aktivnosti na mrežnoj stranici <http://www.idd.hr>.

Srdačan pozdrav i ugodno čitanje!

prof. dr. sc. Biserka Runje

Robotski sustavi s hidrauličkim i pneumatskim pogonom

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

Najveći broj robota uglavnom se koristi u industriji za ponavljajuće i relativno jednostavne zadatke koji zahtijevaju organizirani radni prostor i ograničenu interakciju između robota i njegove okoline. U novije vrijeme područja primjene robotike ubrzano se proširuju, pa se suvremeni roboti sve više koriste za obavljanje veoma složenih zadataka koji općenito zahtijevaju brže i točnije gibanje, kao i sve veću interakciju robota s okolinom u kojoj djeluje. Tehnološka poboljšanja i inovativna rješenja u izvedbi suvremenih robotskih sustava, primjena umjetne inteligencije, bežični načini komunikacije i napredne upravljačke tehnike pružaju nove mogućnosti primjene robotskih sustava.

U najranijoj fazi razvoja industrijskih robota i manipulatora (60-e godine prošlog stoljeća) korišteni su hidraulički aktuatori za pogon članaka robota jer u to vrijeme upravljani električni pogoni nisu omogućavali radne karakteristike robota koje su bile potrebne u mnogim praktičnim primjenama. Međutim, danas su

električni motori daleko najzastupljenija vrsta pogona u industrijskim robotima zbog svoje



pouzdanosti i preciznosti, a u novije vrijeme dostižu hidrauličke pogone i u pogledu nosivosti robota te dominiraju u svim segmentima primjene robotskih sustava.

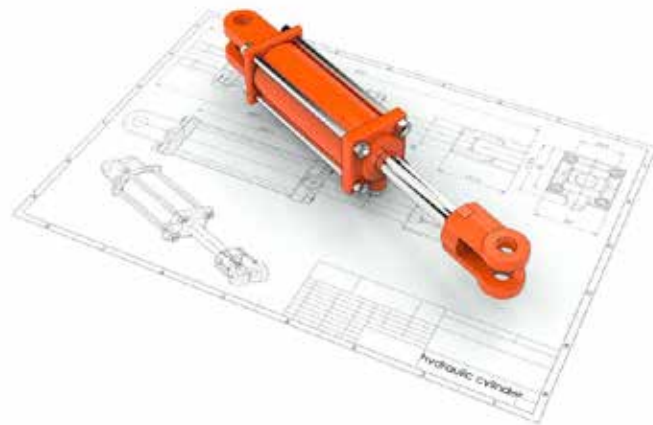
Općenito govoreći, pneumatski pogoni ne omogućuju dovoljnu točnost pozicioniranja zglobova robota, pa se pneumatika često koristi samo za pogon hvataljki robota. Robotski manipulatori s pneumatskim pogonom koriste se uglavnom za 'pick-and-place' operacije kod posluživanja strojeva, ugradnju komponenti na montažnim linijama, manipuliranje dijelovima na transportnim trakama, podizanje ili prenošenje radnih predmeta na unaprijed određeni položaj itd. [1]. Takve pogonske jedinice veoma su brze, točne i jeftine u usporedbi s drugim vrstama pogona. Jedan od pravaca istraživanja u području pneumatike odnosi se na razvoj i primjenu umjetnih pneumatskih mišića (engl. *pneumatic artificial muscle* –a PAM) koji predstavljaju primjer bioničkih sustava kod kojih se nastoji ostvariti konverzija konstrukcijskih principa i procesa prirodnih bioloških sustava s ciljem poboljšanja suvremenih tehnoloških rješenja [2]. Umjetni pneumatski mišići imaju prirodnu elastičnost što ih čini pogodnim za primjenu u biološki inspiriranim izvedbama robotskih sustava.

U članku će se predstaviti nekoliko vlastito izrađenih robotskih sustava s hidrauličkim i pneumatskim pogonom, koji se koriste kao testni modeli u području automatskog upravljanja složenih multivarijabilnih sustava.

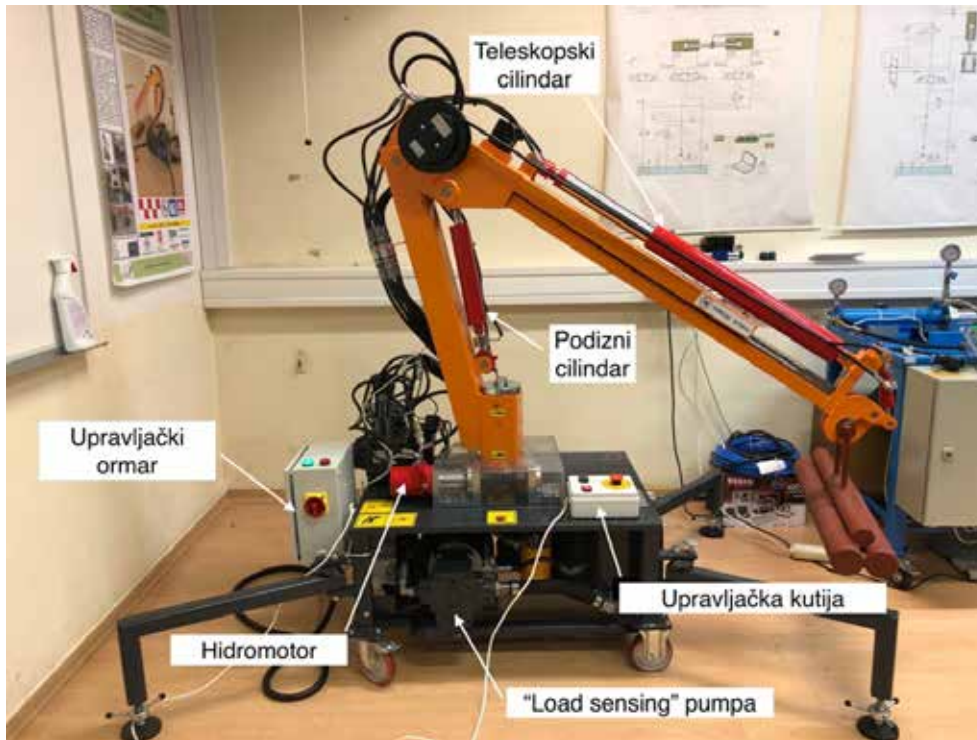
Elektrohidraulički robotski manipulator (EHROM)

U Laboratoriju za automatiku i robotiku na Katedri za strojarstvu i brodogradnje razvijen je prototip elektrohidrauličkoga robotskog manipulatora (EHROM) namijenjenog za velike nosivosti

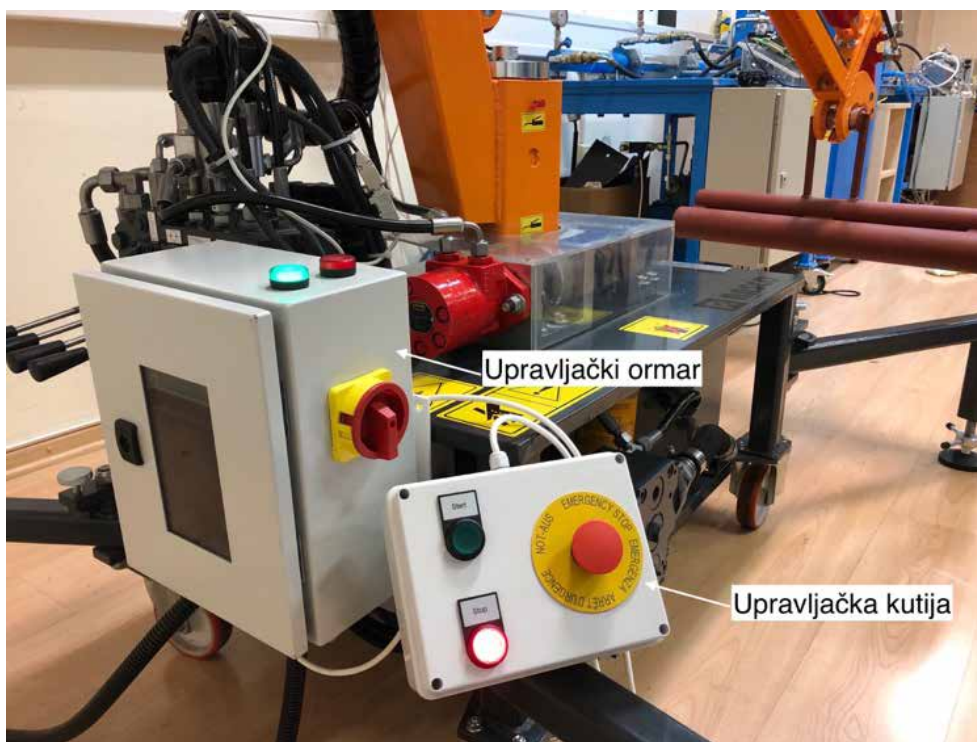
radnih predmeta (do 200 kg). Robotski manipulator ima tri stupnja slobode gibanja (sferna struktura ruke robota, RRT – rotacija postolja, rotacija ruke, translacija konzole ruke) s hidrauličkom hvataljkom na kraju mehaničke strukture. Radni prostor manipulatora kod maksimalno izvučenoga teleskopskog cilindra je promjera 3.6 m i dohvata visine 2.8 m.



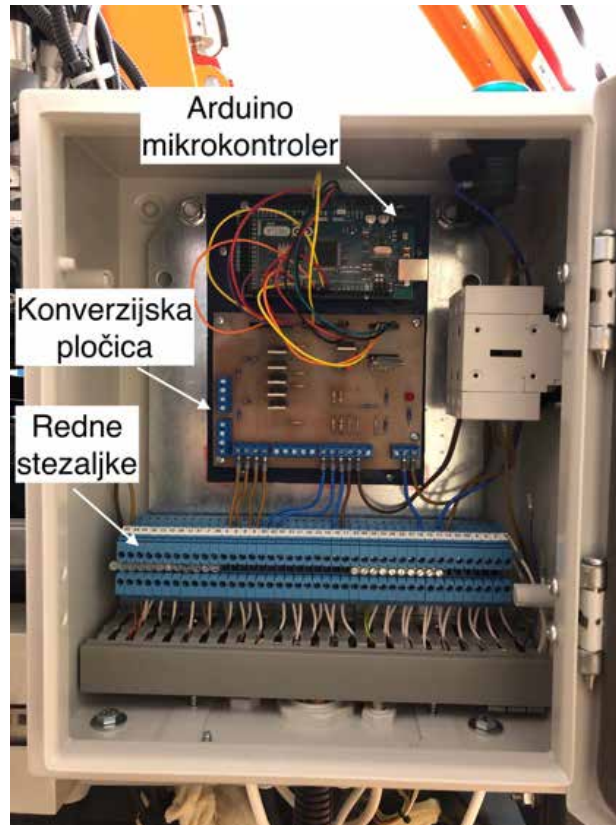
Manipulatorom je moguće upravljati putem poluga na proporcionalnom ventilskom bloku, s pomoću odvojene upravljačke ručice (joysticka) ili mobilnim uređajem sa zaslonom osjetljivim na dodir putem Bluetooth veze i vlastito izrađene aplikacije. Najnovije rješenje upravljanja robotskim manipulatorom predstavlja samostalno razvijena aplikacija za tablet-uređaj naziva EHROM PRO, koja omogućuje pozicioniranje manipulatora u željenim točkama, njihovo spremanje, modifikaciju postavki putanje robota te konačno i obavljanje automatskog upravljanja uz mogućnost praćenja varijabli stanja sustava [3]. Nadalje, razvijena je regulacijska metoda za postizanje željenih stanja sustava koja omogućuje ostvarivanje prilagođenog ubrzanja i usporenja aktuatora stupnjeva slobode gibanja s obzirom na maksimalnu nosivost elektrohidrauličkoga robotskog manipulatora. Za ovu zadaću manipulator je opremljen sensorima za mjerenje gibanja upravljanih koordinata i važnijih procesnih veličina.



