Operacijska istraživanja u Hrvatskoj i svijetu

Tomas, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Economics in Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Ekonomski fakultet u Osijeku**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:145:944362

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

EFOS REPOSITORY - Repository of the Faculty of Economics in Osijek





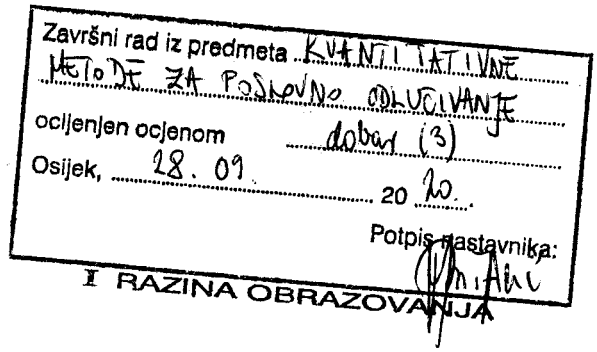


Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Ekonomski fakultet u Osijeku
Preddiplomski studij *Menadžment*

Antonio Tomas

OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ I SVIJETU

Završni rad



Osijek, 2020.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Ekonomski fakultet u Osijeku
Preddiplomski studij *Menadžment*

Antonio Tomas

OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ I SVIJETU

Završni rad

Kolegij: Kvantitativne metode za poslovno odlučivanje

JMBAG: 0010223531
e-mail: atomas@efos.hr

Mentor: izv.prof.dr.sc. Martina Briš Alić

Osijek, 2020.

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Economics in Osijek
Undergraduate Study *Managment*

Antonio Tomas

OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U SVIJETU I HRVATSKOJ

Final paper

Osijek, 2020.

IZJAVA

O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI, PRAVU PRIJENOSA INTELEKTUALNOG VLASNIŠTVA, SUGLASNOSTI ZA OBJAVU U INSTITUCIJSKIM REPOZITORIJIMA I ISTOVJETNOSTI DIGITALNE I TISKANE VERZIJE RADA

1. Kojom izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad (navesti vrstu rada: završni / diplomski / specijalistički / doktorski) rad isključivo rezultat osobnoga rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu. Potvrđujem poštivanje nepovredivosti autorstva te točno citiranje radova drugih autora i referiranje na njih.
2. Kojom izjavljujem da je Ekonomski fakultet u Osijeku, bez naknade u vremenski i teritorijalno neograničenom opsegu, nositelj svih prava intelektualnoga vlasništva u odnosu na navedeni rad pod licencom Creative Commons Imenovanje – Nekomercijalno – Dijeli pod istim uvjetima 3.0 Hrvatska. 
3. Kojom izjavljujem da sam suglasan/suglasna da se trajno pohrani i objavi moj rad u institucijskom digitalnom repozitoriju Ekonomskoga fakulteta u Osijeku, repozitoriju Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku te javno dostupnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu (u skladu s odredbama Zakona o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, NN br. 123/03, 198/03, 105/04, 174/04, 02/07, 46/07, 45/09, 63/11, 94/13, 139/13, 101/14, 60/15).
4. izjavljujem da sam autor/autorica predanog rada i da je sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti istovjetan sa dovršenom tiskanom verzijom rada predanom u svrhu obrane istog.

Ime i prezime studenta/studentice: Antonio Tomas

JMBAG: 0010223531

OIB: 00985277879

e-mail za kontakt: antonio.tomas1104@gmail.com

Naziv studija: Menadžment

Naslov rada: Operacijska istraživanja u Hrvatskoj i svijetu

Mentor/mentorica rada: izv. prof. dr. sc. Martina Briš Alić

U Osijeku, 2020. godine

Potpis _____

OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ I SVIJETU

SAŽETAK

Operacijska istraživanaja su složeno znanstveno područje koje primjenjuju matematičke modele i metode optimizacije, kako bi se znantsvenim pristupom pronašlo najbolje optimalno rješenje. Postupak operacijskih istraživanja mogao bi se svesti na sljedeće korake: postavljanje granica sustava koji se istražuje (formulacija problema), konstrukcija modela, modelsko računanje i primjena. Pomoću ovog postupka dobivamo slijed optimalnih odluka, a postupak je poznat kao Bellmanov princip. Metode koje su opisane su: linearno programiranje, nelinearno programiranje, mrežno programiranje, dinamičkog programiranje, teorije igara, teorija redova čekanja, teorija grafova, optimalno rezerviranje i problem vođenja zaliha. U današnje vrijeme sve se više koristi metoda operacijskih istraživanja zbog poboljšanja procesa u proizvodnom sektoru i u djelatnostima uslužnog sektora. Operacijska istraživanja se primjenjuju u različitim područjima kao što su: proizvodnja, transport, graditeljstvo, telekomunikacije, financijsko planiranje, zdravstvo, vojni i javni servisi. Posebno je zanimljiva njihova primjena u zemljama u razvoju te van Europe i Sjeverne Amerike koji su glavna uporišta operacijskih istraživanja. Primjenjuju se na razne načine u financijama, zdravstvu, upravljanju HIV-om, dostavljanju obroka u škole, logistici u slučaju prirodnih nepogoda, itd. U Republici Hrvatskoj operacijska istraživanja izučavaju se na sveučilištima, veleučilištima i visokim školama. Druga polovica tridesetih godina 20. stoljeća uzima se kao službeni početak operacijskih istraživanja, dok je Hrvatsko društvo operacijskih istraživanja osnovano 21. ožujka 1992. na Ekonomskom Fakultetu u Zagrebu. Svake druge godine HDOI organizira međunarodnu konferenciju.

Ključne riječi: operacijska istraživanja, optimalno rješenje, metode, linearno programiranje

OPERATIONS RESEARCH IN REPUBLIC OF CROATIA AND THE WORLD

ABSTRACT

Operations research is a complex scientific field that applies mathematical models and optimization methods, in order to find the best optimal solution with a scientific approach. The process of operational research could be reduced to the following steps: setting the boundaries of the system under investigation (problem formulation), model construction, model computation, and application. Using this procedure we obtain a sequence of optimal decisions, and the procedure is known as the Bellman principle. The methods described are: linear programming, nonlinear programming, network programming, dynamic programming, game theories, queue theory, graph theory, optimal reservation and inventory management problem. Nowadays, the method of operational research is increasingly used to improve processes in the manufacturing sector and in the activities of the service sector. Operational research is applied in various areas such as: manufacturing, transportation, construction, telecommunications, financial planning, healthcare, military and public services. Of particular interest is their application in developing countries and outside Europe and North America, which are the mainstays of operational research. They are applied in various ways in finance, health care, HIV management, delivery of meals to schools, logistics in case of natural disasters, etc. In the Republic of Croatia, operational research is studied at universities, polytechnics and colleges. The second half of the 1930s was taken as the official beginning of operational research, while the Croatian Society for Operational Research was founded on March 21, 1992 at the Faculty of Economics in Zagreb. Every other year HDOI organizes an international conference.

