





АКАДЕМСКЕ БЕСЕДЕ

Књига I

ISSN 2466-5134

SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS

PRESIDENCY

ACADEMIC SPEECHES

Volume 1

Accepted on October 20th 2016, at the 7th meeting of the
SASA Presidency

Editor

academician
MIRO VUKSANOVIĆ

BELGRADE
2016

ISSN 2466-5134

СРПСКА АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЕТНОСТИ

ПРЕДСЕДНИШТВО

АКАДЕМСКЕ БЕСЕДЕ

Књига 1

Примљено на VII седници Председништва САНУ
од 20. октобра 2016. године

Уредник

академик
МИРО ВУКСАНОВИЋ

БЕОГРАД
2016

SASA PRESIDENCY

academician Vladimir S. Kostić,
President of SASA

academician Zoran V. Popović,
Vice President of SASA for Natural Sciences

academician Ljubomir Maksimović,
Vice President of SASA for Social Sciences

academician Marko Anđelković,
Secretary General of SASA

academician Stevan Pilipović,
President of SASA Branch in Novi SAD

academician Gradimir Milovanović,
*Secretary of the Department of Mathematics,
Physics and Geo Sciences*

academician Miroslav Gašić,
*Secretary of the Department of Chemical
and Biological Sciences*

academician Zoran Lj. Petrović,
Secretary of the Department of Technical Sciences

academician Dragan Micić,
Secretary of the Department of Medical Sciences

academician Predrag Piper,
Secretary of the Department of Language and Literature

academician Časlav Ocić,
Secretary of the Department of Social Sciences

academician Mihailo Vojvodić,
Secretary of the Department of Historical Sciences

academician Milan Lojanica,
Secretary of the Department of Fine Arts and Music

ПРЕДСЕДНИШТВО САНУ

академик Владимир С. Костић,
п̄редседник САНУ

академик Зоран В. Поповић,
п̄ошп̄редседник САНУ за п̄риродне науке

академик Љубомир Максимовић,
п̄ошп̄редседник САНУ за друшп̄вене науке

академик Марко Анђелковић,
п̄енерални секретар САНУ

академик Стеван Пилиповић,
п̄редседник Опранка САНУ у Новом Сагу

академик Градимир Миловановић,
*секретар Одељења за математичку,
физику и тео-науке*

академик Мирослав Гашић,
*секретар Одељења хемијских
и биолошких наука*

академик Зоран Љ. Петровић
секретар Одељења п̄техничких наука

академик Драган Мицић,
секретар Одељења медицинских наука

академик Предраг Пипер,
секретар Одељења језика и књижевности

академик Часлав Оцић,
секретар Одељења друшп̄вених наука

академик Михаило Војводић,
секретар Одељења историјских наука

академик Милан Лојаница,
секретар Одељења ликовне и музичке уметности

Ликовни прилози

Петар Лубарда

Наука, слика, Свечана сала САНУ
(на предњим корицама)

Мило Милуновић

Умејноси, слика, Свечана сала САНУ
(на задњим корицама)

Ђорђе Јовановић

Наука и умејноси, скулптура, улазни хол у САНУ
(на почетку књиге)

Младен Србиновић

Детаљи *Вишража*, Свечана сала САНУ
(на белинама у књизи)

САДРЖАЈ

Академик Владимир С. Костић, председник САНУ <i>Поздравна реч</i>	15
Академик Миро Вуксановић <i>О ирисџујним бесегама срџских акагемика</i>	17
Приступне беседе садашњих редовних чланова САНУ	29
Одељење за математику, физику и гео-науке	
Академик Миљко Сатарић <i>Микроџубуле, коридори за унуџарћелијски саобраћај и сиџализацију</i>	49
Академик Зоран Кнежевић <i>Quo vadis mechanica coelestis?</i>	65
Одељење хемијских и биолошких наука	
Академик Милена Стевановић <i>SOX џени: од оџкрића до функције</i>	87
Академик Славко Ментус <i>Секундарни елекџрохемијски извори енерџије са унџеркалаџним елекџродним маџеријалима</i>	109
Одељење техничких наука	
Академик Дејан Б. Поповић <i>Енџроџија или неџенџроџија: шџа је уџиџало на мој развој?</i>	137