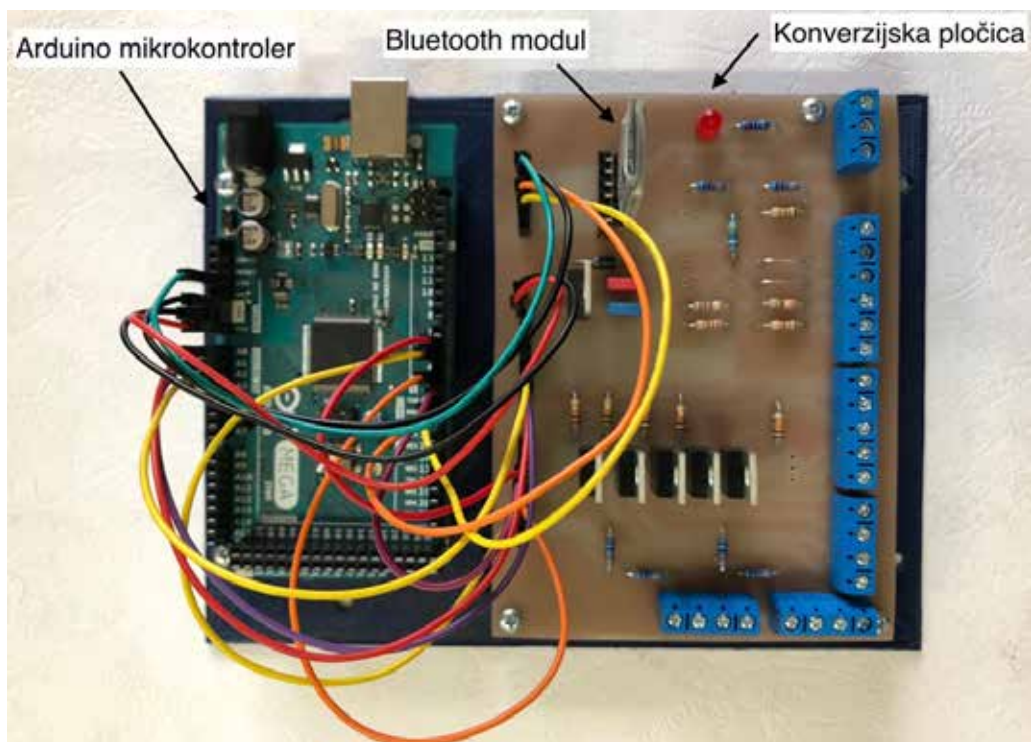
Slika br. 1: Elektrohidraulički robotski manipulator – EHROM (Manipulator je izrađen u suradnji s dvije hrvatske tvrtke: Hidraulika Kutina d.d. – tvornica hidrauličkih i pneumatskih uređaja i komponenti iz Kutine i Rasco d.o.o. – tvornica komunalne opreme iz Kalinovca)



Slika br. 2: Samostalno izrađeni upravljački sustav EHROM-a



Slika br. 3: Unutrašnjost upravljačkog ormara



Slika br. 4: Konverzijska pločica povezana s Arduino mikrokontrolerom



Slika br. 5: Prikaz zaslona automatskog upravljanja aplikacije EHRM PRO (Upravljački program je načinjen u Zavodu za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava u okviru diplomskog rada studenta Dalibora Žgele)

Robotski manipulator je potpuno otvoreni sustav namijenjen edukaciji studenata iz područja upravljanja hidrauličkih pogona, programiranja željene putanje robotskih sustava, objašnjenja načina rada 'load-sensing' sustava i dr. U razvoju prototipa sudjelovalo je i nekoliko studenata FSB-a u različitim fazama izrade sustava.

Elektropneumatski manipulator

Pneumatski aktuatori tradicionalno se koriste u industriji u sprezi s elektromagnetskim ventilima za promjenu smjera gibanja između krajnjih položaja, kojima se najčešće ostvaruju operacije premještanja radnih predmeta. Primjenom mehatroničkog pristupa gradnje složenijih struktura jednostavno se izrađuju robotski manipulatori s pneumatskim pogonom

koji se mogu koristiti u industriji za zadatke kod kojih se zahtijevaju brzi i jednostavni pokreti, kao što su npr. zadatci u procesu montaže, dodavanja materijala, rukovanja radnim predmetima, pakiranja, sortiranja i sl.

U Laboratoriju za automatiku i robotiku načinjen je prototip elektropneumatskog manipulatora s tri stupnja slobode gibanja (cilindrična kinematska struktura ruke robota, RTT – rotacija postolja, translacija ruke, translacija konzole ruke) s pneumatskom hvataljkom na kraju mehaničke strukture [4]. Manipulatoru je prigraden transportni sustav za dopremanje i otpremanje radnih predmeta, kao i induktivni senzor za detektiranje metalnih predmeta te može obavljati zadatak sortiranja metalnih i nemetalnih radnih predmeta. Gibanje manipulatora se upravlja s pomoću programabilnoga logičkog kontrolera (PLC-a), a transportnim



Slika br. 6: Elektropneumatski manipulator s transportnim sustavom (Manipulator je načinjen u Zavodu za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava u okviru diplomskog rada studenta Kristijana Pucaka)

sustavom s pomoću mikrokontrolera Arduino Uno i upravljačkog sklopa za istosmjerni i ko-račni motor.

Dodavanjem sustava za transport materijala, ugradnjom potrebnih senzora za detekciju procesnih veličina i ostvarenjem upravljanja aktuatora moguće je dobiti automatizirane jedinice za obavljanje zadataka fleksibilnog, brzog i preciznog gibanja automatiziranih pogona. Za učinkovit rad pneumatskih sustava potrebno je funkcionalno riješiti problem njihova pravilnog projektiranja i upravljanja.

Hodajući robot

Mobilna robotika, kao brzo razvijajuća inženjerska disciplina, jedno je od složenijih i

najzanimljivijih tehničkih područja istraživanja. Iako su u području suvremene tehnike postignuti veličanstveni dosezi, ljudi su na osobit način fascinirani strojevima koji oponašaju postojeće biološke sustave. Područje robotike, a osobito mobilne robotike, izrazito je multidisciplinarno istraživačko područje koje uključuje strojarski, elektronički i softverski inženjering. Hodajući roboti, u usporedbi sa standardnim mobilnim robotima s kotačima ili gusjenicama, pružaju mogućnost navigacije po vrlo zahtjevnom terenu [5]. Hodajući roboti mogu uspješno djelovati u složenim, nestrukturiranim vanjskim okruženjima. Inspirirani biomehanikom ljudi i životinja (psi, konji, insekti itd.) istraživači širom svijeta razvili su brojne hodajuće robote kao što su: jednonožni roboti, dvonožni

roboti, četveronožni roboti, te roboti sa šest, osam ili čak i još više nogu.

U Laboratoriju za automatiku i robotiku načinjen je prototip hodajućega četveronožnog robota pokretanog s pomoću osam pneumatskih mišića (dva stupnja slobode gibanja po svakoj nozi robota) [6].

Pneumatski mišići su upravljani s pomoću modularnoga ventilskog bloka s osam elektromagnetskih ventila. Svaka noga sastoji se od dva pokretna rotacijska segmenta i dodatne torzijske opruge koja pomaže bržem gibanju zglobova noge. Robot sadrži prilagođeni elektronički modul s mikrokontrolerom Arduino Mega koji se koristi za upravljanje kretanjem robota. Elektronička pločica sadrži Bluetooth modul koji omogućuje bežičnu komunikaciju između



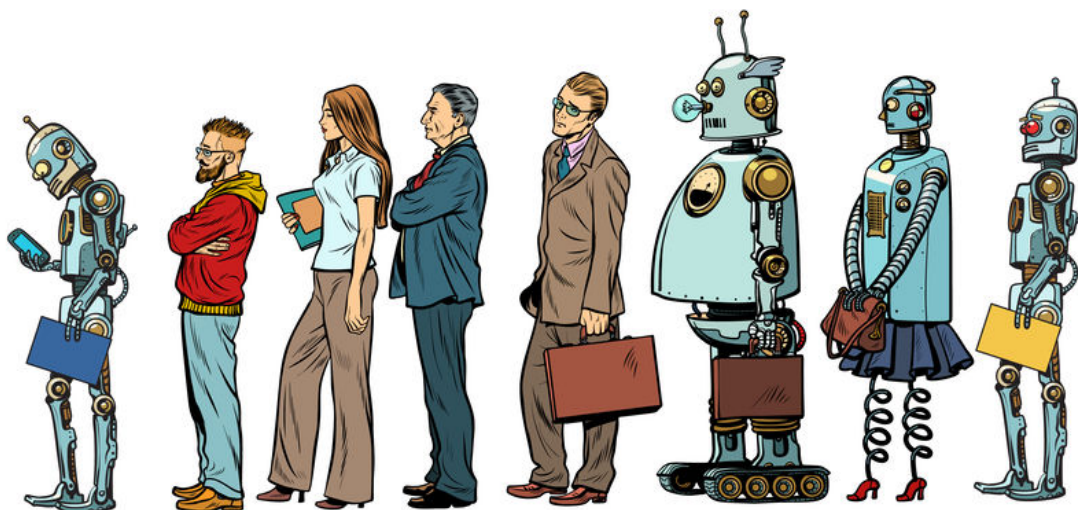
kontrolera i operatera korištenjem mobilnog uređaja sa zaslonom osjetljivim na dodir.



Slika br. 7: Hodajući četveronožni robot pokretan umjetnim pneumatskim mišićima (Robot je načinjen u Zavodu za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava, studenti: Dominik Srećić, Hrvoje Brezak, Vedran Tatalović i Viktor Mandić)

Za pogon hodajućega četveronožnog robota korišten je 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. Stupanj

kontrakcije pneumatskih mišića uobičajeno je do 25 % njegove početne duljine. U području mobilne robotike, primjena pneumatskih mišića rezultira elastičnošću prilikom gibanja robota jer manja krutost sustava zbog stišljivosti zraka omogućuje im 'meke' karakteristike hoda.



Za one koji žele znati više

1. Hesse, S.: *Modular Pick-and Place Devices*; In: Blue Digest on Automation (Festo AG & Co.), Handling Pneumatics, 2000, Esslingen, Germany
2. Frank Daerden, Dirk Lefeber: *Pneumatic Artificial Muscles: actuators for robotics and automation*, European Journal of Mechanical and Environmental Engineering, 47, pp. 10–21, 2002.
3. Dalibor Žgela: *Automatizirano upravljanje elektrohidrauličkim robotskim manipulatorom*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, diplomski rad (mentor Ž. Šitum), 2018.
4. Kristijan Pucak: *Pneumatski manipulator s transportnim sustavom*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, diplomski rad (mentor Ž. Šitum), 2017.
5. Željko Šitum; *Fluid power drives in robotic systems*, Invited Lecture, International Conference *Fluid Power 2017*, September 14–15, 2017, Maribor, Slovenija, pp. 11–23.
6. Željko Šitum, Petar Trslić, Denis Trivić, Valentino Štahan, Hrvoje Brezak, Dominik Sremić: *Pneumatic muscle actuators within robotic and mechatronic systems*, International Conference *Fluid Power 2015*, September 17–18 2015, Maribor, Slovenija, pp. 175–188.

Ergonomija, sustavi i čovjek



Prof. dr. sc. Aleksandar Sušić

*„Ergonomija? – Je li to o uredskim stolicama i obliku miša za računalo?...
čest je prvi „odgovor“ na pitanje „Znate li što je ergonomija?“*



Pa, dijelom je i navedeni „odgovor“ točan, odnosno takvi proizvodi nastali su primjenom ergonomije na oblikovanje proizvoda s ciljem da se poboljša i unaprijedi korisničko iskustvo. Međutim, ona je i toliko mnogo više od toga da se ovakav odgovor može smatrati i značajnim pokazateljem kako se, iako se svi njome

spontano koriste, o njoj vrlo malo zna. Svesti smisao ergonomije na svega nekoliko primjera iz našeg okruženja s kojima smo najčešće upoznati, navodi na zaključak da ergonomija zaslužuje primjerenu promociju svoje svrhe, uloge i važnosti za sve, uključujući i koristi koje proizlaze iz njezine primjene. Kada bismo svi



znali koliki potencijal krije njezina svrsishodna i pravilna primjena, tada bismo uistinu mogli reći da je sve na svome mjestu. To se odnosi na sve, počevši od onih koji uređuju ili upravljaju sustavima našeg društva, tvrtkama, bankama, školama, bolnicama, sportskim klubovima i tako redom, sve do svakoga pojedinačno. Ako nadalje krenemo od svakoga pojedinačno, od prvih samostalnih zadataka možemo reći da postajemo rukovoditelji (engl. *manager*) na osobnoj razini, tada se u isto vrijeme počinjemo baviti primjenom ergonomije. I ne samo to, počinjemo stvarati i vlastite sustave.