Key words: operations researches, optimal solution, methods, linear programming

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. POJAM OPERACIJSKIH ISTRAŽIVANJA 2
2.1. Definicija operacijskih istraživanja 2
2.2. Faze operacijskih istraživanja 5
2.3. Metode operacijskih istraživanja 6
3. OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U SVIJETU 11
3.1. Povijesni razvoj operacijskih istraživanja u svijetu 11
3.2. Sadašnja operacijska istraživanja u svijetu i njihov utjecaj 12
4. OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ 17
5. ZAKLJUČAK 21
LITERATURA 22

1. UVOD

Operacijska istraživanja (en. operations research; OR) spadaju u znanstvenu granu primijenjene matematike. Pomoću matematičkog moduliranja, algoritama, statističkih metoda i dr., operacijska istraživanja nastoje pronaći idealno rješenje problema (ili rješenje koje je što bliže idealnom). Operacijska se istraživanja u svijetu počinju razvijati prije Drugog svjetskog rata s ciljem rješavanja problema raspodjele resursa na različite vojne operacije, a sve kako bi se postigli bolji rezultati. Naziv „operacijska" upravo i potječe iz tog doba jer su se ograničeni resursi nastojali optimalno rasporediti na različite vojne operacije. Operacijska istraživanja prvo su poduzimana na području Velike Britanije, no kako se širila njihova primjena istraživanjima su se vrlo brzo počele baviti i druge zemlje. Nastaju različita društva za operacijska istraživanja, a među njima i Hrvatsko društvo za operacijska istraživanja koje je osnovano 1992. godine.

Operacijska istraživanja ne mogu se gledati kao zasebna znanost, nego se koriste znanstvenim metodama za rješavanje relevantnih problema, dakle operacijska istraživanja možemo shvatiti kao znanstvena disciplina. U „alat" operacijskih istraživanja mogu se ubrojiti: matematika, programiranje, elektronička obrada podataka, organizacija podataka, pribavljanje podataka, tehnike strukturiranja i klasificiranje, kreativne tehnike.

Znanje je potrebno na stručnom području iz ekonomije, prirodno i tehničko obrazovanje, društvene znanosti, psihologija i motivacijske znanosti. Potrebne su i društvene sposobnosti kao što su: prodornost, kontaktnost, moć uvjeravanja, sposobnost predstavljanja, kooperativnost.

U radu će biti opisan pojam i razvoj operacijskih istraživanja u Hrvatskoj i svijetu te područja operacijskih istraživanja kao što su linearno programiranje, nelinearno programiranje, mrežno programiranje, višekriterijalno programiranje, cjelobrojno programiranje, teorije grafova, teorije igara i teorija zaliha.

2. POJAM OPERACIJSKIH ISTRAŽIVANJA

2.1. Definicija operacijskih istraživanja

Kao što mu samo ime govori, operacijsko istraživanje uključuje „istraživanje operacija". Dakle, operativno istraživanje primjenjuje se na probleme koji se tiču načina provođenja i koordiniranja operacija (tj. aktivnosti) unutar organizacije. Priroda organizacije u osnovi je nevažna, a zapravo se operacijska istraživanja primjenjuju u širokom rasponu vrsta poslovanja kao što su proizvodnja, prijevoz, građevinarstvo, telekomunikacije, financijsko planiranje, zdravstvo, vojska i javne usluge, da nabrojimo samo neke. Stoga je širina primjene vrlo velika (Hiller i Lieberman, 1995).

Operaticijska istraživanja (OR) interdisciplinarna su znanstvena grana primijenjene matematike koja koristi metode poput matematičkog modeliranja, statistike i algoritama za postizanje optimalnih ili gotovo optimalnih rješenja složenih problema. Obično se bavi optimiziranjem maksimuma ili minimuma neke ciljne funkcije. Operaciona istraživanja općenito pomažu menadžmentu u postizanju ciljeva pomoću znanstvenih metoda. Neki od primarnih alata koje operativni istraživači koriste su statistika, optimizacija, teorija vjerojatnosti, teorija čekanja, teorija igara, teorija grafova, analiza odluka i simulacija (HDOI, 2020).

Tri su bitne karakteristike operacijskog istraživanja susvani pristup, uporaba interdisciplinarnih timova i primjena znanstvene metode na uvjete pod kojima se istraživanje provodi.

Sistemski pristup problemima prepoznaje da ponašanje bilo kojeg dijela sustava ima neki utjecaj na ponašanje sustava u cjelini. Iako čak i ako pojedine komponente imaju dobru izvedbu, sustav u cjelini ne mora nužno raditi jednako dobro. Na primjer, sastavljanje najboljeg od svake vrste automobilskog dijela, bez obzira na marku, ne mora nužno rezultirati dobrim automobilom ili čak onim koji će voziti, jer dijelovi možda neće odgovarati jedni drugima. Interakcija između dijelova, a ne radnje bilo kojeg pojedinog dijela, određuje koliko dobro sustav radi (Tanebaum, 2020).

Znanstvene i tehnološke discipline brzo su se širile u posljednjih 100 godina. Proliferacija, koja je rezultat ogromnog porasta znanstvenih znanja, pružila je znanosti sustav arhiviranja koji dopušta sustavnu klasifikaciju znanja. Ovaj klasifikacijski sustav koristan je u rješavanju mnogih problema utvrđivanjem odgovarajuće discipline na koju se treba pozvati za rješenje. Teškoće nastaju kada se naiđu na složenije probleme, poput onih koji nastaju u velikim

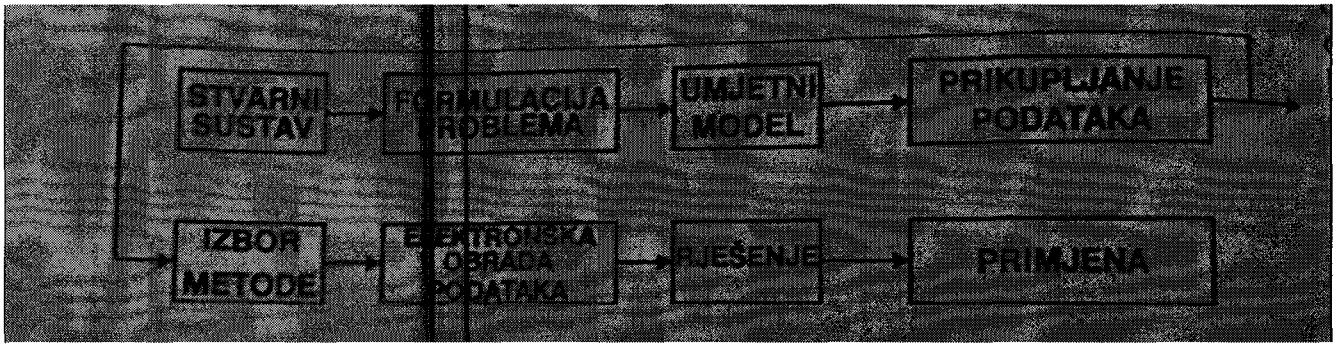
organiziranim sustavima. Tada je potrebno pronaći način za objedinjavanje različitih disciplinskih gledišta. Nadalje, budući da se metode razlikuju među disciplinama, upotreba interdisciplinarnih timova daje na raspolaganje mnogo veći arsenal istraživačkih tehnika i alata nego što bi inače bio dostupan. Stoga operacijsko istraživanje mogu karakterizirati prilično neobične kombinacije disciplina u istraživačkim timovima i upotreba različitih istraživačkih postupaka (Tanebaum, 2020).

