

# Laboratorij za modeliranje, simulacijo in vodenje in Laboratorij za avtomatizacijo in informatizacijo procesov



Slika 1. Člani obeh laboratorijev



## Temeljni pojmi področja modeliranja, simulacije in vodenja

### Tradicija

Korenine **Laboratorija za modeliranje, simulacijo in vodenje** (LMSV – predstojnik prof. dr. Borut Zupančič) in **Laboratorija za avtomatizacijo in informatizacijo procesov** (LAIP – predstojnik prof. dr. Drago Matko) na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani segajo v šestdeseta leta preteklega stoletja, ko je pokojni profesor dr. France Bremšak ustanovil Laboratorij za analogno in hibridno tehniko in sodeloval pri oblikovanju smeri Avtomatika na dodiplomskem in podiplomskem nivoju. Iz področij matematičnega modeliranja, računalniške simulacije in teorije regulacije sistemov, za katera je bil profesor Bremšak eden od

začetnikov v Sloveniji, pri čemer je vzgojil ogromno mladih kadrov, sta se razvila omenjena laboratorija, ki vseskozi tako v pedagoškem kot tudi v raziskovalnem smislu delujeta kot ena skupina. V povezavi z Odsekom za sisteme in vodenje na Inštitutu Jožef Stefan, katerega ustanovitelj je bil tudi profesor Bremšak, predstavljata okolje z najdaljšo tradicijo na omenjenih področjih v Sloveniji.

Laboratorija trenutno štejeta 15 članov (*slika 1*):

- 3 redni profesorji
- 3 izredni profesorji
- 3 docenti
- 5 mladih raziskovalcev
- 1 tehnični sodelavec

Sodobna tehnologija vodenja spada med tako imenovane kritične tehnologije, to je tiste, ki so v državnem in celo svetovnem merilu posebej pomembne za uspešnost in napredek gospodarstev. V nasprotju z drugimi tehnologijami, ki dajejo pretežno vidne izdelke in dobrine, ima tehnologija vodenja bolj posreden, se pravi infrastrukturni pomen. Njeni učinki se namreč prepletajo skozi mnoge inženirske, ekonomske, družbene in druge dejavnosti.

Področje tehnologije vodenja pa je tudi izrazito interdisciplinarno. Potrebno je povezovanje znanja o procesih, ki jih želimo voditi, z znanjem iz tehnologije vodenja. Poleg klasičnih zahtev po minimizaciji surovin, energije, časa izdelave in

cene so dandanes prisotne še zahteve po fleksibilnosti in zanesljivosti proizvodnje, po kvaliteti proizvodov, po varnosti in humanizaciji delovnih mest ter po varovanju okolja. V teh pogojih so uspešnejše interdisciplinarne skupine strokovnjakov, ki poleg svojega specialnega področja poznajo tudi osnove tehnologije vodenja.

**Vodenje** je proces, s katerim vplivamo na delovanje sistema z namenom, da dosežemo nek zastavljeni cilj. Gre torej za transformacijo informacij o vodenem procesu in o njegovem okolju v odločitve in ukrepe, ki ob upoštevanju kriterijev in omejitev zagotavljajo željeno obnašanje sistema. Pri tem pojem vodenja zajema tako odprtoznančno vodenje – **krmiljenje** kakor tudi zaprtznančno (povratnoznančno) vodenje – **regulacijo**.

S področjem vodenja sta neločljivo povezana tudi pojma **kibernetike**, ki se ukvarja s študijem vodenja in komunikacij v živih bitjih in tehničnih sistemih, ter **avtomatike**, ko procesi zbiranja informacij o stanju sistema in okolice, priprave ukrepov in odločanje ter ukrepanje potekajo brez posredovanja človeka. Prav tako pa seveda ne gre brez komunikacijskih, informacijskih in računalniških tehnologij.