S obzirom na to da svatko od nas svakodnevno obavlja mnoge zadatke, ima niz obveza i općenito smo suočeni s nizom izazova, način na koji ćemo se s njima suočiti te koji će biti njihov ishod, uvelike ovisi o našim osobinama, o našim uvjerenjima, iskustvima, znanjima,

spodobnostima i vještinama i tako dalje, dok ne pobrojimo sve što nas čini jedinstvenima. S tim u vezi, pravo je pitanje koje bi si svatko mogao postaviti, a i trebao bi, glasi: „Mogu li nešto promijeniti kako bi sve što činim bilo bolje, lakše, brže i jednostavnije obavljeno?“ Također, što smo svjesniji da naše odluke, postupci, uloge i aktivnosti utječu na sve druge i širu zajednicu i društvo u cjelini, tim cjelovitije i bolje mogu biti promjene koje bismo mogli uočiti kao neophodne. Uz to, osim promjena koje bi se mogle pokazati neophodnima, nameće se i pitanje znamo li ih uvesti te što to točno treba učiniti i kako. Naravno, odgovor i ne mora biti jednostavan, ali ovo je isto pitanje koje se pitamo kada stvaramo i usavršavamo svoje sustave, od kojih očekujemo željene ishode, i usavršavamo ih tako dugo dok nismo zadovoljni. Već je sada lako zaključiti kako očigledno postoji razlog za izbor naslova ovog teksta, koji neodvojivo povezuje ergonomiju, čovjeka i sustave.

O ergonomiji

Ljudsko biće od svojih najranijih dana ima potrebu pronaći način i sredstvo kako povećati svoju djelotvornost, ukratko, čovjek nastoji svoj napor ostvarenja cilja svesti na najmanju moguću mjeru.





SLIKA 2a-d. Razvoj opreme za ribarstvo povećava djelotvornost ribiča pojedinca.



Slika 3. Vidra koja na prsima drži plosnati kamen

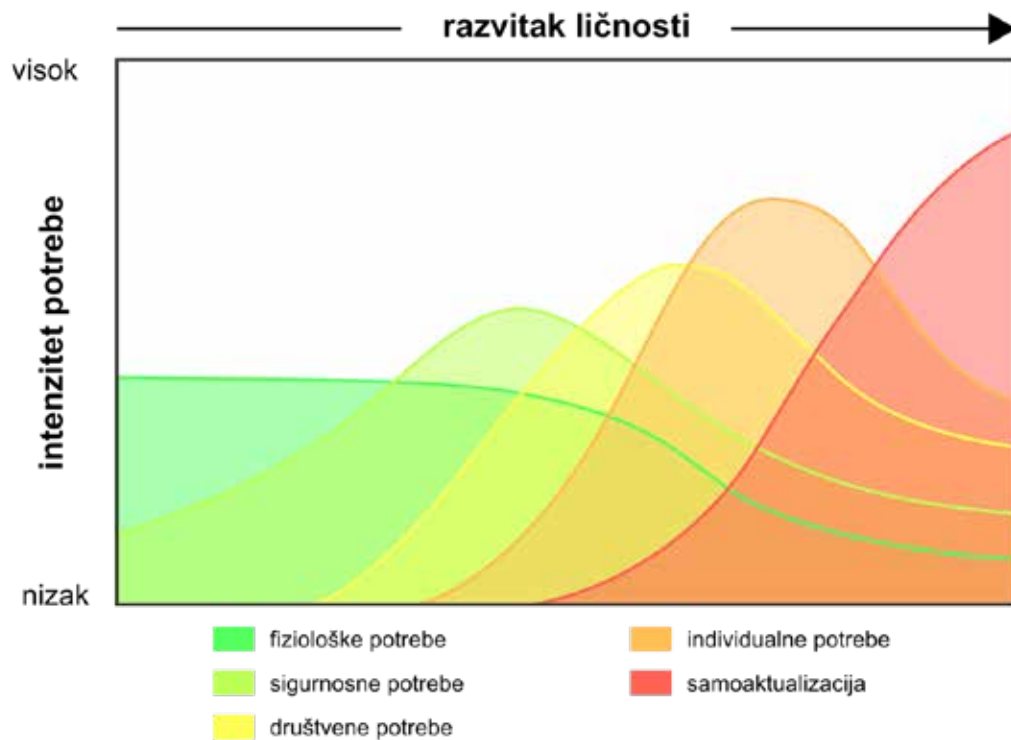
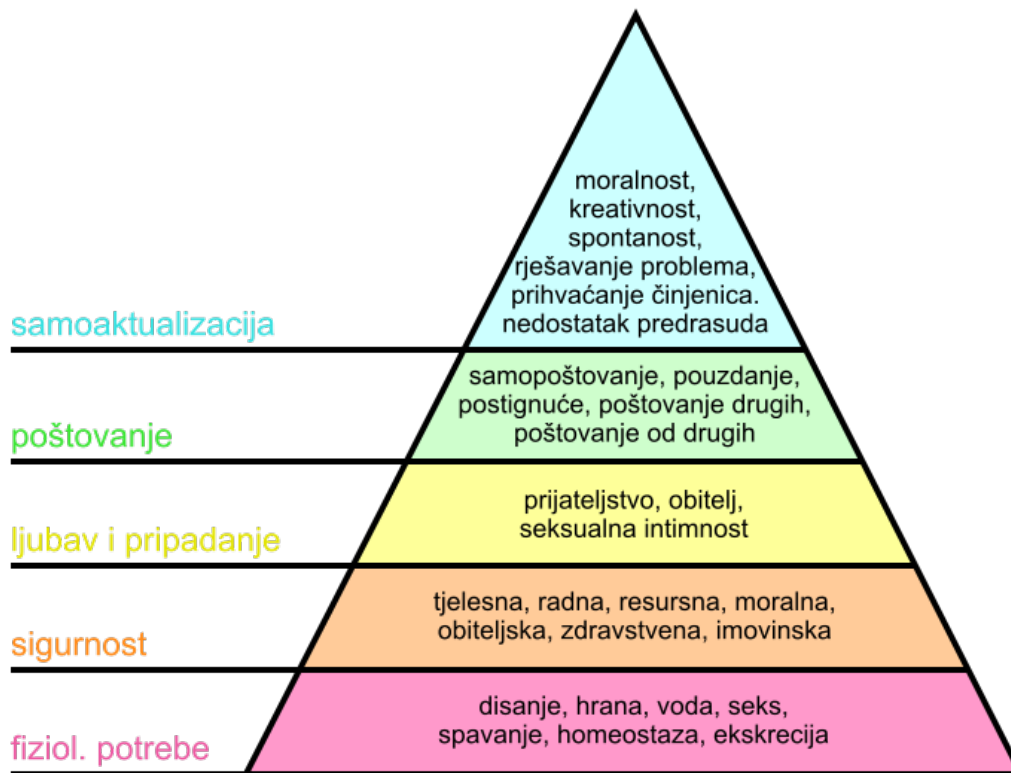
Napomenimo da u tom nastojanju čovjek nije jedini, ali je najviše i najdalje otišao s rješenjima svojih izazova. Životinje također nalaze načine da lakše postignu svoj cilj, međutim ne izrađuju tako raznovrsna i brojna rješenja. Za primjer možemo navesti vranu koja baca orahe da ih lakše otvori, vidru koja na prsima drži plosnati kamen o kojega udara školjku dok ona ne pukne, dabra koji izrađuje vodene brane, pauka koji plete mrežu i tako dalje. Poriv da si živa bića olakšaju postizanje cilja je očito prisutan, međutim, sposobnost i razmjeri u otkrivanju načina kako će u tome uspjeti, nisu isti. Ovdje je nužno napomenuti, kako osim ovih, za sva živa bića prisutnih poriva, ljudsko biće posjeduje i dodatne, opisane Maslowljevom hijerarhijom potreba, odnosno predložene kao „Teorija čovječe motivacije“ (1943).

Izvorno, ljudi oduvijek pod utjecajem navedenog poriva stvaraju i poboljšavaju sustave čovjek – aktivnost – cilj, pronalaze bolja rješenja svojih problema, ali i pomiču granice mogućega, razvijaju nove tehnologije, i općenito, teže raznim manifestacijama napretka i pobjedi

nad samim sobom. Tako je u trenutku otkrića kotača zadatak prenošenja tereta postao mnogo lakši zadatak, a da u tom trenutku izumitelj nije ni slutio što je izumio za čovječanstvo. Slično je i s vatrom, strujom itd ...

Možemo zaključiti kako je riječ o porivu prisutnom od davnina koji nas neprestano navodi da tražimo još bolje rješenje, još lakši ili jednostavniji pristup, i općenito, što god naumili, težimo svoj cilj dostići što lakše i brže, a prava i svrhovita rješenja nastajala su tek primjenom kritičkog, kreativnog i sustavnog promišljanja. Osim toga, ovaj se poriv može smatrati zaslužnim i za pojavu zanimanja jer očividno nismo svi podjednako vješti i uspješni u istim zadatcima. To je i mogući razlog da birate činiti upravo ono u čemu ste najbolji, iako možda i drugo činite vrlo uspješno.

U ovom je trenutku potrebno istaknuti smisao, odnosno navesti pojednostavnjenu definiciju ergonomije te se u najsažetijem obliku može reći da je ergonomija prvenstveno znanstvena, ali i stručna disciplina koja se bavi proučavanjem i iskazivanjem preporuka za oblikovanje



SLIKA 4a-b Statički i dinamički prikaz Maslowljeve hijerarhije potreba

sustava čovjek – aktivnost – cilj. To nije neovisna znanost, nego se koristi podacima svih disciplina koje se bave čovjekom (fizikom, medicinom, psihologijom, optikom, akustikom, kineziologijom, matematikom itd.). Ishod ovog proučavanja je skup teoretskih i iskustvenih spoznaja, preporuka i smjernica koje proizlaze iz proučavanja svega čime se čovjek bavi te njegovim međuodnosima sa svime čime se služi, što čini i što ga okružuje, s ciljem da čovjeku olakša izvršenje nauma ili ostvarenje cilja, odnosno dostigne optimum uloženo-dobiveno. To znači da će analizom tog sustava doći do zaključaka što i kako treba učiniti ili promijeniti kako bi sustav postao bolji nakon sinteze svih uvedenih promjena.

Ne bavi se ergonomija samo analiziranjem stanja, već uvjetuje i preporučuje kako je nešto potrebno oblikovati da bi se do cilja djelotvornije došlo. Iako će svatko za sebe nastojati pronaći rješenje spontano, zbog toga ne nužno uvijek i uspješno, preporuke koje daje ergonomija uvelike će nam ubrzati i olakšati postizanje ciljeva. Upravo je rečeno bitno, neće svatko nastojanje dati jednako dobar ishod, pa je izbor pristupa presudan u ostvarenju očekivanja, ciljeva i postignuća. To na praktičnoj osnovi znači da će nam ergonomija olakšati pronalazak rješenja koja su nam potrebna, uputiti kako i čime, ili na koji način trebamo postupiti, što promijeniti ili prilagoditi, ili čiju pomoć zatražiti.

Naziv ergonomija potječe iz doba kada su znanstvenici i stručnjaci počeli sustavno istraživati ljudske aktivnosti promatrane iz perspektive primjene prirodnih zakona na rad, dalje tumačenih kao znanost o radu, nekada nazivana, odnosno svedena na studij rada i vremena. Ergonomija i danas obuhvaća i ovu disciplinu, ali je kako smo već utvrdili, i mnogo više od toga. Racionalno i ekonomično oblikovanje i uređenje svih elemenata sustava čovjek – **stroj** (alat, pomagalo...) – **okruženje** (prostor, klima ...) nastupa uz pretpostavku svrsishodne

i promišljene primjene ergonomije. Drugim riječima, primjenom ergonomije moguće je postići optimalne ishode aktivnosti i rada, najbolje uređenje sustava, očuvati zdravlje i zaštititi se od ozljeda, stvoriti najbolji alat ili pomagalo i tako dalje. Potrebno je napomenuti kako čovjek rješava probleme stalno te da nije sve što čini isključivo vezano uz rad i radno okruženje. To opravdava navod da ergonomija obuhvaća ljudske aktivnosti šire od studija rada i vremena gdje sustav čine samo čovjek, stroj i okruženje, međutim potpuno je zanemareno da čovjek zadatke obavlja i izvan radne sredine, odnosno i u obitelji i nakon radnih sati te je i dalje izložen svim izazovima. Stoga, kao unaprjeđenje izvorne znanosti o radu, odnosno studiji rada i vremena, smatramo ergonomiju disciplinom koja iz šire perspektive brine o dobrobiti (engl. *wellbeing*) čovjeka, gdje se život čovjeka može promatrati iz makroperspektive. Znači da se ne promatraju samo učinci koje čovjek ostvaruje, već i utjecaj onoga što čovjek čini na samog čovjeka.