Do 20. stoljeća laboratorijski pokusi bili su glavna i gotovo jedina metoda provođenja znanstvenih istraživanja. Ali veliki sustavi koji se proučavaju u operacijskim istraživanjima ne mogu se unijeti u laboratorije. Nadalje, čak i kad bi se sustavi mogli unijeti u laboratorij, ono što bi se naučilo ne bi se nužno odnosilo na njihovo ponašanje u njihovom prirodnom okruženju, kao što je pokazalo rano iskustvo s radarom. Eksperimenti na sustavima i podsustavima koji se provode u njihovom prirodnom okruženju („operativni eksperimenti") mogući su kao rezultat eksperimentalnih metoda koje je razvio britanski statističar R.A. Fisher 1923–24. Iz praktičnih ili čak etičkih razloga rijetko je moguće eksperimentirati na velikim organiziranim sustavima u cjelini u njihovom prirodnom okruženju. To rezultira očitom dilemom: čini se da je potrebno razumijevanje složenih sustava, ali obično se ne može provesti. Ova se poteškoća rješava uporabom modela, prikaza sustava koji se proučava (Tanebaum, 2020).

Kao što je navedeno u uvodu, operacijska istraživanje je moguće svesti na 4 koraka:

- Postavljanje granica sustava koji se istražuje (formulacija problema)
- Konstrukcija modela
- Modelsko računanje
- Primjena

Svaki od navedenih koraka predstavlja kompleks pojedinih postupaka; tako se konstrukcija modela sastoji, grubo rečeno, u matematičkom prikazu veza i odnosu između elemenata sustava i njegov okruženja, u pribavljanju podataka i njihovoj organizaciji, u „oživotvorenju" tehničkih koeficijenata, u testiranju modela u odnosu na realnost i postavljanju jednog ili više ciljeva, npr. u smislu jedne ili više funkcija cilja. (Gal, 1987.)



Slika 1: Shematski prikaz između pojedinih koraka

Izvor: Barković, 2001.

Stvarni sustav je stvarnost sama, npr. poduzeće.

Formulacija problema jedna je od najzahtjevnijih intelektualnih faza. Iz tog razloga najprije se formira tim koji se sastoji s jedne strane od predstavnika poduzeća, a s druge od specijalista (operacijskih istraživanja, statističara). Predstavnici poduzeća nastoje (verbalno) formulirati predodžbu o cilju koji bi se trebao ostvariti. Ciljanim pitanjima stručnjaci postupno dolaze do okvira stvarnog predstavljanja problema.

Model je izraz za koji mnogi znaju još od djetinjstva: dvorci od pijeska, igračke, modeli zrakoplova, lutke. Oni karakteriziraju stvarne predmete ili pojednostavljeni sustavi. Planetarij modelira jedan odsječak s neba sa svim gibanjima. Za nas su interesantni apstraktni modeli koji dolaze do izražaja pomoću matematičkog jezika. Model je idealizirani opis stvarnosti, što znači da je stvarno uzeta u obzir u o odnosu na relevantne činjenice koje se odnose na problem. Prema tome model ne odgovara stvarnom problemu, jer stvarni problem zahtijeva još jedno pitanje, koje lebdi iznad stvarnosti, koje nije njezin sastavni dio, a niti modela. Prenese li se to pitanje na model, tada nastaje formalni problem. Formalni problem jest matematički model te pitanje koje se postavlja u stvarnom problemu.

Prikupljanje i objedinjavanje podataka mukotrpan je posao u kojem se za postavljanje modela općenite formulacije različitih koeficijenata zamjenjuju konkretnim brojevima. Ti brojevi nisu odmah pripremljeni, već se u nekim slučajevima koriste statistička istraživanja, a u drugim se željeni podaci traže u bilancama itd. Pritom se ne dobiju uvijek točni podaci; podaci su skopčani s pogreškama, oni pokazuju stohastički karakter. Veliki problemi (npr. s tisućama varijabli) nastaju s organizacijom podataka (bankama podataka), kada kod dodatnih pitanja ili obnovljenog računanja treba dobiti na raspolaganje već korištene podatke.

Izbor metode zavisi od modela. Ponekad treba izraditi novu metodu za model, a u nekim slučajevima se oslanjamo na od prije poznate metode. Mogu se koristiti drugačije metode. Npr., kod postavljanog konkretnog linearnog modela za rješavanje se koristi simpleks metoda.

Elektronska obrada podataka (računalo) uključena je već kod prikupljanja podataka. Kod velikih problema ne može se bez računala. Osim velikih računala u praksi se pojavljuje i veliki broj osobnih računala, pomoću kojih se brže pronalaze idealna rješenja za različite probleme. Za mnoge od njih postoje unaprijed gotovi programski paketi specijalizirani software firmi.

Rješenje koje se ostvaruje pomoću primjene metoda i korištenjem računala je prije svega formalni odgovor na pitanje koje se postavilo preko modela. U matematičkim se modelima do njega dolazi dobro utvrđenim metodama optimalizacije. U simulacijskim ili heurističkim modelima koncept optimalnosti često nije dobro definiran, pa se tada dolazi do aproksimativnih procjena. Pored pronalaženja optimalnog rješenja provodi se i analiza osjetljivosti, posebno u slučajevima kada se parametri sustava ne mogu procijeniti precizno. U tom slučaju važno je ispitati ponašanje optimalnog rješenja u susjedstvu tih procjena. Na operacijska istraživanja kao tehniku u rješavanju problema gleda se dvojako: kako na znanost, tako i na vještinu. Aspekt znanosti leži u pružanju matematičkih metoda i algoritama za rješavanje problema odlučivanja. Vještina se odražava u svim fazama koje prethode i slijede matematičko rješenje, a u kojima dolazi do izražaja sposobnosti i kreativnosti operacijskog istraživača. Takvo prikupljanje podataka za konstrukciju modela, testiranje modela i njegovu primjenu ovisi o komunikacijskoj liniji koja je uspostavljena između operacijskog tima i izvora informacija, ali isto tako i s pojedincima koji su odgovorni za njegovu primjenu.

Zadnja faza postupka operacijskih istraživanja jest primjena rezultata modela. Taj teret leži kako na operacijskim istraživačima tako i na predstavnicima poduzeća. Oni moraju uključiti rezultate u precizne i razumljive instrukcije onima koji će administrirati i operacionalizirati sustav. Na taj će se način spriječiti previdi i pogreške koje se mogu pojaviti u sustavu. Drugim riječima, potrebno je da u fazi implementacije postoji kooperacija između operacijskih istraživača i onih koji će biti odgovorni za upravljanje i operacionaliziranje sustava.

2.2. Faze operacijskih istraživanja

Operacijska istraživanja izvode se po fazama koje imaju svoj logičan slijed jedna iza druge. Četiri su stavke uključene u faze, a to su: prikupljanje podataka za formulaciju problema, formulacija matematičkog modela, rješavanje modela i implementacija dobivenog rješenja.

Prva faza rješavanja problema je prikupljanje podataka za formulaciju problema. Potrebne podatke prikuplja tim koji je formiran od predstavnika stručnjaka i poduzeća. U ovoj fazi definira se cilj i pretpostavke na kojima se problem osniva.

Formulacijom modela opisuje se bit problema i definiranje cilja rješenja. Određeni matematički model predstavlja jasan prikaz cijelog problema, to jest prikazane su varijable s realnim značenjem, te koje ima funkciju cilja.