Академик Душан Теодоровић <i>Моделирање саобраћаја</i>	149
---	-----

Одељење медицинских наука

Академик Ђорђе Радак <i>Кароидна хирургија, 360 секунди самоће</i>	167
Академик Небојша Радуновић <i>Од хелије до новорођенчећа</i>	185
Академик Душица Лечић Тошевски <i>Рај и мир у исихијатрији</i>	203

Одељење језика и књижевности

Академик Јасмина Грковић-Мејдор <i>Обрасци заклињања у историјској њерсијективи: линвистички и коинитивни увиди</i>	223
Академик Миро Вуксановић <i>Балада о најдражој речи</i>	235

Одељење друштвених наука

Академик Коста Чавошки <i>Слава и бесмртност</i>	245
Академик Часлав Оцић <i>Крај рада или ново ројство?</i>	257

Одељење историјских наука

Академик Михаило Војводић <i>Берлински конгрес – после тридесет година (српски њољед)</i>	273
--	-----

Одељење ликовне и музичке уметности

Академик Петар Омчикус <i>Изложба слика</i>	291
--	-----

Радне биографије беседника

Миљко Сатарић	299
Зоран Кнежевић	303

Милена Стевановић	309
Славко Ментус	315
Дејан Б. Поповић	321
Душан Теодоровић	327
Ђорђе Радак	333
Небојша Радуновић	339
Душица Лечић Тошевски	345
Јасмина Грковић-Мејдор	351
Миро Вуксановић	355
Коста Чавошки	359
Часлав Оцић	363
Михаило Војводић	369
Петар Омчикус	373



ОДЕЉЕЊЕ ТЕХНИЧКИХ НАУКА







Душан Теодоровић

Моделирање саобраћаја

1. Одакле долазим?

Пре него што прикажем своја истраживања, своје радове и књиге, желео бих да кажем ко сам и одакле долазим. Сада имам само облак од сећања, али и потпуно сазнање и уверење да су на мој професионални живот и морална начела највише утицали мој стриц Душан, по коме се зovem, и пресудно, мој отац Бранко. Ученици гимназије у Сремским Карловцима, Душан, инжењер и професор, и Бранко, генералштабни официр Краљевине Југославије и пучиста 27. марта 1941. године, немачки логораши, били су људи који су радозналост дечака пазили и саветовали, понекад грдили и изнад свега бескрајно волели. Помагали су ми у учењу латинског језика и у решавању неког тежег математичког проблема, научили ме да пливам, да вежем кравату и дегустирам вино и изнад свега показали ми шта је љубав. Клањам се њиховим сенима.

2. Моје школе

Учио сам основне школе „Ђорђе Јовановић“ и „Перо Поповић Ага“, Математичку гимназију и Прву београдску гимназију. Студирао сам и докторирао на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду и боравио на постдокторском усавршавању на Техничком универзитету Данске у Копенхагену и Универзитету Калифорније у Берклију.

3. Моје књиге

Написао сам књиге *Transportation Networks* (1986), *Airline Operations Research* (1988), *Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach* (1998),

Transportation Engineering: Theory, Practice and Modeling (2016) и био уредник књиге *The Routledge Handbook of Transportation* (2015).

Из мојих књига учили су на универзитетима: Univerza v Ljubljani, Indian Institute of Technology at Bombay, Ghent University, The Technical University of Denmark, Technische Universität Chemnitz, University of Missouri at Rolla, National Chiao Tung University, MIT, University of California at Berkeley, University of Delaware, Virginia Tech.

4. Где сам предавао?