Avtomatiki veliko stavimo na **sistemski pristop**, kar je posledica dejstva, da se v današnjem času pojavlja vedno več problemov z izrazito interdisciplinarnim značajem, zato konvencionalne metode analize niso več dovolj uspešne. Tako je postala **teorija sistemov** obenem z računalništvom, simulacijo, teorijo vodenja, kibernetiko, robotiko in informatiko zelo pomembna. Čeprav je sistemska teorija že dolgo znana, je zaradi hitrega razvoja tehnologije, računalnikov in komunikacij postala uporabna šele v novejšem času in pomeni enega bistvenih pristopov pri izvedbi večine projektov. Sistemska teorija je metodološka veda, ki temelji na lastnostih, ki so skupne najrazličnejšim sistemom. To so: cilji, stanja, omejitve, stabilnost, vodenje, dinamično obnašanje itd. Gre torej za vedo, ki teži po združitvi obstoječega znanja o različnih sistemih v enovit pristop. Tako je namen **sistemskega**

**pristopa** razumeti, načrtovati, spreminjati, ohranjati in morda tudi voditi obnašanje obravnavanih sistemov. Med številnimi možnimi rešitvami torej iščemo najbolj sprejemljivo, upoštevajoč celovitost problema, okolico in različne omejitve.

**Sistem** definiramo kot množico elementov, ki so povezani med seboj in z okolico tako, da delujejo kot celota. Pojem **procesa** pa pomeni potek, postopek ali dogajanje, ki povzroča spremembo stanja sistema. Gre torej za odvisnost odziva sistema od časa, ki ga opisuje pojem **dinamike**. Proces je torej dinamični sistem. **Tehnični proces** tako lahko imenujemo skupek soodvisnih potekov v nekem sistemu, ki rezultirajo v transformaciji, transportu ali skladiščenju materije, energije ali informacije.

Sistemska teorija omogoča enovit in univerzalen pristop k reševanju problemov, pri čemer imata pomembno vlogo tudi **modeliranje** in **simulacija**. Gre za neločljiva postopka, ki vsebujeta kompleksne aktivnosti v zvezi s konstrukcijo modelov realnih objektov in eksperimentiranje z modeli v smislu pridobivanja podatkov o obnašanju modeliranega procesa. Pri tem je modeliranje vezano predvsem na relacije med realnim procesom in njegovimi modeli, simulacija se ukvarja s povezavo med matematičnim in simulacijskim (računalniškim) modelom, slednji pa tvori kot svoj izhod časovne odzive, ki jih vrednotimo glede na obnašanje obravnavanega procesa. Namen študija sistemov s pomočjo modeliranja in simulacije je torej doseganje različnih ciljev, ne da bi morali eksperimentirati na realnih objektih, pri čemer gre tako za opis kot tudi za razlago njihovega obnašanja.

### Raziskovalno delo

Čeprav so raziskave na področju tehnologije vodenja dosegle izredno visoko stopnjo, pa njihovi učinki v praksi še precej zaostajajo. Zato se tudi na področju temeljnih raziskav kaže potreba po integraciji znanja v smislu praktične uporabnosti metod in ne toliko razvijanja novih bolj in bolj sofisticiranih pristopov.

Poudarki raziskav laboratorijev se zaradi omenjenih razlogov obračajo predvsem v naslednje smeri:

- problem učinkovitega pridobivanja znanja o procesu (novi pogledi na modeliranje in simulacijo sistemov);
- pri načrtovanju vodenja se problematika širi predvsem v smislu enovitega upoštevanja ne le krmilno-regulacijskega nivoja, temveč tudi nadzora (vključuje zagon in zaustavitev procesa, odkrivanje, spoznavanje in odpravljanje napak, optimiranje urnikov itd.) ter poslovne in upravljalvske sfere;
- možnost povečevanja učinkovitosti načrtovanja vodenja v smislu kombinacij metod, vendar ne le iz klasične linearne teorije, temveč ob vključevanju ekspertnega znanja in pristopov s področja umetne inteligence ter v smislu prilagajanja načrtovalskih orodij domenam uporabe;
- možnost uporabe omrežnih tehnologij na področju tehnologije vodenja.

### Modeliranje in simulacija

Matematično modeliranje in simulacija procesov skokovito pridobivata na pomembnosti tako na tehniških kot tudi na netehniških področjih, še posebno pa narašča njun delež v projektih visoke tehnologije. Nekatera področja raziskav laboratorijev so:

- konvencionalni pristopi teoretičnega in eksperimentalnega modeliranja in simulacije,
- nelinearni modeli,
- modeli z nevronskimi mrežami,
- intervalni mehki modeli in večpredstavno modeliranje,
- hibridni modeli (simulacija in pretvorbe med različnimi tipi),
- modeliranje avtonomnih mobilnih sistemov.