Implementacija dobivenog rješenja posljedna je faza rješavanja problema. U ovoj fazi stručnjaci predstavljaju donositelju odluke rješenje problema, a ukoliko donositelju odluke ne odgovara to rješenje, potrebna je kooperacija kako bi se našlo optimalno rješenje. (Jergović i sur, 2017.)

Postoji deset principa modeliranja koje su u svojoj knjizi iznijeli Ravindran, Solberg i Phillips, a ona se manje-više svode na to da nije potrebno izrađivati kompliciran model ukoliko je i jednostavan dovoljan za upotrebnu, model se nikada ne treba shvaćati suviše doslovno i ne smije se prilagođavati problem kako bi odgovarao metodi rješavanja i jedna od najbitnijih stvari je da se isti model ne koristi za rješavanje velikog broja problema.

2.3. Metode operacijskih istraživanja

Najistaknutija tehnika operacijskih istraživanja je linearno programiranje. Dizajniran je za modele s linearnim funkcijama cilja i ograničenja. Ostale tehnike uključuju cjelobrojno programiranje (u kojem varijable poprimaju cjelobrojne vrijednosti), dinamičko programiranje (u kojem se izvorni model može razgraditi na manje upravljačke podprobleme), mrežno programiranje (u kojem se problem može modelirati kao mreža) i nelinearno programiranje (u kojem su funkcije modela nelinearne). Ovo je samo nekoliko među mnogim dostupnim metodama rješavanja problema operacijskih istraživanja (Taha, 2013).

Taha (2013) navodi da je posebnost većine metoda operacijskih istraživanja jest da se rješenja uglavnom ne dobivaju u zatvorenim oblicima (poput formula). Umjesto toga, određuju ih algoritmi. Algoritam osigurava fiksna računalna pravila koja se ponavljaju na primjenu na problem, pri čemu svako ponavljanje (nazvano iteracija) pokušava rješenje približiti optimalnom. Budući da su proračuni u svakoj iteraciji obično zamorni i opsežni, u praksi je neophodno koristiti računalo za provođenje tih algoritama.

Linearno programiranje

Linearno programiranje (LP, također se naziva i linearna optimizacija) metoda je za postizanje najboljeg ishoda (poput maksimalne dobiti ili najniže cijene) u matematičkom modelu čiji su zahtjevi predstavljeni linearnim odnosima. Linearno programiranje je poseban slučaj matematičkog programiranja (poznatog i kao matematička optimizacija).

Rješavanje problema linearnim programiranjem trenutno je najvažniji dio operacijskih istraživanja. Linearno programiranje je od svih metoda matematičkog optimiranja najviše izraženo te zbog toga na tom području postoje mnoge modifikacije i metode. Na neke suvremene metode upozorava dr. Martić, dok će neki problemi specijalne strukture omogućiti da se linearno programiranje obogati novim tehnikama i poboljšanjima. (Barković, 2001).

Za rješavanje problema linearnog programiranja G. Dantzig je tokom 1947. godine razvio jednu od najvažnijih, najčuvenijih kalkulativnih metoda u novijoj matematičkog povijesti, tzv. simpleks proceduru. Pored simpleks metode poznate su još jednostavne simpleks metode – revidirana simpleks metoda, koja se primjenjuje za rješavanje većih problema elektronskim računskim strojevima. Treba imati u vidu da je linearnom programiranju prethodilo nastojanje da se ekonomska pitanja, koja bi u osnovi imala linearnu vezu između promatranih veličina, riješe matematičkim putem. Pomoću simpleks metode dolazi se do rješenja problema linearnog programiranja. Svaki, pa i manji problem sa sobom nosi teret računanja. U većim je problemima ručno računanje ogroman posao. Na sreću, postoje mnogi standardni programski paketi za računalo, pomoću kojih se rješavaju problemi linearnog programiranja simpleks metodom, a jedan od najkorištenijih programskih paketa je LINDO (Linear, Interactive and Discrete Optimizer). Postoje i mnogi drugi paketi kojima se služe velika računala i osobna računala. Iako su svi ti paketi slični, već se zadovoljavamo prikazom općenitog pregleda kako se koristi računalo u rješavanju modela linearnog programiranja. (Barković, 2001).

Cjelobrojno programiranje

Kod velikog broja problema u linearnom i nelinearnom programiranju postoji zahtjev da varijable sadržavaju cjelobrojne vrijednosti. Cjelobrojnost se javlja kod investicijskih problema kada je potrebno instalirati veći broj strojeva. Jednako se tako taj uvjet postavlja kada je potrebno neke radnike razmjestiti na odgovarajuće strojeve. Problemi montaže mogu se shvatiti kao modeli s uvjetom cjelobrojnosti u kojima postoje relacije između gotovih proizvoda, grupa

proizvoda koje treba ugraditi i pojedinačnih dijelova. Kao cjelobrojno programiranje javlja se i problem fiksnih troškova.

Mnogi modeli koji se ne mogu točno riješiti u ekonomičnom bremenu formuliraju se kao cjelobrojni modeli. To vrijedi kako za problem trgovačkog putnika, tako i za problem lokacije. Rješenja koja se dobivaju za linearni problem uz pomoć simpleks metode, sadrže općenito necjelobrojne vrijednosti varijabla. Posebnu grupu cjelobrojnog programiranja predstavljaju tzv. problemi „0-1". Ovdje mogu variajble imati samo vrijednost nula ili jedan (ovi problemi se djelomično rješavaju metodom stabla odlučivanja). Koliko god modeli cjelobrojnog programiranja mogu biti perfektni, oni ipak trpe od realne primjedbe da su inače omrznuti praktičarima. Oni se, naime, ne mogu, izuzimajući malobrojne iznimke, riješiti uz ekonomični računski napor čim premaše izvjesnu veličinu. (Müller-Merbach, 1971)

Za određivanje optimalnih cjelobrojnih rješenja linearnog programiranja razvijeni su specijalni algoritmi rješavanja. Mogli bi se podijeliti u tri grupe:

- Metode odsijecanja ravnina
- Metode stabla odlučivanja
- Heurističke metode

Nelinearno programiranje

U nekim slučajevima moguće je da se prilikom rješavanja neće moći koristiti linearna metoda rješavanja problema. U matematici je nelinearno programiranje (NLP) postupak je rješavanja problema optimizacije gdje su neka ograničenja ili ciljna funkcija nelinearna. Optimizacijski problem je problem izračuna ekstrema (maksimuma, minimuma ili stacionarnih točaka) objektivne funkcije nad skupom nepoznatih stvarnih varijabli i uvjetovan zadovoljenjem sustava jednakosti i nejednakosti, zajednički nazvanih ograničenjima. Podpolje matematičke optimizacije bavi se problemima koji nisu linearni.

Mrežno programiranje

Metode koje su danas poznate pod nazivom mrežno programiranje razvile su se 1957. godine u SAD-u. M.R. Walker i E. Kelley razvili su metodu kritičnog puta, a nešto kasnije W. Frazar postavlja u zajednici sa suradnicima Pert metodu (Project Evaluation and Review Technique). Godine 1958. u Francuskoj, B. Roy izrađuje metodu potencijala koja je kasnije postala poznata pod azivom MPM (Metra-Potential Methode).