Жеља да будем и у Србији и у свету водила ме на путовања и краће и дуже боравке на иностраним универзитетима. Провео сам скоро осам година у учионицама и рачунским центрима далеко од Дорхола и Врачара, Кнез Михаилове и Земунског кеја. Поред Универзитета у Београду, предавао сам и боравио на универзитетима Univerza v Ljubljani, Technical University of Denmark, University of California at Berkeley, University of Pennsylvania at Philadelphia, University of Delaware, National Chiao Tung University, University of Maryland at College Park, University of Southern California at Los Angeles, Virginia Polytechnic Institute and State University, University of Western Ontario, Indian Institute of Technology, Politecnica di Bari. На неким од ових универзитета одржао сам само једно предавање, а на некима сам остао по неколико месеци. Поред Универзитета у Београду, на коме сам прошао пут од асистента-приправника до проректора, *Virginia Polytechnic Institute and State University* сматрам такође својим универзитетом. На *Virginia Tech*-у, чији је мото „бити користан“ (*Ut prosim*), провео сам шест година. Када сам се вратио у Србију, доделили су ми звање професора емеритуса.

5. Научни резултати

Још као млад асистент био сам свестан елементарне чињенице да нови алгоритам, техника, метод или нумерички експеримент постаје научни резултат тек када се публикује у релевантном научном часопису. Било ми је изузетно тешко на почетку каријере да објављујем. Био сам аутодидакт у публи-

ковању у међународним научним часописима. И данас ми-слим да су неки моји радови неправедно одбијени. С друге стране, академска заједница још увек није смислила праведнији и савршенији систем за вредновање научних резулата од система анонимне рецензије колега из света. Објавио сам током каријере око 80 радова у међународним научним часописима (ISI категоризација). Био сам рецензент и уредник специјалних бројева међународних научних часописа и ментор 11 докторских дисертација у земљи и иностранству. У своју научну активност убрајам и обављање дужности проректора за науку Универзитета у Београду (2006–2009). Легитимно је и питање о утицају мојих истраживања. Према бази *Google Scholar* моји радови су у светској литератури цитирани 4.576 пута, а Хиршов индекс научне компетентности износи $h=35$.

6. Саобраћај

Сматра се да су путеви откривени у околини Јерихона стари преко 6.000 година. Археолошка налазишта у Пенџабу указала су на поплочавање улица циглама (3250–2750 п. н. е). Проналазак точка довео је до развоја возила са точковима и поплочавања путева каменом (пут дуг преко 50 километара на Кнососу). Персијски царски друм изграђен у време Дарија, велики кинески канал, пут свиле, путеви ћилибара који су повезивали северну Европу са Средоземљем, путеви римског царства, од којих је најпознатији *Via Appia*, као и путеви Инка од Еквадора до Аргентине, доказ су великих градитељских достигнућа старих цивилизација.

Данас хиљаде возила, авиона и пешака стварају саобраћајне токове на ауто-путевима и улицама градова, на пешачким прелазима и у ваздуху, на прилазима аеродромима. Путници и роба путују земљом и испод земље, небом, морима и океанима. Захваљујући, у великој мери, развоју саобраћајне технологије модерни свет је постао глобално село. Развијени саобраћајни системи допринели су развоју политичких, економских, културних и свих других веза међу људима. Ефикасни и одрживи саобраћајни системи један су од битних предуслова опстанка и напретка модерне цивилизације.

Потребе за планирањем транспорта и управљањем саобраћајем јављале су се кроз историју са развојем људског друштва. Задатак тркача у Старом Риму био је да стигну до краја

улице и обавесте остале на раскрсници да наилази запрега. На тај начин се наизменично мењао дозвољени смер кретања дуж уских улица. У Старом Риму *vigiles* су били државни службеници који су се поред других дужности бавили и регулисањем саобраћаја и утврђивањем првенства пролаза. У циљу ефикасног управљања саобраћајем, за време владавине Јулија Цезара у Риму је било забрањено коришћење приватних запрега током дана (овај саобраћајни пропис је садржан у *Lex Julia Municipalis*). У време Хенрија Трећег (Henry III of England), у граду Беверли (Јоркшир) 1249. године се започело са наплатом путарине при уласку и изласку из града за робу која се превози. Прикупљени новац се користио за поплочавање улица. Леонардо да Винчи (1452–1519), у својој студији о идеалном граду, бавио се урбанистичким питањима и питањима организације саобраћаја. *Codex Atlanticus*, који представља колекцију Леонардових цртежа, скица, инвенција и филозофских огледа, садржи и студију о идеалном граду, предлог мреже саобраћајница и канала и транспортних активности које бисмо данас назвали градска логистика.