Nekatera področja uporabe modeliranja in simulacije pa so:

- vodenje procesov (načrtovanje vodenja, razvoj metode, izvedba – npr. vodenje na osnovi modela, odkrivanje napak ...),
- bio- in farmakogenomika, medicina,
- toplotni in svetlobni tokovi v stavbah itd.



Slika 2. Avtonomni mobilni sistem

### Vodenje procesov

Osnovna področja raziskav laboratorijev zajemajo konvencionalno, multivariabilno, adaptivno in prediktivno vodenje zveznih, diskretnih in hibridnih sistemov z ustrežno računalniško podporo in v kombinaciji s pristopi s področja umetne inteligence, pri čemer so bolj kot nove metode zanimive **kombinacije metod** s ciljem približevanja uporabi v industriji.

Omenimo naj

- konvencionalne pristope (npr. PID-regulacija),
- vodenje multivariabilnih sistemov,
- vodenje na osnovi (nelinearnih) modelov – prediktivno vodenje,
- adaptivno vodenje,
- vodenje hibridnih sistemov,
- uporabo pristopov s področja umetne inteligence (nevronske mreže, mehko vodenje, genetski algoritmi itd.),
- ekspertne sisteme za vodenje ali za vrednotenje relativne učinkovitosti vodenja,
- vodenje avtonomnih mobilnih sistemov (zaznavanje okolice, avtonomno delovanje, navigacija, zaznavanje ovir, iskanje zelenih ciljev, sensorika, algoritmi vodenja, razpoznavanje značilk v prostoru, planiranje poti, lokalizacija, kartiranje itd.),
- prilagajanje strategij vodenja konkretnim problemskim domenam ter standardni procesni opremi (npr. vodenje temperature šaržnega reaktorja, vodenje toplotnih in svetlobnih tokov v stavbah).

V zadnjih letih je v laboratorijski raziskovalni dejavnosti precejšen pouda-

rek na avtonomnih mobilnih sistemih. Enega izmed njih prikazuje *slika 2*.

### Pedagoško delo

Pedagogi laboratorijev delujemo predvsem na smeri **Avtomatika** tako na univerzitetnem kot na visokošolskem strokovnem študiju. Program Avtomatike se v zadnjih treh semestrih še nadalje deli, sodelavci laboratorijev pa sodelujejo predvsem pri predmetih izbirnih skupin **Procesna avtomatika (PA)** in **Inteligentni sistemi (IS)**. Predmeti vsebujejo vse tiste vsebine, ki so temeljnega pomena v avtomatizaciji industrijskih procesov: modeliranje, identifikacija in simulacija, sistemi vodenja (gradniki, algoritmi, nadzorni sistemi, računalniški sistemi), umetni inteligentni sistemi (razpoznavanje oblik, govora). Poučevanje temelji na t. i. sistemskem pristopu, kar omogoča učinkovito reševanje problemov raznih področij s podobnimi pristopi.

Dejavnosti obeh laboratorijev (LMSV in LAIP) najlepše prikazujejo kar naslovi predmetov v tretjem, četrtem in 5. letniku univerzitetnega študijskega programa: Elementi za avtomatiko in robotiko, Regulacije 1, Modeliranje procesov, Simulacije, Regulacije 2, Seminar: Vodenje sistemov I, Diskretni regulacijski sistemi, Identifikacije, Računalniško podprto inženirstvo, Seminar: Vodenje sistemov II, Multivariabilni sistemi, Računalniško vodenje procesov, Seminar: Vodenje sistemov III. Skratka gre za vsebine, ki so nujne v avtomatizaciji v procesni in izdelčni industriji pa tudi za mode-

liranje in vodenje sistemov na drugih področjih. Trije seminarji z naslovom Vodenje sistemov so zasnovani tako, da ob njih študenti praktično preizkusijo vse najpomembnejše pristope na področju avtomatizacije. Teoretične vsebine so podprte s praktičnim delom v dobro opremljenih laboratorijih (*slika 3*).