Usporedno s praktičnom primjenom mrežnog programiranja pojavljuju se i dodatne želje. Između dužine aktivnosti i troškova koji su vezani za tu aktivnost postoji zavinost. Ako se pojam troškova shvati relativno široko, ta činjenica postaje naročito jasna: što se prije neki projekt završi, to se prije mogu uključiti radna snaga i strojevi u neki drugi projekt, koji nosi novi dobitak. Drugačije rečeno: zakašnjenje u prvom projektu povlači za sobom zakašnjeli početak drugog projekta, a posljedica toga gubitak je nekog dobitka koji je u vezi s vremenom zakašnjenja. Dobici koji su na taj način izmakli mogu se shvatiti kao troškovi, tzv. „oportuni troškovi". To, međutim, može značiti: čak ako stvarni troškovi nekog projekta apsolutno porastu zbog skraćivanja neke određene aktivnosti, poduzeće može ostvariti prednost, iako svoje produktivne snage može angažirati u novim zadacima koji osiguravaju neki dobitak (Barković, 2001).

Teorija igara

Teorija igara teorijski je okvir za koncipiranje socijalnih situacija među konkurentnim igračima. U nekim je aspektima teorija igara znanost o strategiji ili barem optimalno odlučivanje neovisnih i konkurentskih aktera u strateškom okruženju. Ključni pioniri teorije igara bili su matematičar John von Neumann i ekonomist Oskar Morgenstern 1940-ih. Mnogi smatraju matematičara Johna Nasha prvim značajnim proširenjem von Neumannovog i Morgensternovog djela.

U teoriji igara igrači donose odluke koje su međusobno ovisne. Ova međuovisnost uzrokuje da svaki igrač razmatra moguće odluke ili strategije drugog igrača u formuliranju strategije. Rješenje igre opisuje optimalne odluke igrača koji mogu imati slične, suprotstavljene ili mješovite interese i ishode koji mogu proizaći iz tih odluka.

Za primjer se može uzeti igru gdje se bira par ili nepar. U igri, istovremeno se pokazuju šake s nekoliko ispruženih prstiju. Prije toga igrači biraju hoće li biti „par" ili „nepar". Ako uzmemo za primjer da je prvi igrač „par" i ako zbroj ispruženih prstiju bude paran, tada pobjeđuje prvi igrač, a u suprotnom pobjeđuje drugi igrač „nepar". Igrači mogu pokazati od jedan do deset prstiju, ali zapravo imaju samo dvije bitno različite mogućnosti: pokazati paran broj prstiju ili pokazati neparan broj prstiju.

Teorija grafova

Teorija grafova matematička je disciplina koja se koristi u planiranju radnih organizacija. Još je od 1935. godine mađarski matematičar König pokazivao interes za taj dio matematičke topologije ispitujući strukture i svojstva grafova. Nakon dugo vremena, kreću praktične primjene. U mrežnom programiranju danas se koristi teorija grafova, koja se razvila krajem šestdesetih godina 20. stoljeća.

Teorija zaliha

Čuvanje zaliha za buduću prodaju ili upotrebu uobičajeno je u bilo kakvom poslovanju. Kako bi na vrijeme zadovoljile potražnju, tvrtke moraju imati pri ruci zalihu robe koja čeka na prodaju. Svrha teorije zaliha je utvrditi pravila koja uprava može koristiti za minimiziranje troškova povezanih s održavanjem zaliha i zadovoljavanjem potražnje kupaca. Popis se proučava kako bi se tvrtkama pomoglo uštedjeti velike količine novca. Modeli zaliha odgovaraju na pitanja: (1) Kada treba poslati narudžbu za proizvod? (2) Kolika bi trebala biti svaka narudžba? Odgovori na ova pitanja zajednički se nazivaju politikom popisa. Tvrtke štede novac formuliranjem matematičkih modela koji opisuju sustav zaliha, a zatim nastavljaju s izradom optimalne politike zaliha (Zappone, 2016).

3. OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U SVIJETU

3.1. Povijesni razvoj operacijskih istraživanja u svijetu

Počeci operacijskih istraživanja se pratiti unatrag mnogo desetljeća, kada su se rano pokušavali koristiti znanstveni pristup u upravljanju organizacijama. Međutim, početak aktivnosti nazvane operacijskim istraživanjima uglavnom se pripisuje vojnim službama početkom II. Svjetskog rata. Zbog ratnih napora, bila je hitna potreba da se oskudni resursi dodijele različitim vojnim operacijama i aktivnostima unutar svake operacije na učinkovit način. Stoga su britanski, a potom i američki vojni menadžment pozvali velik broj znanstvenika da primijene znanstveni pristup u rješavanju ovog i drugih strateških i taktičkih problema. Zapravo su od njih tražili istraživanje o (vojnim) operacijama. Ovi timovi znanstvenika bili su prvi timovi za operacijska istraživanja. Razvijanjem učinkovitih metoda korištenja novog alat, ti su timovi bili ključni za pobjedu u zračnoj bitci za Britaniju. Kroz svoja istraživanja o tome kako bolje upravljati konvojnim i protupodmorničkim operacijama, oni su također igrali veliku ulogu u pobjedi u bitci za Sjeverni Atlantik. Slični napori pomogli su Otočnoj kampanji na Tihom oceanu (Hiller i Lieberman, 1995).

Nakon završetka rata počele su se koristiti brojne metode koje je razvio taj tim operacijskih istraživača i u mirnodopskim okolnostima. Snažni impulsi, koje je doživjela poslijeratna američka privreda, pogodovali su brzom i uspješnom razvitku operacijskih istraživanja. Za matematiku su se pojavila nova područja primjene. Istovremeno napori na području računala donijeli su operacijskim istraživačima specijalistima proširene mogućnosti djelovanja (Künzi, 1982).

Godine 1951. na poznatom Case Institute of Technology u Clevelandu, Ohio, SAD osnovana je prva znanstveno-istraživačka grupa na svijetu. Prvi vođa te grupe bio je C.W. Churchman koji je zajedno s Ackoffom i Arnoffom napissao udžbenik iz operacijskih istraživanja. Godine 1956. imenovan je prvi profesor iz operacijskih istraživanja na Visokoj školi u St. Gallenu, te na institu u Münchenu. U šestdestim godinama pojavila su se u tim zemljama stručna udruženja iz operacijskih istraživaja, sedamdesetih godina operacijska istraživanja konsolidirala su se u mnogim europskim zemljama i pronašla odgovarajuće mjesto u primijenjenim istraživanjima. (Barković, 2001.)

Vidljivo je da iz povijesne perspektive se razabire da su temelji operacijskih istraživanja trasirani u ranom razvoju na polju ekonomije, statistike, matematičkog računanja i fizike. Kao relativno mlada disciplina operacijska istraživanja su tek u posljednih deset, a ponekad i pet godina uspješno provela svoje ideje na polje praktične primjene.

Izvođenje studija na području operacijskih istraživanja nastavljeno je nakon II. Svjetskog rata, a cilj izvođenja bio je postići optimalnu iskoristivost ograničenih fizičkih i ljudskih resursa kako bi se postigao željeni cilj razvoja. Operacijska istraživanja su dobila veći značaj pedesetih godina prošlog stoljeća unutar akademske zajednice pa su tako postala tema mnogih studija. Prva izdana knjiga na temu linearnog programiranja napisana je od strane Charnesa, Coopera i Hendersona, a nakon toga izdane su mnoge knjige.