Железница и поморски саобраћај су обележили деветнаести, а развој друмског, градског и ваздушног саобраћаја двадесети век. Током година све је више нарастала потреба за ефикасним управљањем саобраћајним системима. На почетку су зелена и црвена светла коришћена на раскрсницама, пре свега у циљу повећања безбедности саобраћаја. Брзо се уочило да се игром црвених и зелених светала, њиховим осмишљеним паљењем и гашењем на раскрсници, коридору или зони града може управљати саобраћајним токовима.

Модерни саобраћајни системи су системи великих димензија које карактеришу сложене интеракције између возила, инфраструктуре и учесника у саобраћају. Саобраћајна загушења на улицама градова, на великим светским аеродромима и морским лукама, захтевају софистициране приступе планирању транспорта и управљања саобраћајем.

7. Математичко моделирање саобраћаја

Иако представљају поједностављену представу реалности, математичке моделе није једноставно створити. Поред физичких и графичких модела, у саобраћајном инжењерству најчешће се користе симболички модели (једначине, матема-

тичке формуле). Методи саобраћајног инжењерства су квантитативни методи, будући да одлуке у вези са саобраћајном инфраструктуром и операцијама имају изузетно велики утицај на висину транспортних трошкова, квалитет услуга које се пружају корисницима, поузданост система, безбедност, потрошњу енергије и животну околину.

Хенри Форд (*Henry Ford*) је својом масовном производњом аутомобила започео еру аутомобилског саобраћаја која је обележила двадесети век. Проблеми саобраћаја су били присутни у инжењерству и економији и пре појаве Хенрија Форда. Кол (Johann Georg Kohl) (1841), Пигу (Arthur Cecil Pigou) (1920), Најт (Frank Hyneman Knight) (1924) су у својим радовима изучавали проблеме саобраћајног еквилибријума на мрежама. Оснивачи модерне саобраћајне науке и математичког моделирања саобраћајних феномена су Вордроп (John Glen Wardrop) (1952) и Бекман (Martin Beckmann), Мегвајер (Bartlett McGuire) и Винстин (Christopher Winsten) (1956) који су први покушали да математички опишу основне законитости одвијања саобраћаја на мрежама. Браес (Dietrich Braess) (1968) је био први истраживач који је егзактно показао да повећање капацитета појединих грана мреже не доводи увек до бољих перформанси саобраћајне мреже.

Током последњих шест деценија развијен је већи број модела, метода и техника за управљање саобраћајем и планирање транспорта. Развијањем и тестирањем математичких модела истраживачи покушавају да пронађу неке од одговора на фундаментално питање како најбоље планирати, пројектовати и одржавати ефикасне и одрживе саобраћајне системе у оквиру градова примерених човеку.

Математички модели у саобраћајној инжењерству јесу представа реалног саобраћајног проблема. Користимо их пре свега зато што би истраживање саобраћајних проблема на мрежи у реалним условима било изузетно скупо, а често и немогуће.

8. Детерминистички и стохастички модели

Инжењери и аналитичари преводе вербалну дескрипцију реалних саобраћајних и транспортних проблема у математичку дескрипцију. Ову математичку дескрипцију називамо математичким моделом. Главне компоненте математичког модела

су променљиве, ограничења и критеријумске функције. Ограничења која се јављају у разматраном саобраћајном проблему могу да буду физичка и финансијска или могу да буду последица различитих инжењерских правила, прописа и стандарда. Транспортни трошкови, профит остварен превозом, временски губици и број заустављених возила на раскрсницама, дужина путовања, времена чекања путника на станицама, или број опслужених путника представљају неке од критеријумских функција које желимо да минимизирамо или максимизирамо.