Već smo ustvrdili da se u osnovnoj ideji ove discipline krije znatno više nego što to i sama definicija daje naslutiti, pa možemo reći da je to disciplina proizašla iz ljudskog poriva da prevlada svoja fizička ograničenja, da si olakša postizanje ciljeva te da si osigura dodatne pogodnosti. U tome se krije i opasnost da pritom čovjek ugrozi i sve druge oblike života pa čak i planet na kojem obitava, za što je zaslužan manjak svijesti i razumijevanja smisla ergonomije, pored ostaloga. Toga manjka mnogi koji proučavaju i primjenjuju ergonomiju nisu u potpunosti svjesni, odnosno, potpuno je krivo zaključiti da ergonomija posjeduje samo kriterij optimiranja uložениh napora i postizanje napretka, ona također skrbi o svim utjecajima i posljedicama uvedenih odnosa. Možemo reći da je održivost njezin drugi važan kriterij.

I dodatno, u osnovi svih nastojanja i ergonomijskih preporuka leži cilj postizanja



blagostanja i dobrobiti. Možemo ustvrditi da ergonomija doprinosi usklađivanju stvari koje su u interakciji s ljudima u smislu ljudskih potreba, sposobnosti i ograničenja, ponajprije zbog njezina holističkog pristupa kao temeljnog načela.

Upravo zbog toga ergonomija kao načelo djelovanja neprestano evoluirala i na najraznovrsnije načine doprinosi podizanju kvalitete života, dobrobiti svih i uspješnosti u svakodnevnom životu na pojedinačnoj, društvenoj i globalnoj razini. Naravno, pod pretpostavkom da se pravilno primjenjuje. Nažalost, ponekada je prisutan samo kriterij profita, dok je kriterij dobrobiti djelomično ili, što je zabrinjavajuće, potpuno zanemaren, čime se zapravo narušava temeljni smisao primjene ergonomije... Pod dobrobiti se, naravno, podrazumijeva dobro stanje pojedinca, a onda i čitava društva i zajednice kao sustava. Pokazatelji dobrobiti bi se u suštini mogli pokazati svrsishodnim kriterijem ocjene stanja i trendova u društvu, ali i utvrditi smjernice nužnih promjena. Na individualnoj razini

također mogu poslužiti da bi se utvrdio utjecaj društva i njegova uređenja na čovjeka te poduzeti mjere radi napretka društva kao sustava kojega je čovjek sastavni dio. U narodnoj se poslovici kaže: *Lanac uvijek puca na najslabijoj karici.*

Iz rečenoga proizlazi da je to disciplina koja određuje, odnosno može dati odgovore na pitanja i preporučiti kako oblikovati sredstvo i uvjete rada, okruženje te odnose među svima uključenima kako bi se dostigla najviša razina djelotvornosti, a na minimum svele opasnosti i rizici. Napomenimo još jednom, svaka naša aktivnost podložna je izazovima, svaki zadatak, i sve što činimo možemo činiti bolje, i uz više zadovoljstva. Ergonomija se ne bavi samo čovjekom koji radi, ona se bavi čovjekom koji u svom životu svakodnevno sudjeluje u sustavu čovjek-aktivnost-cilj. Jedan od važnih izazova ergonomije je utvrđene spoznaje i preporuke učiniti dostupnima i primjenjivima, međutim, s obzirom na toliku raznovrsnost aktivnosti i ciljeva koje imamo, nisu uvijek opravdane općenite smjernice.

S obzirom na raznovrsnu i vrlo široku mogućnost primjene ergonomije te da se stručnjaci raznih profila bave specifičnim izazovima, nastale su njezine domene: fizička, kognitivna i organizacijska. Fizička domena podrazumijeva uzimanje u obzir svih aspekata ljudskog tijela koji utječu na zaštitu od ozljeda, odnosno sigurnost, na oblikovanje alata, pomagala i proizvoda optimalne geometrije i karakteristika, omogućavanje učinkovitog kretanja ili obavljanja nekoga fizičkog zadatka, utvrđivanje optimalnog položaja za obavljanje nekog zadatka i tako dalje. Osim inženjera, ovom domenom bave se i liječnici, kineziolozi, i svi drugi koji mogu doprinijeti navedenim ciljevima. Kognitivna domena bavi se interakcijom ljudi i drugih elemenata sustava, odnosno proučava misaone procese poput percepcije, pamćenja – učenja, mentalnog opterećenja, razmišljanja i donošenja odluka. Također, analiziraju se i svi drugi misaoni procesi i stanja nužni za izradu individualnoga misaonog profila, procjenu izloženosti stresu, što uključuje i otkrivanje individualnih potencijala i sposobnosti i tako dalje. Organizacijska ergonomija bavi se optimizacijom socio-tehničkih sustava, uključujući njihove organizacijske strukture, politike i procese, odnosno pojednostavnjeno, skrbi o strukturi, ulogama, načinu uređenja i svim ostalim parametrima koji vode djelotvornom ustroju mnoštva pojedinaca, počevši od manje grupe ljudi pa sve do država i dalje od toga. Osim toga, postoje i specijalizirane teme unutar ovih domena koje nastaju zbog, kako smo već naveli, vrlo širokog čovječjeg utjecaja i njegova djelovanja na sve, uključujući i naš planet.

U raznim izvorima može se naići i na pojam ljudski faktori, ponekada i zajedno (ergonomija i ljudski faktori). Ergonomija i ljudski faktori su u suštini komplementarne perspektive u analizi čovjeka i njegova djelovanja dok vrši neku aktivnost, gdje će pod utjecajem ljudskih faktora različiti pojedinci u istim uvjetima, iste

zadatke obaviti uz različitu djelotvornost, što se u dubljem smislu može protumačiti kao utjecaj osobnih karakteristika i sposobnosti. Ljudski faktori se, ako već nastojimo obrazložiti pojavu termina, mogu smatrati pristupom koji zadržava primarni fokus na čovjeka i njegovom psihofizičkom stanju, znanju i vještinama, greškama, iskustvima, i općenito, razmatranjem svih utjecajnih odlika i čovječjih osobina s ciljem da mu omoguće neophodna poboljšanja.

Konačno, neovisno, dakle, o tome kako mi nazivali, tumačili ili definirali ovu disciplinu, svima je zajedničko da je riječ o proučavanju sustava s čovjekom u središtu kojemu treba omogućiti i prilagoditi sve neophodno da bi njegova aktivnost bila uspješna, uz najbolji odnos uloženo-dobiveno, osiguravajući dobrobit pojedinca i čitave zajednice.

O sustavima

Čitatelji su upoznati s pojmom sustav, pa samo ukratko, riječ sustav navodi na zaključak kako je prisutna uređena struktura svrsishodno odabranih, odnosno prisutnih elemenata međusobno povezanih u cjelinu s nekim ciljem. Idealno, od sustava se očekuje da svojim funkcioniranjem u potpunosti i učinkovito ispunji svoju svrhu. U stvarnosti, takvo očekivanje nije nužno uvijek ispunjeno, odnosno svrhovitost sustava može biti djelomična, što nadalje uzrokuje potrebu preoblikovanja sustava





sve dok struktura sustava ne postigne željenu djelotvornost – učinkovitost. S obzirom na činjenicu da se funkcioniranjem sustava mogu postići razni ishodi, odnosno, pretpostavimo li da postoji mnoštvo mogućih načina kako isti cilj možemo ostvariti, neće biti svi jednako djelotvorni iako ćemo konačni cilj ipak postići. Naravno, već smo ranije naveli kako je prirodni poriv zaslužan da ćemo tražiti onaj način koji će nam omogućiti postizanje zadovoljstva djelotvornošću sustava. Za primjer možemo uzeti namjeru da s polazišta stignemo do odredišta. Što je udaljenost veća, a topografija raznovrsnija, uključujući i prirodne i stvorene prepreke, bit će moguće izraditi razne prijedloge kako to učiniti. Izbor mogućeg puta utjecat će na trajanje, napor, trošak, izbor sredstva i tako dalje, pa iako ćemo do odredišta stići, cjelokupno putovanje i njegove konačne bilance razlikovat će se ovisno o našim mogućim izborima. Temeljno je pitanje u ovakvom slučaju po kojim kriterijima ćemo ocijeniti djelotvornost putovanja, za svaki od izabраниh načina dolaska na odredište. Istovjetnu racionalizaciju možemo i općenito promatrati kao sustav čijim optimiranjem ostvarujemo željene ishode. Time dolazimo do općeg koncepta pretvaranja početnog u konačno stanje putem ciljano uređenog procesa transformacije, simbolički predstavljeno crnom kutijom (engl. *black box*). Logično, dobro promišljeno vođenje procesa transformacije ključ je uspjeha, odnosno što je sustav bolje organiziran i uređen, učinkovitost transformacije je bolja, a ishodi transformacije više nalik željenima.

Primjerice, u procesu učenja gradiva učeni-studenti koristit će se individualno uspostavljenim sustavima učenja te će pod pretpostavkom istih intelektualnih kapaciteta gradivo usvojiti, ali potrebno vrijeme, cjelovitost usvojenih znanja i uloženi trud mogu biti značajno različiti, što bi se moglo razlučiti provjerom znanja. Logično, najbolji rezultat očekujemo od onih koji se koriste najboljim sustavom usvajanja gradiva, iako rezultat provjere znanja može ovisiti i o nizu drugih utjecaja. Slično tome, sportski rezultat individualnog natjecatelja ovisi o mnogim značajkama, a ne samo o njegovoj pripremljenosti za natjecanje, kao što bi se za igre s loptom moglo pokazati da pobjednička ekipa nije nužno načinjena okupljanjem najboljih pojedinaca.

Može se općenito reći i da se početno stanje radom sustava treba pretvoriti u željeno stanje, odnosno ostvarenje svih očekivanih ciljeva. Dakle, ako želimo postići neki cilj, treba utvrditi na koji način ćemo u tome najbolje uspjeti, a prirodno je nastojati težiti optimalnom odnosu uloženo-dobiveno. Sukladno s tim, poboljšavat ćemo sustav do potpunog ispunjenja očekivanja i zadovoljstva radom sustava. Naravno, pri tom je nužno izlučiti kriterije upravljanja sustavom koji vodi u pravom smjeru. Već sada je moguće uočiti kako je prisutno gotovo jednako razmatranje kakvo smo opisali povezano uz primjenu ergonomije. Zapravo, riječ je o istom pristupu iako nije nužno da su sudionici,



odnosno elementi sustava isti ili kriteriji ocjenjivanja djelotvornosti sustava. Ako kriterije i načela kojima se služimo u ergonomiji primijenimo na primjerice ekonomiju, sport, politologiju, tehničke i vojne znanosti, obrazovanje i tako dalje, uočiti ćemo kako su istovjetna načela prilagođena problematici.

Učinkovitost i funkcionalnost svakoga sustava uvjetovana je mnoštvom postavki, neovisno o tome o kojem sustavu ili vrsti sustava je riječ. Također, uočiti odgovarajuću hijerarhiju postavki te mehanizam odlučivanja u dinamičkom procesu rada sustava uvjetuju saznanja i razumijevanje uzročno-posljedičnih veza kako bi se mogle primijeniti preporuke i odgovarajući kriteriji. Ako rad sustava u analogiji prikazemo tijekom logičkih operacija kao dijagram toka, onda postaje jasno kako je važno ne samo razlučiti redoslijed operacija, već i koje odluke je u tijeku prolaza kroz tok nužno donijeti, te na koji način čitav dijagram toka urediti.

Upravo na ovim, ali i bilo kojim drugim primjerima, može se uočiti jedan od važnijih, možda i jedini smisleni izazov za uređivanje sustava, iz kojega proizlaze i svi drugi, koji upućuje na to kako o izboru kriterija odlučivanja i transformacija ovisi djelotvornost sustava i postizanje ciljeva. A podsjetimo li se smisla ergonomije, lako uočavamo da se ta disciplina i pojavila kao alat da nam ovakve izazove olakša riješiti.

Nadalje, sustave bismo mogli razvrstati u prirodne i umjetne, autonomne i slobodne i tako

na razne načine, ali važno je istaknuti da je cilj ovog teksta promicati razumijevanje oblikovanja sustava koje proizlazi iz gotovo istovjetnih kriterija kojima se bavi ergonomija – dostizanje optimuma i racionalizaciju uloženog napora u postizanju željenog ishoda. Konačno, sustavi su svuda oko nas bez obzira na to jesmo li ih mi stvorili ili smo samo njihov element.