Čimbenik koji je dao velik poticaj rastu operacijskih istraživanja bio je nalet računalne revolucije. Obično je potrebna velika količina računanja kako bi se najučinkovitije riješili složeni problemi koje obično uzimaju u obzir operacijska istraživanja. Raditi to ručno često ne bi dolazilo u obzir. Stoga je razvoj elektroničkih digitalnih računala, s njihovom sposobnošću izvođenja aritmetičkih izračuna, tisućama ili čak milijunima puta brže nego što to može napraviti ljudsko biće, bila ogromna blagodat za operacijska istraživanja. Daljnji poticaj uslijedio je 1980. -ih razvojem sve snažnijih osobnih računala popraćenih dobrim softverskim paketima za obavljanje operacijskih istraživanja. To je uporabu operacijskih istraživanja dovelo do sve većeg broja ljudi. Danas doslovno milijuni pojedinaca imaju spreman pristup softveru za operacijska istraživanja. Slijedom toga, čitav niz računala od desktop računala do prijenosnih računala sada se rutinski koristi za rješavanje problema operacijskih istraživanja (Hiller i Lieberman, 1995).

3.2. Sadašnja operacijska istraživanja u svijetu i njihov utjecaj

Operacijska istraživanja koriste se diljem svijeta, a za organizaciju članova postoje različite udruge. IFORS ih međusobno spaja.

Postoje:

- EURO: The Association of European Operational Research Societies
- NORAM: The Association of North American Operations Research Societies
- APORS: The Association of Asian-Pacific Operational Research Societies

- ALIO: Asociacion Latino-Ibero-Americana de Investigacion Operativa, Latin American Ibero Association on Operations Research

EURO je udruženje europskih operativnih istraživačkih društava. To je neprofitna organizacija, osnovana 1975. godine sa sjedištem u Švicarskoj. Cilj joj je promicati operativna istraživanja u cijeloj Europi. Ciljevi EURO-a su unapređenje znanja, interesa i obrazovanja u operativnim istraživanjima razmjenom informacija, održavanjem sastanaka i konferencija, objavljivanjem knjiga, radova i časopisa, dodjelom nagrada i promicanjem rane faze talentima (EURO, 2019).

APORS je Association of Asian-Pacific Operational Research Societies, odnosno udruženje azijskih operativnih istraživačkih društava. U kolovozu 1988. u Seulu, Korejsko OR društvo bilo je domaćin prve konferencije APORS-a. Prije otvaranja konferencije sazvan je sastanak vijeća APORS-a. Profesor Guang-Hui Hsu (Kina) izabran je za predsjednicu drugog mandata, Teresa Ling (Hong Kong) za potpredsjednicu, a prof. Wakayama nastavio je službu tajnika. Predloženo je da se drugi sastanak APORS-a sazove u Pekingu. Tijekom ovog mandata, društva Malezije i Filipina OR-a pridružila su se APORS-u. U kolovozu 1991. Kinesko društvo OR bilo je domaćin druge trogodišnje konferencije APORS u Pekingu. Redovite trogodišnje sastanke APORS-a bili su domaćini Japana, Australije, Singapura, Indije, Filipina ILI društava. 2009. Indija je ponovno postala društvo domaćina konferencije APORS u Jaipur Rajasthanu. U 2010. godini Malezija je bila domaćin međugodišnjeg sastanka u gradu Penang. Kina je bila domaćin 9. sastanka APORS-a u Xi'anu, a konferencija 2015. ponovno je održana u Maleziji (APORS, 2020).

S dva nova člana iranskog i nepalskog OR društva pridruženog 2008. i 2011. godine, APORS sada ima 12 članova i postao je jedno od aktivnih regionalnih udruženja u okviru. IFORS-a. Razmjena informacija i razmjena unutar APORS-a sve su jače kako bi se potaknuo razvoj OR-a njegovih članova (APORS, 2020)

Latinsko-iberoameričko udruženje za operativna istraživanja stvoreno je u Rio de Janeiru u studenom 1982. godine, povodom prvog CLAIO-a (Latinsko-američki kongres za operativna istraživanja). Od tada je razvijeno 19 CLAIO-a. Prva latinoamerička ljetna škola za operativna istraživanja održana je u Punta de Tralca, Čile, u siječnju 1994 (ALIO Online, 2020).

Operacijska istraživanja jako su dobro utjecala na poboljšanje učinkovitosti brojnih organizacija širom svijeta. U tom je procesu dao značajan doprinos povećanju produktivnosti gospodarstava različitih zemalja. Sada postoji nekoliko desetaka zemalja članica u

Međunarodnoj federaciji društava za operativno istraživanje (IFORS), pri čemu svaka zemlja ima nacionalno društvo za operacijska istraživanja. I Europa i Azija imaju saveze društava za operacijska istraživanja koja koordiniraju održavanje međunarodnih konferencija i izdavanje međunarodnih časopisa na tim kontinentima (Hiller i Lieberman, 1995).

Prema White, Smith i Currie (2011) najopsežniji pregled OR-a u Aziji pružaju Chang i Hsieh (2008). U radu se pregledavaju članci objavljeni iz Azije časopisima Operations Research and Management Science (OR / MS) od 1968. do 2006. Istraživanje ističe trendove i opseg OR-a u regiji uspoređujući rad sa SAD-om (Chang & Hsieh, 2008). Doprinos različitih zemalja / regija je sljedeći: Japan 3,7%, Tajvan 3,2%, Indija 2,3%, Hong Kong 2,2%, Južna Koreja 2,1%, Narodna Republika Kina (NRK) 1,9% i Singapur 1,2%. Postoje i druge kritike koje se posebno usredotočuju na Kinu (Bartholdi, 1986; Lasdon, 1980; Li, Wang i Xu, 2000) i Tajvan (Chen i Wei, 2002)).

Operativno istraživanje čvrsto je utemeljeno u Indiji od ranih 1950-ih. Indijsko društvo za operativno istraživanje (ORSI) bilo je prvo operativno istraživačko društvo osnovano u zemlji u razvoju. Osnovana je 1957. godine i prethodila je mnogim sličnim društvima u razvijenim zemljama. Iako u Indiji nije bilo većeg pregleda OR-a, pojedinosti o aktivnostima OR-a u Indiji pružaju brojni članci u publikaciji: „OR u Indiji: retrospektiva" (Raghuram, 1992.), posebno, Datta (1992.) , Jaiswal (1992.) i Gupta (1992.). U vezi s razvojem, zbornik radova s Međunarodne konferencije o operativnim istraživanjima (ICORD) održane u Ahmedabadu 1992. godine, objavljene 1996. godine, obuhvaćao je brojne priloge o indijskom OR-u (Rosenhead i Tripathy, 1996.) i Tripathy-jev rad predan Nagrada za razvoj IFORS-a 1993. godine istaknula je praktičnu primjenu OR-a u Indiji (Tripathy, 1993). Operativna istraživanja u Indiji također su procvjetala u industriji i korporativnom sektoru, a postoji i široka akademska zajednica. U pregledu Chang & Hsieh (2008) istaknuto je da je Indijski tehnološki institut jedna od pet najproduktivnijih institucija u odnosu na OR objavljene članke u Aziji (White, Smith i Currie).