Нека, на пример, $x_j(j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) представљају n променљивих које се јављају у разматраном проблему и нека се у проблему јавља m ограничења. У општем случају, математички модел може да буде формулисан на следећи начин:

Оптимизирати

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

при ограничењима

$$h_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

где је:

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – критеријумска функција

$h_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i$ – ограничења (физичка, финансијска, проистекла из прописа и стандарда)
 $i = 1, 2, \dots, m$

$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$ – ограничење којим се захтева ненегативност променљивих

Под оптимизацијом се подразумева минимизација или максимизација дефинисане критеријумске функције. Оптимално решење је оно допустиво решење за које дефинисана критеријумска функција достиже минимум (максимум).

Има аутора који сматрају да није лако да студенте и младе истраживаче научите математичком моделирању. Постоје уобичајене технике како, на пример, означавају променљиве или како формулишете ограничења у проблему. Мислим да су ентузијазама, таленат, унутрашње испуњење и задовољство због решене загонетке пресудни фактори који младе истраживаче доводе у чудесни свет математичког моделирања. Ја сам рано у својој каријери почео да се занимам за математичко

моделирање саобраћајних феномена. Развио сам током каријере већи број модела заснованих на линеарном, нелинеарном, динамичком и вишекритеријумском програмирању. Бавио сам се и бавим се развојем модела и софтвера за управљање процесима у ваздушном, друмском и речном саобраћају.

Већина проблема којима сам се бавио спада у класу тешких комбинаторних задатака чије је решавање изузетно сложено. Такође, изванредан број разматраних проблема карактерише више (по правилу конфликтних) критеријумских функција на основу којих је могуће решавати оптимизационе задатке. Посебно је значајна и сложена класа проблема које карактерише неизвесност у погледу вредности појединих саобраћајних параметара. Решавао сам практичне задатке са којима се сусрећу ваздухопловни превозници, аеродроми, контрола летења и друмски и речни превозници. Модели, методе и технике које сам развијао могу да допринесу управљању саобраћајним токовима у ваздушном и друмском саобраћају, омогућавају боље коришћење капацитета елемената транспортног система (градске саобраћајнице, аутопутеви, аеродроми, ваздушни путеви) и отклањање поремећаја у одвијању саобраћаја (загушења у систему контроле летења, поремећаји у одвијању ваздушног и градског саобраћаја). Развио сам већи број модела за предикцију путничких токова на транспортним мрежама, расподелу токова по алтернативним рутама, избор вида превоза, избор саобраћајног средства за мрежу линија, пројектовање редова летења и редова вожњи, распоређивање саобраћајних средстава на транспортне задатке, пројектовање рута, диспечирање саобраћајних средстава и управљање саобраћајним токовима у реалном времену.

Међу своје најзначајније радове свакако бих убројио радове у којима сам развијао моделе за отклањање поремећаја у одвијању планираних редова вожње и редова летења. Први рад у свету који се бави овом проблематиком је мој рад који сам са колегом Слободаном Губеринићем објавио пре више од три деценије¹. Рад је високо цитиран у литератури и по тврдњама појединих аутора започео је истраживања у области која се данас у свету назива управљање поремећајима (*Disruption Management*).

¹ D. Teodorović, S. Guberinić, „Optimal Dispatching Strategy on an Airline Network after a Schedule Perturbation“, *European Journal of Operational Research*, 15 (1984): 178–183.

Возачи и путници самостално доносе одлуке о дану путовања, тренутку започињања путовања, изабраној рути и изабраном виду превоза. Бројни независни фактори доводе до тога да су времена путовања између два чвора у мрежи, вредности саобраћајног тока, вредности густине саобраћаја, број путника на одређеном лету, или број позива упућених служби хитне помоћи из одређеног дела града случајне променљиве, чије вредности нису познате унапред. Пре свега због стохастичке природе саобраћаја, као и због масовности појаве, током више од шест деценија математички апарати попут теорије вероватноће, случајних процеса и теорије масовног опслуживања широко су примењивани при развоју математичких модела у саобраћају и транспорту.