Čovjek

I napokon o najvažnijem članu svih sustava – nama kao ljudskoj vrsti. Čovjeka, odnosno ljudsko biće možemo predstaviti kao najvažniji sustav koji još ne poznajemo dovoljno, ili barem ne u potpunosti, onda nam je i najveći izazov proniknuti u temeljne postavke takvog sustava da bismo naučili kako tako složen i savršen sustav dovesti do željenog stanja, počevši od zdravlja, a potom i dostizanja punih čovječjih potencijala na individualnoj i apsolutnoj razini.

Razmatrajući čovjeka kao sustav, on je kao biće sustav načinjen od mnoštva podsustava koji su ustrojeni u vrlo složenu strukturu. Dijelom je naše biće sustav nad kojim nemamo svjesnu kontrolu, odnosno funkcionira bez našeg voljnog i svjesnog upletanja, što je s jedne strane sretna okolnost, a s druge, iz perspektive iscjeljivanja, nesretna. Drugi dio našeg bića kojim možemo svjesno upravljati omogućuje nam sve aktivnosti koje činimo, kretanje, obavljanje zadataka, igru i sve drugo, kao i prevladavanje izazova napretka i okolnosti naših života koja možemo preuređivati. Poučno je uočiti kako naše tijelo posjeduje unutarnje mehanizme regulacije, optimiranja, cijeljenja pa čak i djelomičnu prilagodljivost na uvjete i opterećenja kojima smo izloženi, i, naravno, jedinstvenu sposobnost regeneracije zajedničku živim bićima. Šteta samo što se to ne događa u potpunosti, tj. ne za sve dijelove našeg tijela (primjerice neće nam narasti novi zub, ali će koštani prijelom zacijeliti). I osim ovoga, uvijek





je prisutan imunološki sustav koji dodatno štiti naše biće. Mi smo, dakle, toliko složen sustav da su mnoge njegove postavke još uvijek nepoznanica, međutim, upravo svi naši unutarnji sustavi su nam i inspiracija kako oblikovati druge sustave koji bi nam trebali služiti. Drugim riječima, nismo samo mi sustav, mi smo elementi sustava našeg planeta i mi stvaramo sustave radi ostvarenja naših ciljeva i nastojanja. Glavno pitanje se odnosi na to znamo li to činiti dovoljno dobro, jesu li rezultati očekivano dobri i što se može učiniti da bi bilo bolje.

Uz dužno poštovanje prema svom životu koji nas okružuje, čovjek suočen sa životnim

izazovima i opstankom razvijao je sustave do te mjere da je usvojio i ovladao znanjima i zakonima fizike i prirode te je odgovoran za mnogo više promjena nego sve druge životinjske vrste zajedno. Osim ostvarenih pozitivnih promjena, postoji i odgovornost za sve ono što je poremećeno, uništeno ili nepovratno izgubljeno. Očigledno čovjek ima moć, ali bi njome trebao potpuno ovladati i naučiti uređivati sustave i promjene bez tako teških posljedica. Kako je i ranije navedeno, treba usvojiti i svijest o dobiti, a ne samo o dobiti.

Kako je iz svega do sada rečenoga moguće zaključiti, sve čime se bavimo, kako naše biće funkcionira, i kako ostvarujemo svoje ciljeve, podložno je uređivanju u strukturu sustava kojim je neophodno mudro, promišljeno i precizno upravljati, uzimajući u obzir mnogo šire i dugoročnije učinke naših sustava od samo onih privremenih ili površno iskazanih manjinom kriterija. Dakle, sustave treba analizirati vrlo objektivno i kritički, pogotovo ako može nastupiti zanemarivanje dobiti većine uključenih, ako ne i svih. Na osobnoj razini odgovorni smo za svoje sustave, njihove ciljeve i odlike, kao i ishode njihova djelovanja, uključujući i utjecaj na one koji nas okružuju.



Višeagentski modeli: jata ptica, termiti koji grade gomile triješća i ostala čuđa

Dr. sc. Armano Srbljinović

Kad promatramo let jata ptica, često ostajemo zadržani oblicima koje jato formira, kao i sposobnostima jata da, pri svojoj raznolikosti oblika u pokretu, ostane na okupu. Vjerujem da su se mnogi od vas, promatrajući jato ptica, zapitali: Kako im to uspijeva? A neki su možda otišli još korak dalje, pitajući se: Kako se ponašaju ptice u jatu? Možemo li to prikazati u obliku modela?

Premda bi mnogi u prvi mah mogli pomisliti da je tako nešto prilično teško, pokazuje se da je modeliranje jata ptica zapravo prilično jednostavno. Sa svega tri pravila već je moguće dobiti model koji prilično vjerno dočarava let jata. Koja su to pravila? Prvo je takozvano „pravilo poravnanja“. Možemo zamisliti da bi jedno takvo pravilo svakoj ptici u jatu govorilo otprilike ovako: „Prilagodi svoju brzinu najbližim pticama!“ Drugo je „pravilo kohezije“: „Približavaj se ostalim pticama!“ I treće je „pravilo separacije“: „Izbjegavaj sudar!“. Premda je ovo pravilo navedeno posljednje, ono je zapravo nadređeno ostalim dvama. Drugim riječima, možemo zamisliti da, ako se neka ptica previše približi nekoj drugoj ptici, prilagođivanje brzine i približavanje na trenutak se „isključuju“, a prioritet

postaje izbjegavanje sudara, tj. odmicanje od ptice s kojom prijete sudar.

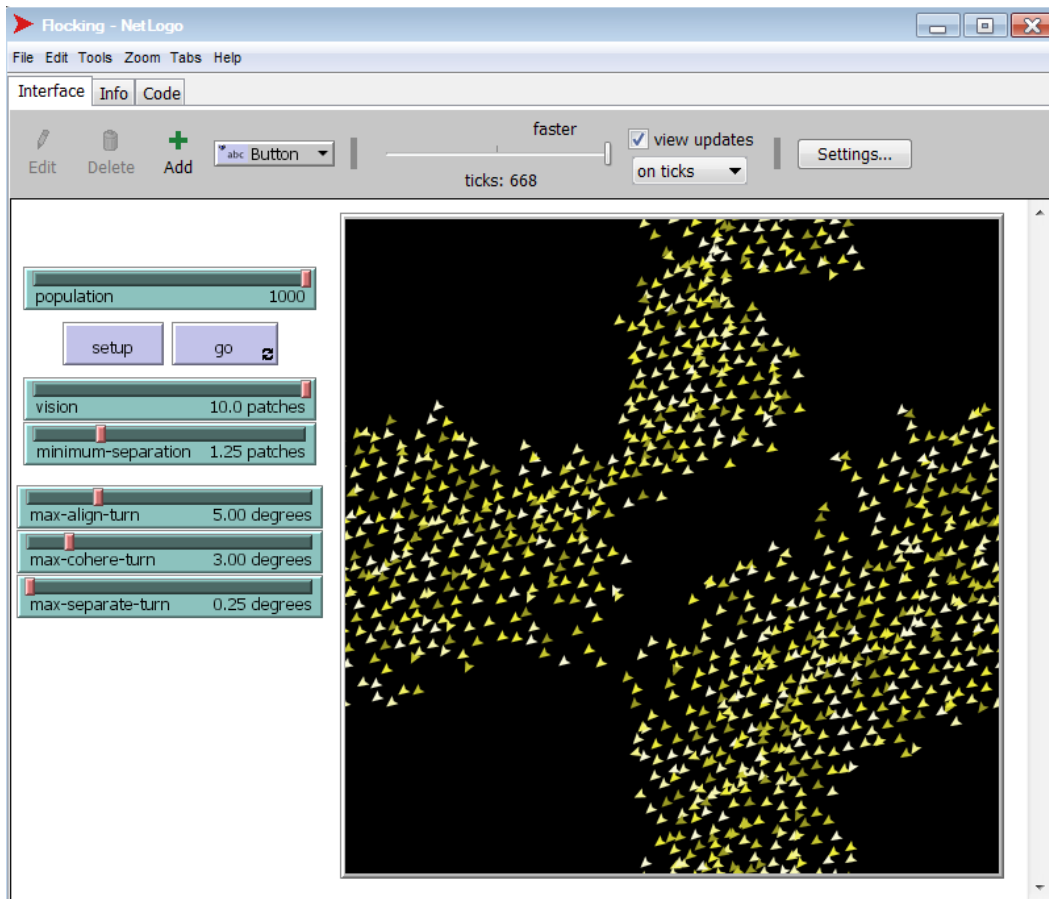
Primijetimo da se sva tri pravila odnose na sve ptice u jatu. Drugim riječima, u jatu ptica nema „dirigenta“ koji bi ostalim pticama davao upute tipa: „Vi tamo na repu, dođite bliže!“ ili „Ej, ti tamo naprijed, ne žuri toliko!“ i sl. Umjesto dirigenta, dovoljno je da svaka ptica slijedi tri navedena pravila i slijedenjem tih pravila jato će se oblikovati „samo od sebe“.

Višeagentski modeli

Upravo opisani model jata ptica primjer je višeagentskog modela. Model nazivamo *višeagentskim* zato što se sastoji od većeg broja



Slika 1: Jato ptica u prirodi. Autor: Gentry George, USFWS, <https://pixnio.com/fauna-animals/birds/birds-in-flight-flock-of-birds>



Slika 2: Simulacija jata ptica u programu *NetLogo*.

agenata – jedinki koje su predstavljene u računalnom programu, a koje u ovom slučaju predstavljaju pojedinačne ptice. Tipično se model jata sastoji od nekoliko stotina *agenata*-ptica.

Agenti modela slijede određena pravila. Često su ta pravila vrlo jednostavna, poput triju navedenih pravila prema kojima se ravnaju *agenata*-ptice. Međutim – i upravo to je ono što je u višeagentskim modelima najzanimljivije – iz velikog broja *agenata*, pri čemu svaki agent slijedi mali broj jednostavnih pravila, često izrastaju – u stručnom žargonu kažemo da *emergiraju* – zanimljivi, složeni obrasci sveukupnog skupa *agenata*, promatranog kao cjeline. U opisanom primjeru, složeni, emergentni obrazac jest prepoznatljiva formacija jata u kojoj skupina ptica leti i koja ostaje očuvana, bez obzira na privremene promjene oblika, brzine i/ili smjera letenja te formacije.

Pravila prema kojima se ravnaju pojedinačni agenti i *atributi* *agenata* zajedno čine takozvana *elementarna svojstva* višeagentskog modela. U gornjem primjeru, elementarna bi svojstva obuhvaćala tri navedena pravila kretanja *agenata*-ptica, zajedno s atributima kao što su trenutni položaj i brzina leta svakoga pojedinog agenta. *Emergentna svojstva* opisanoga višeagentskog modela obuhvaćala bi, pak, svojstva jata kao cjeline, njegov oblik, brzinu, smjer letenja i sl.

S obzirom na to da su nam poznati početni položaji i brzine leta svakoga pojedinog *agenata*-ptice, kao i pravila njihova letenja, u teoriji bismo trebali moći predvidjeti oblik, brzinu i smjer letenja čitava jata u svakom trenutku. Kažemo „u teoriji“ zato što je u praksi, zbog velikog broja ptica, takav račun, uz pomoć samo papira i olovke, krajnje mukotrpan i zapravo neizvediv. Računala su, međutim, kao stvorena za tu vrstu dosadnog i mukotrpnog „mljevenja brojeva“ (eng. *number crunching*), stoga se višeagentski modeli redovito programiraju u nekom od programskih alata za višeagentsko

modeliranje, poput onih o kojima je pisao kolega Josip Stepanić u *Sustavima* iz studenoga 2007. godine. A posebni „bonus“ kojim strpljivi programer zna biti nagrađen jest taj da su emergentna svojstva višeagentskih modela često neočekivana i zapravo iznenađujuća. Drugim riječima, iz relativno jednostavnih elementarnih svojstava velikog broja *agenata* često emergiraju upravo zapanjujuća svojstva na kolektivnoj razini skupa *agenata*, promatranog kao cjeline.

Termiti skupljaju triješće

Višeagentski model termita-skupljača triješća tipičan je primjer modela s neočekivanim emergentnim svojstvima. Nekoliko stotina termita kreće se po velikoj ploči kvadratnog oblika koja je podijeljena na desetak tisuća malih polja. Po poljima ploče slučajno je razbacano, na primjer, dvije tisuće treščica. Kretanje termita također je posve nasumično: svaki termit prelazi s polja na kojem se trenutno nalazi na slučajno odabrano susjedno polje.