U Južnoj Americi nije bilo opsežnog pregleda OR. Posebni pregledi nacionalnog planiranja i industrijskog razvoja mogu se naći u Sagasti (1974), Iachan (2009) i Ferrelli i sur. (1997) (prema White, Smith i Currie, 2011).

Razvoj OR-a u Africi istaknut je u pregledu pregledu Smitha (prema White, Smith i Currie, 2011), s naglaskom na područjima primjene. Također se raspravlja o izazovima OR-a u kontekstu razvojnih problema u Africi i uključuje istraživanje potencijala OR-a (i kao profesije

i prakse) u regiji. Ovaj pregled treba gledati u svjetlu EURO i IFORS inicijativa za razvoj, uključujući podršku inicijativi OR Practice for Africa (ORPA). Glavne recenzije su: (Smith, 2008; Stewart, 1995; Rand i Tsoukias, 2004; prema White, Smith i Currie, 2011)

White, Smith i Currie (2011) navode da u gospodarstvima s niskim dohotkom, veliki udjeli u BDP-u i još veći udjeli u zaposlenosti potječu iz poljoprivrede. Stoga ne čudi da je poljoprivreda pretežno područje primjene OR-a u većini zemalja u razvoju. Postoje dobro razvijeni modeli za korištenje zemljišta i razvoj usjeva, što je prioritet za mnoge zemlje u razvoju. Ostala pitanja koja su od širokog interesa za zemlje u razvoju uključuju učinkovitost proizvodnje, infrastrukturu i upravljanje zdravstvenim ustanovama. Značajno je da se mnoga takva istraživanja primjenjuju u zemljama poznatim kao zemlje u usponu ili novoindustrijalizirane ekonomije.

Obrazovanje i obroci za djecu važan su doprinos dobrobiti siromašnog područja, bilo da se pruža putem državne ili privatne potpore. Epstein i sur. (2004) opisuju upotrebu cjelobrojnih modela linearnog programiranja za poboljšanje ponude školske prehrane u Čileu. Državna agencija djece iz obitelji s niskim prihodima osigurava besplatan obrok u školi ugovorom dodijeljenim kombinatornom dražbom. Izvještavaju se o značajnim uštedama i poboljšanjima u kvaliteti. Smještajem škola u urbanim područjima zemalja u razvoju bave se Pizzolato i sur. (2004). Opisan je sustav podrške odlukama za smještaj javnih škola u urbanom području Brazila, kombinirajući lokacijsku analizu s GIS-om kako bi se pružila jednaka rješenja za probleme nedovoljne opskrbe u područjima siromaštva.

Nacionalne i međunarodne studije na makrorazini privukle su pažnju istraživača OR-a u zemljama u razvoju. Zheng i sur. (2000) proučavaju razinu dohotka kao vremenske serije kako bi stekli sliku o regionalnim nejednakostima. Kao i sur. (2008) predlažu metodologiju za usporedbu konkurentnosti nacija, ističući načine na koje zemlje u razvoju mogu poboljšati svoj položaj.

Dana Envelopment Analysis (DEA) moćan je alat za usporedbu učinkovitosti u zemljama na čija su gospodarstva teško pogođena neučinkovitošću. Sathye (2003) koristi DEA u usporedbi produktivne učinkovitosti banaka u zemlji u razvoju, odnosno u Indiji.

Posljednjih godina većina aktivnosti OR-a na zaraznim bolestima koncentrirana je na HIV. Ovo je jedno od glavnih pitanja 21. stoljeća, pa možda ovo i ne čudi. Unatoč tome, šteta je što OR nije koristio za pomoć kod nekih drugih, možda manje popularnih bolesti. Bilo je ograničenog rada na području optimalne raspodjele resursa i suzbijanja epidemija, a pronašli

smo malo rada na općim problemima raspodjele resursa u zdravstvu zemalja u razvoju, gdje su zarazne bolesti posebno važne za upravljanje zdravljem stanovništva. Razmatrao se i opći problem raspodjele resursa za HIV gdje uspoređuju raspodjelu resursa temeljenu na kapitalu s optimalnom raspodjelom. Noviji se rad bavi praktičnijom primjenom), gdje je opisan alat za potporu odlukama nazvan S4HARA (White, Smith i Currie, 2011).

2004. organizacija sa sjedištem u SAD-u INFORMS započela je inicijativu za bolje plasiranje profesije operacijskih istraživanja, uključujući web stranicu pod nazivom The Science of Better (The Science Better, 2002) koja nudi uvod u OR i primjere uspješne primjene OR-a na industrijske probleme. Ovu je inicijativu usvojilo Društvo za operativna istraživanja u Velikoj Britaniji, uključujući web mjesto pod nazivom Learn about OR.

Kako globalno okruženje postaje žestoko konkurentno, operacijska istraživanja dobila su na značaju u aplikacijama poput proizvodnih sustava svjetske klase (WCM), lean proizvodnje, upravljanja kvalitetom six sigma, benčmarkinga, jst in time sustava (JIT) i slično. Rast globalnih tržišta i rezultirajući porast konkurencije istaknuli su potrebu za operativnim istraživanjima. Da bi opstao i vodio današnje visoko konkurentno tržište i tržište usmjereno na potražnju, pritisak je na menadžment da donosi ekonomske odluke. Jedna od bitnih menadžerskih vještina je sposobnost odgovarajuće raspodjele i korištenja resursa u naporima za učinkovito postizanje optimalnih performansi. U nekim slučajevima, poput okruženja male složenosti malih razmjera, odluka koja se temelji na intuiciji s minimalnom kvantitativnom osnovom može biti razumno prihvatljiva i praktična u postizanju cilja organizacije. Međutim, za sustav velikih razmjera potrebne su i kvantitativne i kvalitativne analize (tj. intuicija, iskustvo, zdrav razum) kako bi se donijele najekonomičnije odluke (Agrawal, Subramanian, i Kapoor, 2010).

4. OPERACIJSKA ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ

Hrvatsko društvo za operacijska istraživanja (HDOI) osnovano je 21. ožujka 1992. godine na Ekonomskom fakultetu u Zagrebu. Redovno su organizirane znanstvene radionice, seminari i konferencije kako bi mladi istraživači skupilo što više iskustva. Razvoju matematičkog programiranja u Hrvatskoj posvećena je knjižnica Martić, Neralić koja je izdana povodom 30. godišnjice Seminara za programiranje i teoriju igara na Sveučilištu u Zagrebu 1966. – 1996. godine. Društvo je 1994. godine postalo član Međunarodne federacije društva za operacijska istraživanja (International Federation of Operational Research Socities, IFORS) (HDOI).

IFORS je organizacija osnovana 1959. godine, a osnivači su bila društva Francuske, Velike Britanije i SAD). Trenutno organizacija obuhvaća preko pedeset nacionalnih društava iz četiri regije: Europe, Sjeverne i Južne Amerike, te Azije. Svake tri godine organiziraju međunarodnu konferenciju iz operacijskih istraživanja. Na konferenciji održanoj 2008. godine u Sandtonu (Južna Afrika) obilježena je 50. obljetnica osnutka IFORS-a. Na toj konferenciji svim društvima članicama, uključujući i HDOI podijeljene su plakete svima, a plaketu za Republiku Hrvatsku primio je Neralić (IFORS, 2020).