Študentje se vključujejo tudi v raziskovalno delo. Za večino predmetov imajo na voljo učbenike, ki so jih napisali neposredni predavatelji in asistenti, pa tudi obsežno tujo literaturo. Vsako leto je organizirana ekskurzija v uspešna slovenska podjetja. Laboratorija sta se med prvimi na Fakulteti za elektrotehniko vključila v program SOCRATES-ERASMUS, ki omogoča mobilnost študentov in učiteljev. Nekaj študentov je že opravilo del študijskih obveznosti v tujini, prav tako pa je gostovalo nekaj tujih študentov. Člani laboratorijev občasno predavajo v tujini, tuji profesorji pa na naši fakulteti.

Sodelavci laboratorijev smo v sodelovanju z Inštitutom Jožef Stefan in podjetjem INEA razvili niz petdnevni tečajev, ki pokrivajo življenjski cikel projektov s področja tehnologije vodenja. Ker so bili tečaji načrtovani v okviru projekta TEMPUS-ALIAC ob sodelovanju še petih evropskih univerz, je njihova kvaliteta tudi mednarodno potrjena. Tečaji predstavljajo tudi glavni del predmetnika specialističnega študija Tehnologija vodenja industrijskih procesov na Fakulteti za elektrotehniko, možno pa jih je obiskovati tudi posamično kot tečaje dopolnilnega



Slika 3. Prikaz laboratorijskih modelnih naprav

izpopolnjevanja. Najpomembnejša lastnost tečajev je njihova praktična usmerjenost, pri čemer gre za prikaz le najnujnejših teoretičnih načel. Ustrezno strukturo prikazuje slika 4.

na opremi industrijskih dimenzij študij popestri in poudarja uporabnostne vidike. Pri tem se veskozi uporablja sodobna računalniška, komunikacijska in multimedijaska oprema, v zadnjem času pa tudi učenje na daljavo. Pozor-

gometu (slika 5). Študentje preko igre in tekmovanja pridobijo najsodobnejše znanje s področij sensorjev, umetnega vida, digitalne obdelave slik, računalništva in informatike, umetne inteligence, inteligentnega vodenja, komunikacije, robotike, mehatronike, modeliranja in simulacij itd.

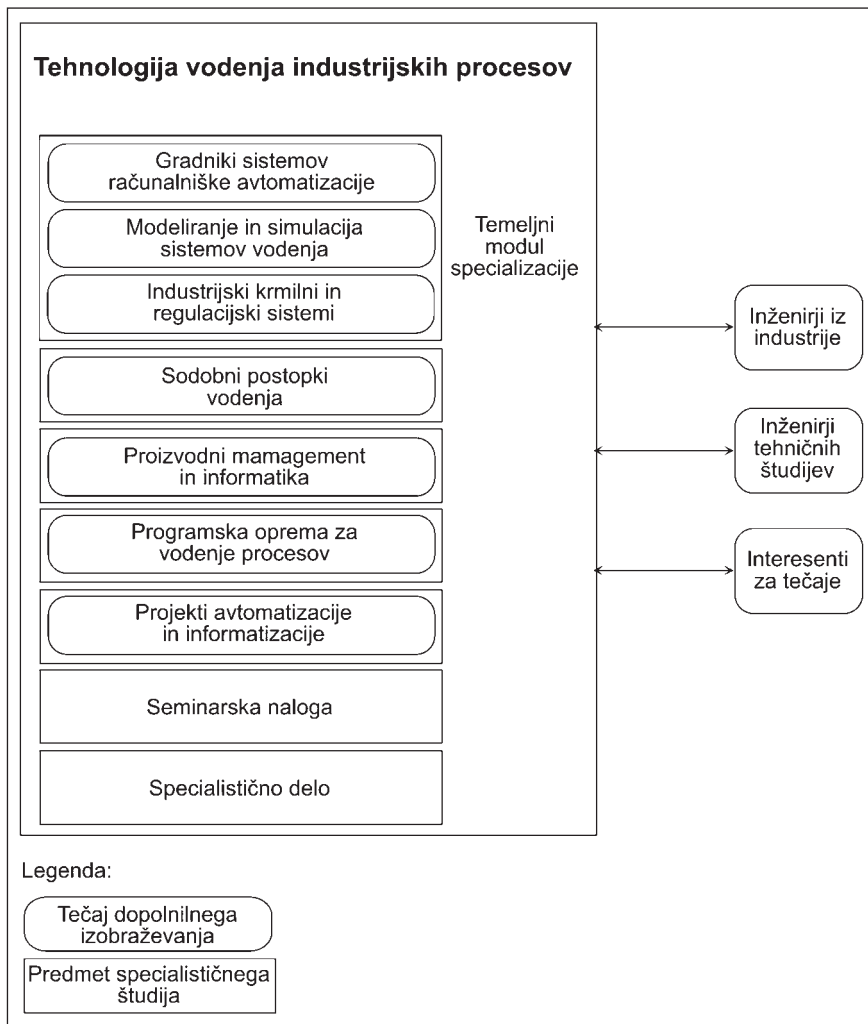
Naše ekipe se udeležujejo evropskih in svetovnih prvenstev ter olimpijad. Dosegle so velike mednarodne uspehe, saj so zmagale na evropskem prvenstvu v Ljubljani in na olimpijadi v San Franciscu, pa tudi na svetovnih prvenstvih so dosegle zelo visoka mesta.