Posao je termita skupljati triješće, pri čemu oni slijede dva pravila:

1. Ako termit „praznih ruku“ naiđe na treščicu, pokupi je.
2. Ako termit noseći treščicu naiđe na drugu treščicu, odlaže treščicu koju nosi na prvo prazno mjesto do treščice na koju je naišao.

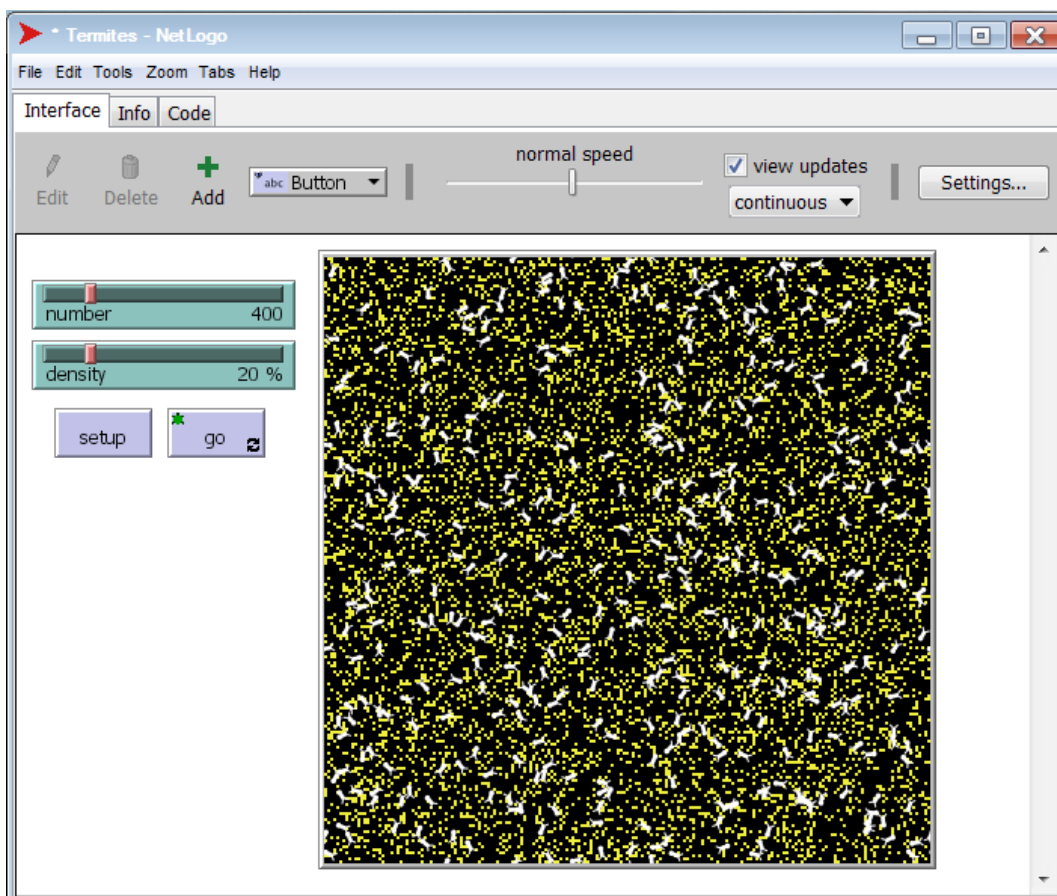
Što će emergirati iz tako zadanog modela?

Pokrenemo li računalnu simulaciju, većina nas ostat će iznenađena. Termiti će vrlo brzo, slijedeći samo dva navedena pravila, od po cijeloj ploči razasutog triješća početi formirati gomile. Štoviše, tijekom simulacije broj gomila triješća stalno će se smanjivati, sve dok na kraju baš sve treščice ne završe na jednoj jedinoj gomili. Istina, za taj rezultat treba malo strpljenja – uz 400 termita sporijem računalu treba i



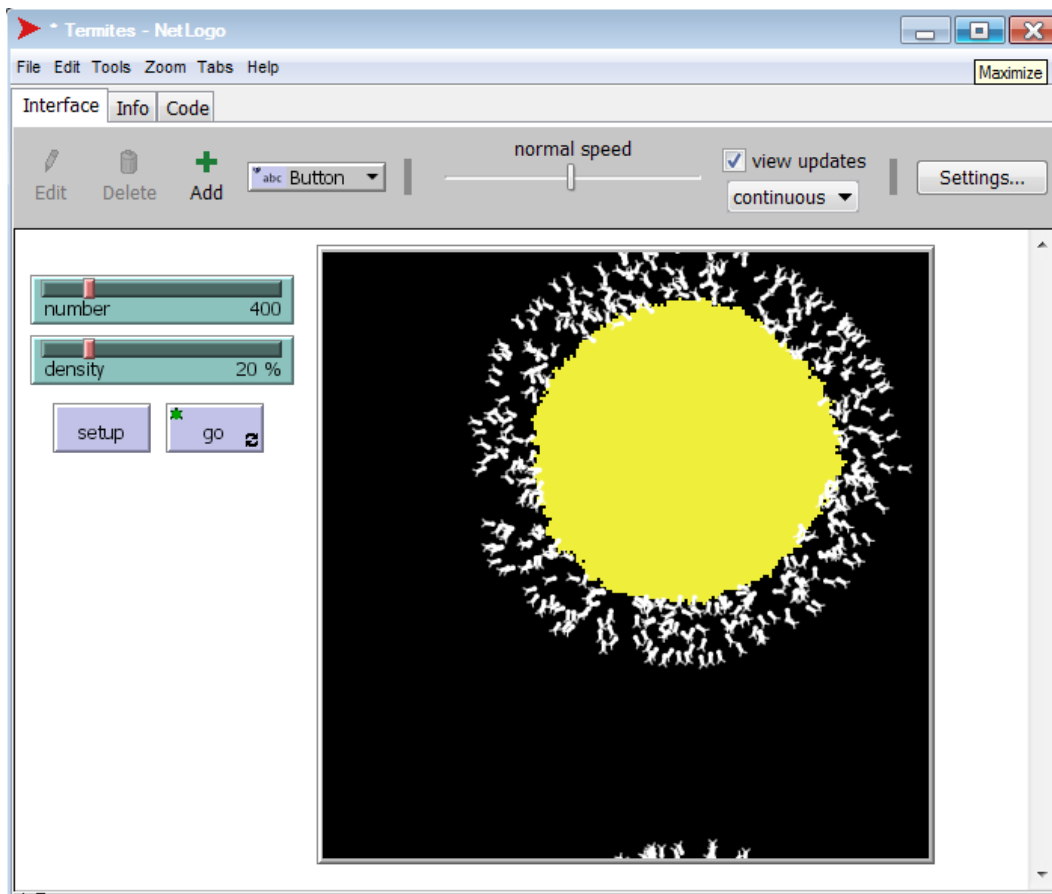
Slika 3: Termiti skupljaju triješće u prirodi.

Izvor: <https://www.shutterstock.com/video/search/wood-chip-ground> .



Slika 4: Početno stanje simulacije termita u programu *NetLogo*.

Bijeli su termiti, žute točkice predstavljaju posvuda razbacane treščice.



Slika 5: Završno stanje simulacije termita u programu *NetLogo*.
Žuti krug predstavlja gomilu triješća.

nekoliko sati. Zanimljivo je, također, da konačan rezultat ne ovisi o broju termita. Dovoljan je već i samo jedan termit, ali njemu za taj posao treba puno vremena. Na sporijem računalu najbolje ga je pustiti da radi u „noćnoj smjeni“.

Zašto iz dvaju gore navedenih jednostavnih pravila emergiraju gomile triješća čiji se broj s vremenom smanjuje? Primijetimo prvo da nema nikakvog načina da termiti započnu graditi novu gomilu gdje triješća već otprije nema. To je posljedica pravila br. 2 koje kaže da će termit uvijek odložiti treščicu uz neku drugu treščicu, dakle uz treščicu koja već jest dio neke gomile. Stoga se broj gomila s vremenom može samo smanjivati, ne i povećavati.

S obzirom na to da je kretanje termita slučajno, oni s podjednakom vjerojatnošću posjećuju

sve dijelove ploče, tj. i one na kojima se nalaze veće, i one na kojima se nalaze manje gomile treščica. Drugim riječima, podjednako je vjerojatno da će termiti praznih ruku otkidati treščice i s manjih i s većih gomila. Međutim, veće gomile zauzimaju veće dijelove površine ploče. Stoga je vjerojatnije da će termiti koji već nose treščice u svom – također slučajnom – kretanju naići na veću nego na manju gomilu. Zato su veće gomile „u prednosti“ da budu nadograđene u odnosu na manje gomile. U konačnici, to je i razlog zašto sve treščice završe na samo jednoj gomili. Dapače, kad već pri samom kraju ostanu samo dvije gomile, veća je vjerojatnost da će između njih „pobijediti“ ona gomila koja je veća.

Sad, kad smo sve objasnili, čini se jednostavno, no tko bi se svega toga sjetio prije

pokretanja simulacije, pročitavši samo dva zadana pravila ponašanja termita? Kao što poslovice kaže: Lako je biti general poslije bitke! Primijetimo usput da, kao ni među pticama, ni među termitima nema nekog „šefa“ koji bi upravljao procesom skupljanja treščica. Za pojavu gomila dovoljno je da svi termiti slijede samo dva navedena pravila. I još jedna napomena: u stvarnosti termiti zapravo ne prenose triješće s jednog mjesta na drugo, nego se hrane treščicama i od njih proizvode svojevrsan „fekalni cement“ od kojeg, pak, grade termitnjake. Opisani model, dakle, premda pomalo artificijelan, pokazuje nam kako iz jednostavnih elementarnih svojstava višeagentskih modela mogu emergirati kompleksni obrasci na kolektivnoj razini.

Što se sve može modelirati s pomoću višeagentskih modela?

Modeli jata ptica i termita koji skupljaju triješće samo su „vršak sante leda“ – sante koja krije silno bogatstvo fenomena iz prirode i društva koji se mogu modelirati s pomoću višeagentskih modela. Zbirka modela koja je sadržana u programu za višeagentsko modeliranje *NetLogo* nudi više desetaka modela iz različitih područja znanosti i omogućuje korisnicima relativno brzo upoznavanje s najpoznatijim višeagentskim modelima. *NetLogo* je besplatan softver koji si svatko od vas može lako instalirati. Oni još znatizeljniji s *NetLogom* mogu pokušati izraditi i svoj prvi višeagentski model.

NetLogovo korisničko sučelje vrlo je jednostavno, a ipak omogućuje duboke uvide u promatrani model. Važan dio korisničkog sučelja čine tzv. „klizači“ (eng. *sliders*), čijim pomicanjem lijevo-desno smanjujemo, odnosno povećavamo, vrijednosti pojedinih parametara modela. Što su *parametri modela*? To su veličine o kojima ključno ovise rezultati modela.

U primjeru s termitima, najvažniji su parametri broj termita i gustoća s kojom je triješće razasuto po ploči. Što je broj termita veći, to oni brže prikupe sve triješće na jednu gomilu. Zanimljivo, ako je gustoća triješća vrlo niska (tj. blizu nule), ili pak vrlo visoka (tj. blizu vrijednosti jedan), termiti će ga brže i lakše prikupiti na jednu gomilu nego ako je gustoća triješća srednja (tj. oko 0,5).

U primjeru s jatima ptica najvažniji su parametri: broj ptica; „veličina područja vizije“ – koliko daleko od sebe svaka ptica može vidjeti; „minimalna separacija“ – udaljenost između ptica na kojoj se „uključuje“ pravilo izbjegavanja sudara, što znači da se ptice ne mogu međusobno približiti bliže od te udaljenosti; te tri parametra koji određuju maksimalnu veličinu kuta do koje ptica može promijeniti smjer pri svakom od triju elementarnih pravila.

Klizači s pomoću kojih mijenjamo vrijednosti pojedinih parametara modela nalaze se lijevo gore na korisničkom sučelju, dok se na desnoj strani nalazi tzv. „promatrački objekt“ (eng. *observer*) s pomoću kojega pratimo što se u modelu zbiva nakon promjene vrijednosti parametara.