Први курс Теорије вероватноће сам одслушао на Саобраћајном факултету код професора Светозара Вукадиновића. Математичар, са последипломским усавршавањем у пољској математичкој школи, ригорозан у оцењивању и захтевима, али и несебичан у давању себе слушаоцима, предавао ми је на последипломским студијама и Случајне процесе и Операциона истраживања. Постао сам доцније његов млађи колега и пријатељ и он је свакако један од људи у мом животу на које сам могао да се угледам.

Развијао сам стохастичке моделе у почетној фази своје каријере када сам се краће време бавио проблематиком теорије поузданости саобраћајних средстава. У даљем раду развио сам стохастички модел за пројектовање рута саобраћајних средстава у дистрибутивним системима у случају неизвесне потражње у чворовима мреже. Тај модел је велики број пута цитиран у светској литератури. Модели засновани на теорији вероватноће су присутни и у мојим радовима у којима се бавим одређивањем фреквенција летења, пројектовањем редова летења робусних у односу на метеоролошку ситуацију на мрежи, одређивањем броја и локације излазница на полетно-слетној стази, као и у радовима у којима се користе стохастичке технике претраживања за изналажење оптималног решења проблема комбинаторне оптимизације.

9. Модели вештачке интелигенције

Сваког дана диспечери, возачи, контролори летења, оператори, путници, инжењери и планери користе субјективно

знање, апроксимативно познате вредности и/или лингвистичке информације приликом доношења одлука. Многи стратегијски, тактички и оперативни проблеми у саобраћају, транспорту и логистици нису прецизно дефинисани и окарактерисани су недовољно јасним циљевима и ограничењима. Проблеми избора (избор вида превоза, избор руте од стране возача, доношење одлуке о промени саобраћајне траке на ауто-путу, избор путничке класе у авиону, избор једног од алтернативних праваца) представљају типичне проблеме у којима се доносилац одлуке сусреће са читавим низом саобраћајних, транспортних, економских, или еколошких параметара који су окарактерисани неизвесношћу, субјективношћу, непрецизношћу и вишезначношћу. Одлуке које се доносе најчешће нису засноване на лако препознатљивим критеријумима и прецизно утврђеним нумеричким вредностима појединих параметара. Те одлуке су углавном засноване на перцепцијама појединца који доноси одлуку. Проучавање одлука донетих на основу перцепција има изузетан значај, пре свега, због развоја будућих рачунарских програма који треба да доносе одлуке на основу перцепција у условима неизвесности, непрецизности и парцијалних истина.

У свакодневном животу постоји велики број примера када се одлуке доносе на основу перцепција. Тако, на пример, као возачи најчешће бирамо руту на основу стеченог искуства и уверења да је одређена рута *бржа*, или да је дуж *ње мања гужва*. Теорија фази скупова (Лотфи А. Заде, 1965) омогућава математичко описивање људских перцепција, рачунање исказима или речима и апроксимативно познатим величинама, као и прихватање парцијалних истина присутних у комуникацији између људи.

У класичној теорији скупова постоје веома прецизне границе које раздвајају елементе који припадају одређеном скупу од елемената ван посматраног скупа. Другим речима, веома лако може да се установи да ли одређени елемент припада или не припада скупу. Велики број скупова са којима се сусрећемо у реалности нема прецизно одређене границе које раздвајају елементе у скупу од елемената изван скупа. Фази скупови и фази логика су нашли широку примену у моделирању људског понашања, процесима доношења одлука, управљању процесима, различитим областима инжењерства и оптимизацији. На развоју модела заснованих на теорији фази