Ker Fakulteta za elektrotehniko v letu 2009/2010 prehaja na bolonjski študij, je bila za model 3 + 2 + 3 potrebna korenita strukturna in vsebinska prenova dosedanje študijske sheme, kar je v zadnjem obdobju zahtevalo velik angažma. Programi so pripravljene in čakajo na ustrezne akreditacije. Želeli smo ponuditi privlačne predmete, ki bi ob evidentnem pomanjkanju kadrov na našem področju pritegnili čim več študentov in jih naučili tako samostojnega kot tudi skupinskega projektnega dela in učinkovitih pristopov k reševanju zastavljenih nalog.

### Dosežki

Najpomembnejše dosežke laboratorijev na različnih področjih delovanja na najkrajši način predstavljajo naslednji kazalci:

- nosilci programske skupine: Modeliranje, simulacija in vodenje



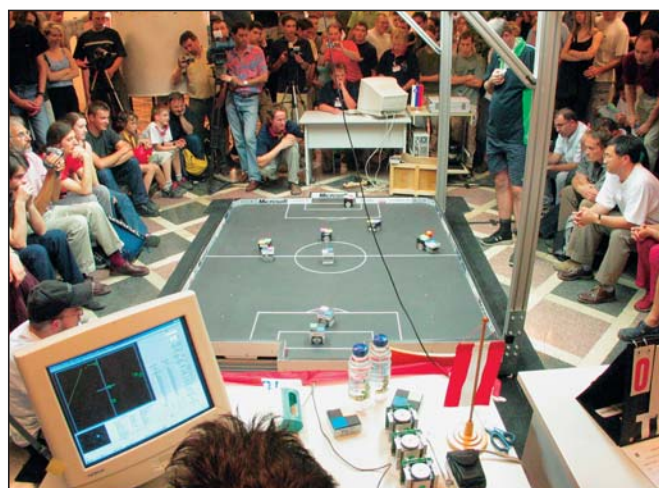
**Slika 4.** Struktura dopolnilnega in specialističnega izobraževanja Tehnologija vodenja industrijskih procesov

Oba načina izobraževanja sta namenjena predvsem:

- inženirjem, ki se pri svojem delu srečujejo s problematiko vodenja procesov,
- inženirjem avtomatike, ki si želijo obnoviti in dograditi znanje,
- diplomantom visokih strokovnih šol,
- ostalim zainteresiranim posameznikom poljubne izobrazbe.