Vrlo je širok spektar pitanja na koje se odgovori mogu tražiti s pomoću modela iz *NetLogove* zbirke. Evo samo nekih primjera: Kako mravi, s pomoću feromona koje izlučuju, pronalaze najkraći put do izvora hrane? Mravi, krećući se, ostavljaju feromonski trag koji je to jači što je svježiji i što ga je više mrava ostavilo. Mravi koji idu kraćim putem brže se vraćaju, pa je trag duž kraćeg puta jači, što privlači sve više mrava, sve dok, na kraju, mravlja kolonija ne pronađe najkraći put između izvora hrane i mravinjaka.

Kako krijesnice uspijevaju sinkronizirati svoje svjetlosne signale? U početku, svaka krijesnica zasvijetli u slučajno odabranom trenutku. Međutim, krijesnice s vremenom opažaju

bljeskove drugih krijesnica te mogu, prema određenim pravilima, sinkronizirati svoje svjetlucanje s drugim krijesnicama koje se nalaze u blizini.

Kako se šire šumski požari? Pokazuje se da brzina širenja kritično ovisi o gustoći vegetacije (i naravno o vjetru; *Netlogov* osnovni model usredotočen je na gustoću vegetacije, a korisnik može dodati još i utjecaj vjetra).

Kako nastaju „prometni čepovi“ na cestama? Auto počinje usporavati ako njegov vozač ugleda ispred sebe drugo vozilo, a ubrzava ako ispred nema drugih vozila. Pokazuje se da je već tako jednostavan model dovoljan za pojavu „prometnih čepova“ na cestama. Do „čepova“, dakle, može doći i bez prometnih nesreća, rupa na cesti ili drugih specifičnih uzroka.

Kako nastaju obrasci segregacije u gradskim četvrtima? Ljudi mogu imati vrlo umjerene sklonosti prema sebi sličnim susjedima. Primjerice, mogu željeti da im barem 30 % susjeda bude iste rase. Željati imati približno trećinu susjeda iste rase čini se sasvim „normalnim“ – osobe takvih sklonosti ne bi se moglo nazvati „rasistima“. Međutim, pokazuje se da su već tako umjerene individualne sklonosti dovoljne za pojavu segregacije na razini gradskih četvrti.

Naime, pokazuje se da, čak i ako svatko od nas želi imati relativno skromnih 30 % susjeda iste rase, svi građani bit će zadovoljni tek kad svatko ima 70 – 75 % susjeda iste rase. Drugim riječima, to što svatko od nas individualno ima vrlo umjerene sklonosti prema susjedima iste rase, ne znači da je lako postići da baš svi budemo zadovoljni. Dapače, „cijena“ zadovoljstva sviju upravo je segregacija na kolektivnoj, kvartovskoj razini. Kako je to moguće? Provjerite tzv. „Schellingov model segregacije“, nazvan prema njegovu autoru Thomasu Schellingu, inače dobitniku Nobelove nagrade za ekonomiju 2005. godine.

Istražujući neke od navedenih ili možda neke od modela koje ovdje nismo stigli spomenuti, moći ćete se uvjeriti da je emergencija složenih kolektivnih obrazaca iz jednostavnih individualnih pravila zanimljiv proces. Višeagentski modeli slični su računalnim igricama – kad se na njih jednom „navučete“, lako ćete provesti sate „igrajući“ se s vrijednostima parametara pojedinih modela istražujući što se pritom događa s rezultatima. A umjesto uobičajenog završetka igrice, kod višeagentskih modela nagrada strpljivom korisniku-istraživaču sastoji se u pronalaženju zanimljivih i neočekivanih rezultata.

Literatura

O jatima ptica

Videosnimci jata ptica u prirodi: <http://www.globalstewards.org/murmurations.htm>

O računalnoj implementaciji triju pravila za modeliranje jata ptica:

- Pemmaraju, V. (2013) Three Simple Rules of Flocking Behaviors: Alignment, Cohesion, and Separation. <https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/3-simple-rules-of-flocking-behaviors-alignment-cohesion-and-separation--gamedev-3444>

Računalna simulacija jata ptica:

- Instalirati program *NetLogo* s adrese: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/download.shtml>
- Nakon pokretanja programa odabrati: *File -> Models Library -> Biology -> Evolution -> Flocking*

O višeagentskim modelima

- Stepanić, J. (2007) Programi za višeagentsko modeliranje. *Sustavi* 1(2–3), str. 28–32.
- Resnick, M. (1997) *Turtles, Termites, and Traffic Jams*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Kennedy, J., Eberhart, R. C. (2001) *Swarm Intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
- Nakon pokretanja programa odabrati: *File -> Models Library -> Biology -> Termites*

Računalna simulacija termita koji skupljaju triješće:

- Instalirati program *NetLogo* s adrese:
<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/download.shtml>

Riječ *model* može imati razna značenja, a u znanosti pod tim pojmom najčešće podrazumijevamo pojednostavnjeni prikaz nekog dijela stvarnosti. Postoje razne vrste modela: od skica i nacрта, preko maketa i prototipova, do modela u obliku matematičkih jednadžbi ili računalnih programa.

Simulacijski modeli ili kratko: *simulacije*, posebna su vrsta računalnih programa koji prikazuju kako se neki proces odvija u vremenu. Primjeri simulacijskih modela obuhvaćaju simulacije upravljanja automobilom ili zrakoplovom za učenje vožnje ili jednostavno zabavu, simulacije gibanja zračnih masa za potrebe vremenske prognoze, simulacije strujanja zraka oko aerodinamičnih profila, kakvi se tipično koriste u zrakoplovnoj industriji i još mnoge druge.

Višeagentski modeli, posebna su, pak, vrsta simulacijskih modela kojima se modelira veći broj jedinki – *agenata*, od kojih svaki slijedi mali broj jednostavnih pravila, pri čemu se s vremenom razvijaju – *emergiraju* – zanimljivi, složeni obrasci sveukupnog skupa agenata, promatranog kao cjeline. Tipični su primjeri modeli jata ptica, rojeva insekata, mravljih i termitskih kolonija i sl.

Kakva je veza između višeagentskih modela i sustava? *Sustav* je skup dijelova koji se nalaze u nekom međusobnom odnosu. Skup agenata također možemo smatrati sustavom, pri čemu je odnos agenata određen pravilima koje agenti slijede. Višeagentski modeli služe za prikaz vremenske dinamike – na primjer, gibanja u vremenu – *višeagentskih sustava* kao što su jata ptica ili rojevi insekata.

O KOROZIJI

Prikaz korozijskih oštećenja zavarenih spojeva nehrđajućih čelika

**Prof. dr. sc. Ivan Juraga, prof. dr. sc. Vesna Alar,
prof. dr. sc. Vinko Šimunović, prof. dr. sc. Ivan Stojanović**

Korozija je naša svakodnevica, iako je možda nismo svjesni. Kad bismo moćne i masivne čelične konstrukcije prepustili koroziji, malo-pomalo, iz godine u godinu, velik bi ih dio nestajao!

Popularno nazivana *hrđanje*, korozija je naziv za različite procese koji imaju jednak završetak: degradiranje metalne konstrukcije. Tijekom vremena ljudi su pronašli i razvili slične otporne na koroziju. Primjer su nehrđajući čelici, koji su figurativno jedna od osnova naše civilizacije iako bi po svom nazivu trebali biti otporni na koroziju – i takvi čelici korodiraju!

Odakle sad to? Kako to? Zašto tako?



U daljnjem tekstu razjašnjavamo relativno detaljno kako dolazi do korozije na nehrđajućim čelicima. Tekst traži određeno predznanje i to iz različitih područja: osnove poznavanja materijala i mehaničkih svojstava materijala, osnovne pojmove anorganske kemije i kemijskih procesa, ali isto tako i neke elemente biologije! Ako ćete u tekstu naići na nejasnoće, nastojte produbiti svoje znanje iz osnovnih, polaznih pojmova koji se pritom spominju. Nešto dodatne literature mjestimično je navedeno u tekstu i to kratko, samo jednim brojem. Na kraju ovog članka cjelokupni je literaturni navod koji se podrazumijeva pod određenim brojem.

Nehrđajući čelici, neovisno o grupi, tj. vrsti čelika, svoja svojstva korozijske postojanosti temelje na spontanom formiranju vrlo tankog filma kromovih oksida debljine svega nekoliko nanometara. Taj pasivni film barijera je odvijanju korozijskih procesa u vrlo širokom rasponu medija, a nastaje kada je površina nehrđajućeg čelika izložena kisiku. Stoga se taj pasivni sloj, čak i ako se ošteti, npr. mehanički, samoobnavlja ako je medij kojem je površina izložena oksidativan [1, 2].

Pasivnost kao spontana pojava koja nehrđajućim čelicima omogućava korozijsku postojanost u različitim medijima, višestruko je uvjetovana. Ona postoji pod određenim uvjetima u nekom okolišu. Raspon uvjeta u kojima se ona održava ovisi o mnogobrojnim čimbenicima od kojih su najvažniji sastav medija i samog čelika. Kada su uvjeti povoljni nehrđajući čelik je u pasivnom stanju i nema pojave korozije. U suprotnom, ako je pasivnost narušena (depasivacija), u uvjetima koji ne dopuštaju njezino spontano obnavljanje (repasivaciju) nehrđajući čelik lokalno korodira, i to, vrlo često, izuzetno brzo [1, 2, 3].

Upravo iz tog razloga opći korozijski procesi nisu karakteristični za ove čelike. Oni su ili korozijski postojani ili uopće nisu. Ako nisu, tada, osim u slučaju izloženosti reduktivnim medijima (npr. jakim neoksidirajućim kiselinama) u kojima su u aktivnom stanju i stradaju procesima opće korozije, ili pak u ekstremno jakim oksidativnim medijima u kojima su u transpasivnom stanju, korozijski fenomeni na nehrđajućim čelicima manifestiraju se nekim od lokalnih procesa oštećivanja i to [1, 2, 3]: procesima rupičaste (jamičaste, pitting) korozije, procesima korozije u procijepu, procesima napetosne korozije, procesima interkristalne korozije i procesima mikrobiološki poticanje korozije.

Austenitni čelici zbog svoje dobre korozijske postojanosti, dobre obradljivosti, izvrsne zavarljivosti, mehaničkih svojstava te estetskih karakteristika najčešće su korištena vrsta nehrđajućih čelika, ali i skupina materijala na kojima je zabilježeno najviše slučajeva korozijskog oštećivanja.

Pritom, ta lokalna korozijska oštećenja, koja se vrlo često međusobno isprepleću na konstrukcijama u eksploataciji, kako je to dano u sljedećim prikazima, najčešće nastaju u području zavarenih spojeva, razlog čemu su različite metalurške i površinske promjene koje nastaju kao posljedica unosa topline u toj

zoni, a mogu vrlo štetno djelovati na korozijsku postojanost.

PRIKAZ SLUČAJEVA KOROZIJSKOG OŠTEĆIVANJA

Rupičasta korozija i korozija u procijepu – postrojenje za desalinizaciju

U svega nekoliko mjeseci upotrebe na dijelu cjevovoda izrađenim od nehrđajućih čelika u postrojenju za desalinizaciju bočate vode (saliniteta od 3000 do 3500 mg/L), u kojem se koristi reverzno osmotski membranski postupak desalinizacije, nastala su intenzivna lokalna korozijska oštećenja koja su dovela do potpune perforacije stijenki i propuštanja medija. Oštećenja su nastala u područjima zavarenih spojeva kao i u lokalitetima steznih rastavljivih brtvenih spojeva (slika 1).

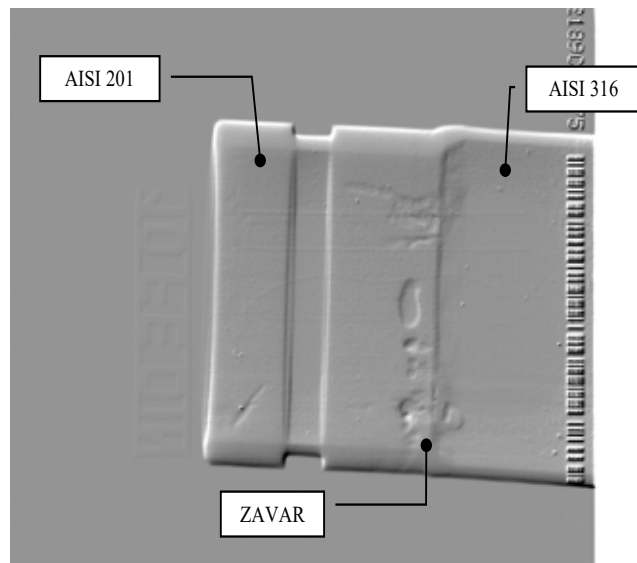
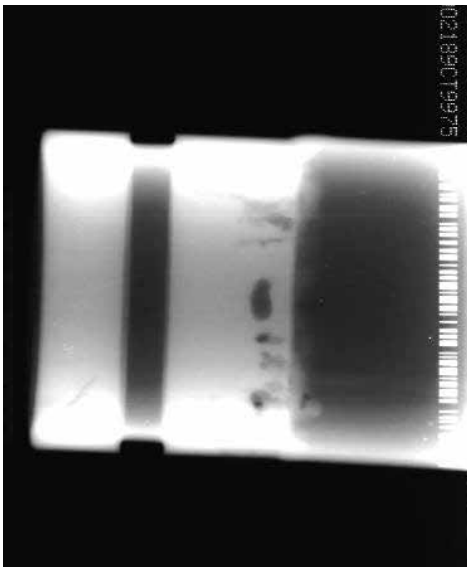
Ispitivanjem kemijskog sastava materijala spektrometrijskim ispitivanjem fluorescentnim X zrakama utvrđeno je da su cjevovodi izrađeni od dvije vrste materijala – nehrđajućih čelika oznaka AISI 201 (dio s utorom za steznu brtvu) te čelika AISI 316 (cjevovodi).