скупова и њиховој примени у саобраћајном инжењерству почео сам да радим 1989. године, заједно са америчким професором Шинијом Кикучијем (Shinya Kikuchi, 1943–2011). Школску 1989/1990. провео сам као гостујући професор на Универзитету Делавера (University of Delaware) где је директор транспортног центра био професор Кикучи. Један од наших тадашњих студената је био Парта Чакраборти (Partha Chakraborty), данас угледни светски истраживач у области саобраћаја и транспорта и професор на Индијском технолошком институту (Indian Institute of Technology). Током низа састанака у оквиру истраживачког семинара учврстили смо наше уверење да перформансе многих саобраћајних система зависе од понашања њихових корисника (возачи, путници, диспечери), као и да теорија фази скупова представља погодан математички апарат којим је делимично могуће описати људске перцепције и начин доношења одлука. Нисмо били ни свесни, почетком деведесетих година прошлог века, да смо нашим почетним радовима отворили нову авенију у моделирању класе саобраћајних проблема у којима доминантну улогу имају људи (начини избора руте у градској вожњи, начини избора вида превоза, понашање возача у саобраћајном току итд.). Наилазили смо на велико неразумевање и отпоре при првим покушајима да објавимо наше резултате у угледним светским часописима. Теорија фази скупова је веома тешко прихватана од стране стручњака за теорију вероватноће. Инжењерско окружење које се бавило решавањем практичних задатака саобраћајног инжењерства било је ригидно и потпуно неспремно за основне поставке теорије фази скупова. Упорност и добри резултати су нам помогли да постанемо једна од водећих група у области развоја и примене фази скупова и фази система у саобраћају и транспорту. Моји радови који се односе на развој модела и примену теорије фази математичког програмирања и фази логике у саобраћајном инжењерству цитирани су доцније у светској литератури преко 1.300 пута.

Сложени саобраћајни и транспортни проблеми могу успешно да буду решавани, пре свега применом различитих интелигентних система који су засновани на знању и техникама које припадају различитим научним дисциплинама. Ови интелигентни системи морају да буду у стању да препознају различите ситуације, да донесу одговарајуће одлуке и без експлицитно утврђених веза између појединих променљивих које

карактеришу транспортни систем. Нова генерација интелигентних система који се користе за планирање саобраћаја и управљање различитим саобраћајним и транспортним процесима требало би да буде у стању да врши генерализацију, да се адаптира и да учи на основу нових знања и нових информација. Савремени интелигентни системи засновани су на рачунарским техникама способним да рачунају са речима (фази логика), да уче и да се адаптирају (вештачке неуронске мреже) и да на систематски начин врше стохастичко претраживање и оптимизацију (еволуционо рачунарство, интелигенција групе). Скуп ових техника је познат под називом рачунарска интелигенција.

Технике рачунарске интелигенције могу да буду коришћене за решавање великог броја различитих саобраћајних и транспортних проблема (управљање саобраћајем на изолованим раскрсницама и дуж коридора, управљање уливним рампама, проблеми избора руте, расподела саобраћаја на мрежи, пројектовање редова возње и рута возила, диспечирање возила итд.). Посебно је значајно коришћење ових техника за решавање проблема које карактерише неизвесност (случајност, непрецизност, расплнутост) и зависност од времена (динамички проблеми, проблеми које треба решити у реалном времену).

Метод оптимизације колонијом пчела (Bee Colony Optimization – BCO) који сам развио користи се за решавање различитих инжењерских и управљачких проблема. На даљем развоју и усавршавању метода радило је заједно са мном неколико мојих студената и млађих колега. Метакхеуристика „оптимизација колонијом пчела“ (BCO) припада класи алгоритама инспирисаних природом. BCO техника је инспирисана понашањем пчела при скупљању нектара. Оптимизација колонијом пчела представља вишеагентни систем (колонију вештачких пчела) способан да решава сложене проблеме комбинаторне оптимизације. BCO техника је била коришћена за решавање сложених саобраћајних проблема који су по својој природи комбинаторни и које карактерише велика димензионалност. Коришћењем BCO технике добијају се изузетно квалитетна решења сложених инжењерских проблема за прихватљиво време рада рачунара. BCO техника је стохастичка техника претраживања која користи аналогију између начина на који пчеле у природи трагају за храном и начина на који

оптимизациони алгоритам трага за оптималним решењем проблема комбинаторне оптимизације.