V vseh programih dajemo velik poudarek motivaciji študentov in popularizaciji stroke. Delo na sodobnih laboratorijskih modelnih napravah in

nost je posvečena tudi samostojnemu kreativnemu delu študentov, ki z delom na ustreznih problemih pridobivajo potrebne izkušnje. To delo v nekaterih primerih popestrijo tudi tekmovanja. Motivacijsko in promocijsko vlogo v tem smislu igra tekmovanje v robotskem no-



**Slika 5.** Računalniški programi tekmujejo v »nogometu«

- sistemov za MVZT,
- soustanovitelji in člani tehnološke mreže: Tehnologija vodenja procesov (TVP),
- soustanovitelji in člani Tehnološkega centra za avtomatizacijo, robotizacijo in informatizacijo (ARI),
- sodelovanje v projektu ESRR: Sodobne tehnologije vodenja za povečanje konkurenčnosti ob sodelovanju članov TVP in 44 slovenskih proizvodnih podjetij kot uporabnikov rezultatov,
- sodelovanje v Centru odličnosti za sodobne tehnologije vodenja in v Centru odličnosti biotehnologija s farmacijo,
- sodelovanje v dveh projektih CRP Znanje za varnost in mir,
- sodelovanje v evropskih projektih: TEMPUS, COPERNICUS, SOCRATES ERASMUS, 5. in 6. okvirni program EU,
- bilateralna sodelovanja z Nemčijo, Anglijo, Avstrijo, Češko, Japonsko, Francijo, Argentino, Hrvaško in BIH,
- več kot 90 raziskovalno-razvojnih projektov za domačo industrijo in 20 projektov z mednarodno udeležbo,
- tri monografije, od katerih sta dve izdani v mednarodnih založbah, 244 izvirnih znanstvenih in strokovnih člankov v revijah in 870 objavljenih prispevkov na znanstvenih srečanjih,
- trije patenti,
- organizacija štirih mednarodnih strokovnih srečanj,
- zaključna dela: 57 doktoratov, 105 magisterijev, 17 specialističnih del in 892 diplom,
- izdaja 34 učbenikov in 24 študijskih materialov,
- sedem nagrad MVZT, od katerih je najpomembnejša Zoisova nagrada za vrhunske znanstvene dosežke na področju avtomatike prof. Dragu Matku,
- 38 drugih nagrad (Prešernove, Bedjaničeve, najboljši študentski prispevki na strokovnih srečanjih, zmage na srečanjih ICAMES ...), v zadnjem obdobju je zelo pomembna zmaga mladega raziskovalca Simona Oblaka na študentski olimpiadi v St. Petersburgu,

- popolna prenova prostorov v letu 2005.
- Člani laboratorijev smo imeli tudi več vabljenih predavanj na mednarodnih in domačih srečanjih in na različnih znanstvenoraziskovalnih institucijah, sodelujemo v različnih odborih znanstvenih publikacij, pri urejanju zbornikov, pri organizaciji in v odborih mednarodnih znanstvenih srečanj.

To je bil v letu 2007 zagotovo najpomembnejši tovrstni dogodek v Evropi in tudi največji znanstveni dogodek doslej na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Udeležilo se ga je 456 znanstvenikov iz 42 držav sveta, ki so predstavili 420 prispevkov. Kongres je dosegel lep uspeh tako v znanstvenem kakor tudi v družabnem smislu. V pripravi je tudi posebna številka revije SIMPRA z



Slika 6. Med odprtjem 6. kongresa EUROSIM

Smo tudi med ustanovitelji **Društva avtomatikov Slovenije (DAS)** in **Slovenskega društva za simulacijo in modeliranje (SLOSIM)**, ki mu od vsega začetka tudi predsedujemo. Društvo je član evropske federacije **EUROSIM**, ustanovljene 1989, ki združuje 13 zvez iz evropskih držav in z različnimi strokovnimi srečaji in drugimi akcijami promovira modeliranje in simulacijo kot univerzalni pristop k reševanju najrazličnejših problemov. Združenje ima tudi svoji publikaciji, in sicer znanstveno revijo **Simulation Modelling Practice and Theory (SIMPRA)**, ki jo izdaja založba Elsevier, in **Newsletter/Journal Simulation News Europe (SNE)**. V obdobju 2004–2007 je združenju predsedoval prof. dr. Borut Zupančič, ki je močno izboljšal delovanje zveze EUROSIM, bil pa je tudi predsednik **6. kongresa EUROSIM** (slika 6).

izborom najboljših člankov s kongresa, pri čemer sta gostujoča urednika prof. dr. Borut Zupančič in prof. dr. Rihard Karba.

*Prof. dr. Rihard Karba  
Prof. dr. Borut Zupančič  
Doc. dr. Maja Atanasijevič-Kunc  
Vsi: UL, Fakulteta za elektrotehniko*