Radiografskim ispitivanjima (slika 2), provedenim u Laboratoriju za nerazorna ispitivanja FSB-a, utvrđeno je, što je i potvrđeno makrostrukturnim ispitivanjima (slika 3) da su korozijska oštećenja nastala isključivo na dijelu cjevovoda izrađenog od čelika AISI 201 i to u području zavarenog spoja s čelikom AISI 316.

Također, utvrđeno je i da zavarivanje nije bilo u potpunosti korektno izvedeno jer korijenski dio zavarenog spoja nije u potpunosti provaren, a samo konstrukcijsko rješenje spoja dvaju materijala različitih debljina imalo je i za posljedicu da na izloženim rubovima debljeg materijala (AISI 201) nastanu oštećenja izazvana tzv. „end grain attack“ korozijom (slika 4).



Slika 1: Oštećenja cjevovoda od nehrđajućih čelika



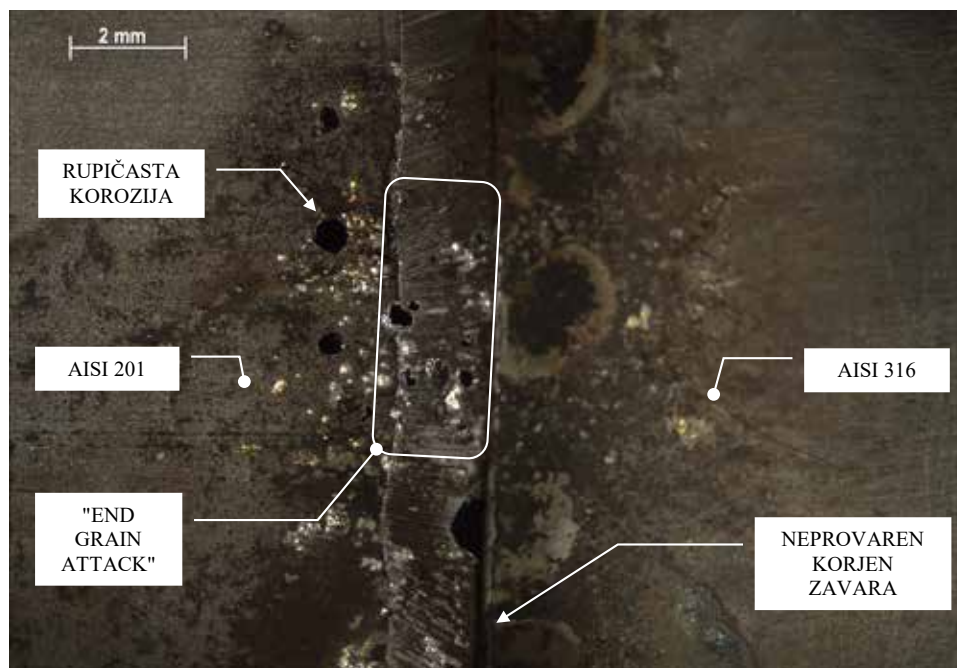
Slika 2: Radiogram (lijevo) i 3D prikaz zavarenog spoja s vidljivim oštećenjima (desno).



Slika 3: Rupičasto oštećenje u području dijela izrađenom od čelika AISI 201

Analizom rezultata provedenih ispitivanja može se zaključiti da je veliki utjecaj na intenzitet oštećivanja imalo i loše konstrukcijsko rješenje zavarenog spoja s obzirom da je, zbog potrebe izrade utora za prihvat rastavljive stezne brtve, zavaren nastavak u obliku cijevi deblje stijenke tako da "stepenica" ostane iznutra i tako omogući i vertikalno razaranje (rupičasta korozija) i horizontalno napadanje – "end grain attack". Ista cijev deblje stijenke je i od lošijeg materijala (AISI 201) u odnosu

na ostatak segmenta cjevovoda (AISI 316), stoga i korozijska oštećenja nastala upravo na tim segmentima. Sve to u kombinaciji s mjestimice neprovarenim korijenom zavora i neuklonjenim toplinskim oksidima dovelo je do nastanka povoljnih uvjeta za stvaranje korozijskih oštećenja. Jednako tako, odabir spoja s rastavljivom steznom brtvom rezultirao je nastankom procjepa i iniciranjem oštećenja unutar njega na stijenkama cjevovoda.



Slika 4: Korozija na izloženim rubovima i neprovar korijena zavarenog spoja

Korozija u procijepu i mikrobiološki poticana korozija – sustav cjevovoda vode

Na sustavu cjevovoda izrađenog od nehrđajućeg čelika kvalitete AISI 316Ti svega nekoliko mjeseci nakon punjenja vodom iz vodovodne mreže, pri čemu je ušla i netretirana izvorska voda, nastala su oštećenja u područjima zavarenih spojeva koja su dovela do perforacije stijenki u području zavora i propuštanja medija, slika 5.

Vizualnim pregledom uzorka cijevnog segmenta utvrđeno je da su korozijska oštećenja nastala u području zavarenog spoja u kojem je

prisutan talog korozijskih produkata te da zavareni spojevi nisu u potpunost protaljeni, slika 6.

Radiografskim ispitivanjima zavarenih spojeva cijevi potvrđeni su neprovari korijena te je utvrđeno da su korozijska oštećenja inicirana u području uz neprovar korijena zavarenog spoja, slika 7, te u manjoj mjeri u području zone utjecaja topline s nepotpuno uklonjenim toplinskim oksidima, što je dodatno ilustrirano i stereomikroskopskom snimkom zavarenog spoja u području oštećenja, slika 8.

Mikrobiološkim ispitivanjima korozijskih produkata kao i uzorka vode korištenjem MICKit3 podloga za nacjepljivanje, slika 9,



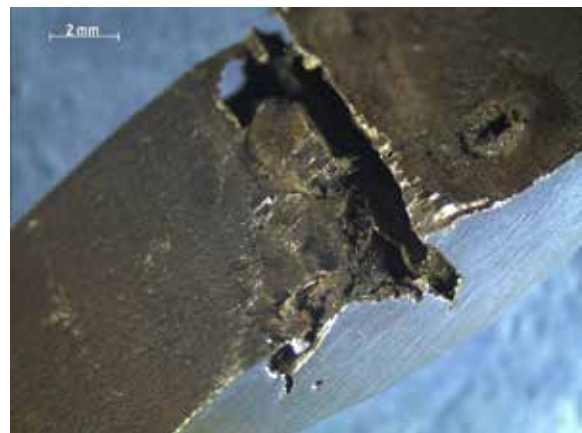
Slika 5: Oštećenja na sustavu cjevovoda u području zavarenih spojeva



Slika 6: Snimka izrezanoga ispitnog uzorka zavarenog spoja s vidljivim neprovarom korijena zavora, korozijskim oštećenjima i talogom korozijskih produkata



Slika 7: Neprovar korijena zavarenog spoja i korozijska oštećenja inicirana u području uz neprovar te rupičasta korozijska oštećenja u području zone utjecaja topline



Slika 8: Stereomikroskopske snimke u području oštećenja. Uočavaju se područja neprovarenog korijena zavarenog spoja kao i naknadno nastala korozijska oštećenja.

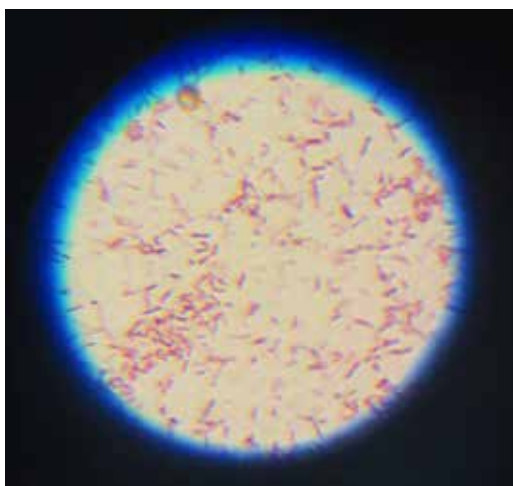
utvrđeno je da su u njima prisutne različite vrste mikroorganizama, za koje je poznato da mogu potaknuti korozijske procese u obliku rupičaste i korozije u procijepu, tj. dovesti do mikrobiološki poticane korozije (MIC), slika 10.

Na temelju svega navedenoga može se zaključiti da su u procesu nastalog korozijskog oštećivanja dominantni utjecajni čimbenici bili postojanje procijepa u korijenskom dijelu

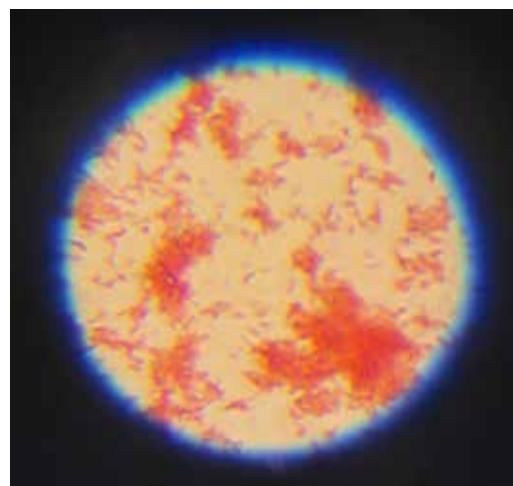
zavarenih spojeva zbog nepotpunog protaljivanja kao i prisustvo toplinskih oksida nastalih zavarivanjem. Dodatno, procesi razaranja bili su i mikrobiološki poticani s obzirom na utvrđeno prisustvo različitih mikroorganizama u vodi i korozijskim produktima, a koji su u sustav cjevovoda mogli doći s izvorskom netretiranom vodom.



Slika 9: Mikrobiološko ispitivanje uzorka vode korištenjem MICkit3 podloga za nacjepljivanje



aerobne



anaerobne

Slika 10: Mikrofotografije poraslih bakterijskih kolonija (povećanje ~ 1000×)

Što zaključiti?

Korozijska postojanost konstrukcija od Cr-Ni čelika u najvećem broju slučajeva ovisi o poznavanju mehanizama na kojima se temelje njihova svojstva korozijske otpornosti, tj. na važnosti očuvanja pasivnosti, pogotovo kod izrade konstrukcija u zavarenoj izvedbi.

Lokalna korozijska oštećenja konstrukcija od nehrđajućih čelika svojom iznenadnom pojavom vrlo često dovode do zastoja ili prestanka rada postrojenja ili njihovih, najčešće, vitalnih dijelova. Ovi korozijski procesi najčešći su oblici korozijskog razaranja nehrđajućih Cr-Ni čelika.

Iz prikazanih analiziranih slučajeva korozijskog oštećivanja može se zaključiti da pravilnim odabirom materijala i oblika konstrukcije,



parametara i tehnike zavarivanja, pridržavanjem određenih pravila u obradi i rukovanju i posebno naknadnom obradom zavarenih spojeva, rizici i opasnosti od korozijskih oštećenja kod nehrđajućih čelika mogu se znatno umanjiti, te tako dobiti konstrukciju s visokom otpornošću na korozijska oštećenja.

Dodatna literatura

1. Davis J. R.: ASM Speciality Handbook Stainless Steels, ASM International, 1994.
2. Dillon, C. P.: Corrosion resistance of stainless steels, Marcel Dekker, Inc., New York, 1995.
3. Davis, J. R.: Stainless steels, ASM Speciality Handbook, Davis & Associates, Ohio, 1994.