Моји радови посвећени ВСО методу цитирани су у научним часописима, зборницима радова, књигама и докторским дисертацијама у свету више од 1.500 пута. Радам на развоју фази логичких система, алгоритама инспирисаних понашањем социјалних инсеката у природи и других модела заснованих на техникама рачунарске интелигенције, отворио сам нови приступ у решавању великог броја различитих проблема саобраћајног инжењерства. Оригиналност новог концепта се огледа, између осталог, и у позивима неколико светских научних часописа за припремање специјалних бројева часописа у својству госта-уредника (*Fuzzy Sets and Systems*, *International Journal of Critical Infrastructures*, *Transportation Planning and Technology* и *Transportation Research C*) и објављеној монографији *Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach*, (Kluwer Academic Publishers, 1998).

10. Саобраћај у 21. веку: мој поглед

Браћа Вилбур и Орвил Рајт (Wilbur and Orville Wright), механичари за бицикле и самоуки конструктори прве машине за летење теже од ваздуха, својим изумом су остварили сан Дедала и Икара. Њихов први лет, дужине 36 метара, трајао је само 12 секунди. Ваздушни саобраћај је рођен 17. децембра 1903. године у Северној Каролини. У 2013. години светски ваздухопловни превозници су обавили преко 30 милиона комерцијалних летова и превезли преко 3 милијарде путника. У Америци, колевци аутомобилског саобраћаја, било је 1900. године око 8.000 аутомобила, да би 1920. године укупан број аутомобила премашио 20 милиона. Летови браће Рајт и масовна производња аутомобила коју је започео Хенри Форд представљали су почетком двадесетог века саобраћајну револуцију која је променила индустријску производњу, економију, организацију градова и држава, мобилност и начин живота људи.

Развој саобраћајне технологије донео нам је истовремено читав низ негативних ефеката. Саобраћај је један од највећих потрошача енергије на планети и један од главних узрочника глобалног загревања. Велики број градова данашњице карактеришу саобраћајна загушења, дуго време путовања, велики

број саобраћајних незгода и високи нивои буке и загађења ваздуха. Теоријски резултати и практична искуства су показали да изградња нових саобраћајница не представља решење проблема смањивања нивоа саобраћајних загушења у градовима. У данашњем времену све је више присутна идеја да они градови који су током двадесетог века постали „аутомобилски градови“ треба током низа година да еволуирају у градове примерене људима.

Развој саобраћајних стратегија за управљање саобраћајном потражњом, алтернативних горива, хибридних и електричних возила, а посебно аутономних возила револуционарно мења основне концепте саобраћајног инжењерства. Аутономна возила, опремљена најсавременијим информационо-комуникационим технологијама, способна су да „опажају“ околину и самостално проналазе одговарајуће путеве кроз саобраћајну мрежу. Прва аутономна возила појавила су се осамдесетих година прошлог века у оквиру истраживачких пројеката (Carnegie Mellon University, Mercedes-Benz и Bundeswehr University Munich). Недавно је аутомобил *toyota prius*, модификован Google-овом технологијом за вожњу без возача (Google Chauffeur), добио у Невади употребну дозволу и тако постао први лиценцирани аутомобил за вожњу без возача. Истовремено су Флорида, Калифорнија, Мичиген, Ајдахо и град Вашингтон дозволили тестирање возила без возача на јавним путевима. Постоје реална очекивања да ће аутономна возила значајно да смање број саобраћајних незгода, времена путовања и просторе потребне за паркирање. Логично је очекивати у будућности велико коришћење ових возила у такси службама, специфичним врстама јавног градског превоза и робним дистрибутивним системима.

Развој аутономних возила отвара читав низ техничких, правних и етичких питања. Када се може очекивати да аутономна возила постану део свакодневнице? Да ли ће класичне семафорисане раскрснице ускоро нестати? Какве управљачке стратегије треба применити у случајевима када у саобраћајним токовима доминирају аутономна возила? Ко ће бити одговоран за евентуалне саобраћајне незгоде? У времену које долази математичко моделирање може значајно да помогне инжењерима, аналитичарима и доносиоцима одлука да пронађу делимичне одговоре на нека од ових питања, да омогући даљу промоцију концепта „зеленог саобраћаја“ и креирање урбаних окружења прилагођених људима.