Godine 2012. u ožujku povodom 20. godišnjice osnutka HDOI-a objavljen je članak Boljunčića i Neralića o HDOI u biltenu IFORS-a. Nakon što se HDOI učlanio u IFORS, postao je članom EURO-a (The Association of European Operational Research Societies) koji je osnovan 1975. godine. Članstvo u EURO značajno je doprinijelo razvoju operacijskih istraživanja u Republici Hrvatskoj. Osim što je društvo član IFORS-a i EURO-a, također je u članstvu ALIO-a (društva zemalja Latinske i Južne Amerije), APORS-a (društva azijsko-pacifičkih zemalja) i NORAM-a (društva Sjeverne Amerike, to jest društva SAD-a i Kanade). Svake druge godine HDOI organizira međunarodnu konferenciju. (Jergović i sur., 2017).

Na predavanjima međunarodne konferencije bilo je nekoliko vodećih stručnjaka iz operacijskog istraživanja u svijetu koji su održali svoja predavanja. Neki od najpoznatijih su A. Ben-Israela, G. P. H. Styana, C. A. Floudasa, H. Wolkovicza i M. Aghariana.

U Hrvatskoj postoji i znanstveni časopis koji se bavi operacijskim istraživanjima, a njegovo ime je Croatian Operational Research Review (CRORR). Svrha je objavljivanje radova s različitih aspekata operativnog istraživanja s ciljem iznošenja znanstvenih ideja koje će pridonijeti i teorijskom razvoju i praktičnoj primjeni OR-a. Opseg časopisa pokriva sljedeća područja: linearno i nelinearno programiranje, cjelobrojno programiranje, kombinatorna i

diskretna optimizacija, višeciljno programiranje, stohastički modeli i optimizacija, raspoređivanje, makroekonomija, ekonomska teorija, teorija igara, statistika i ekonometrija, marketing i analiza podataka, informacijski sustavi i sustavi za podršku odlučivanju, bankarstvo, financije, osiguranje, okoliš, energija, zdravstvo, neuronske mreže i neizraziti sustavi, teorija upravljanja, simulacija, praktična OR primjena (Hrčak, 2020).

Prvo izdanje časopisa CRORR objavilo je 2010. godine Hrvatsko društvo za operativno istraživanje. Časopis je nastao iz Zbornika radova s Međunarodne konferencije o operativnim istraživanjima koja je objavljivala odabrane radove s konferencije KOI od 1992. godine.

Od 2008. do 2013. objavljuje se jedan svezak godišnje časopis koji je sadržavao odabrane radove s konferencija KOI 2010 i KOI 2012. Počevši od 5. sveska, broj 1. (2014.), časopis izlazi dva puta godišnje, a sadrži redovita izdanja izvan konferencije KOI. Također od 2014. suizdavači časopisa su: Sveučilište u Osijeku, Ekonomski fakultet; Sveučilište u Osijeku, Odjel za matematiku; Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet i Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet (Hrčak, 2020).



Slika 3: Međunarodna konferencija iz operacijskih istraživanja u Osijeku 2016. godine
Izvor: https://radio.hrt.hr/radio-osijek/clanak/meunarodna-konferencija-iz-operacijskih-istrazivanja/128055/ (2.9.2020.)

Pregledom članaka u časopisu iz posebnog izdanja 2018., može se vidjeti da u Hrvatskoj ne izostaje širina istraživanja iz operacijskih istraživanja. Od šesnaest članaka u rada, četiri je u čast rođendana Gorana Lešaje koji pokrivaju različite probleme i metode optimizacije. Rad koji su napisali Csizmadia i sur. (2018) razmatra osnovnu kvadratnu simpleks metodu za linearno ograničene konveksne probleme kvadratnog programiranja. Članak Darvaya i Takácsa (2018)

predlaže IPM s velikim korakom u novom širokom susjedstvu središnjeg puta za. U radu Cvetković i sur. (2017) raspravljaju o nekim novim indeksima složenosti problema trgovačkog putnika (TSP). Rad Perića i sur. (2018) predlaže novu metodu koja se temelji na teoriji suradničkih igara (MP metoda) i uspoređuje njezinu učinkovitost sa STEM metodom. Postoji skupina radova s područja višekriterijske optimizacije. Jedna od čestih tema među hrvatskim istraživačima je Analiza obuhvaćanja podataka (DEA) u različitim domenama. Rad Majstorovića i sur. (2018) bavi se teorijom grafova, naime krivuljom rasta. Rad Hamedovića i sur. (2018) procjenjuje veličinu objekta na temelju bučne slike pomoću dva jednodimenzionalna parametarska modela za izgradnju intervala pouzdanosti i statističkih testova. Kramarić i sur. (2018) koriste nehijerarhijsku klaster analizu za istraživanje osiguravajućih društava u odabranim posttranzicijskim zemljama. Konačno, ovo izdanje sadrži rad koji se bavi mapiranjem seizmičkih parametara Iberijskog poluotoka pomoću geografskog informacijskog sustava (Amaro-Mellado i sur. 2018) (Zekić-Sušac, Scitovski i Lešaja, 2018).

Najnovija izdanja CRORR časopisa isto se bave širokim spektrom tema, uključujući logistiku i upravljanje opskrbnim lancima, teoriju igara, predviđanja, vektorsku optimizaciju, kvadratnu optimizaciju, redove čekanja, fuzzy logiku, repove čekanja i zalihe, itd.

Područje operacijskih istraživanja jedno je od temeljnih predmeta na hrvatskim sveučilištima desetljećima. U današnje doba naprednih računalnih tehnologija koje su sposobne obrađivati velike količine podataka, operacijska istraživanja stavljaju još privlačniji i uključeniji položaj (Zekić-Sušac, Scitovski i Lešaja, 2018).

Trenutno HDOI (2020b) navodi da se kolegiji vezani uz operacijska istraživanja mogu naći na devet fakulteta odnosno odjela. Na Sveučilištu u Osijeku, to su Ekonomski fakultet i Odjel za matematiku; na Sveučilištu u Zagrebu, to su Ekonomski fakultet i Prirodoslovno matematički fakultet, na Sveučilištu u Splitu to je Ekonomski fakultet, na Sveučilištu u Rijeci to je Odjel za informatiku i Ekonomski fakultet, na Sveučilištu u Puli to je Ekonomski fakultet, pa zatim i na Zagrebačkoj školi ekonomije i menadžmenta

Neki od naziva navedenih kolegija su Kvantitativne metode za poslovno odlučivanje, Rudarenje podataka, Algoritmi i strukture podataka, Statističke metode u istraživanju tržišta, Poslovne simulacije, Sustavi poslovne inteligencije, Matematičke metode u financijama, Oblikovanje i analiza algoritama, Umjetna inteligencija, Kombinatorika, Meta-heuristike Odlučivanje i teorija igara, Uvod u optimizaciju, Operacijska istraživanja, Primijenjena statistika, Računarska statistika, Baze podataka, Uvod u složeno pretraživanje podataka

Matematičko modeliranje pretraživača, Strojno učenje, itd. Upravo se ovdje može vidjeti interdisciplinarnost ovog područja.

Jergović i sur. analizirali su 2018. zastupljenost kolegija na visokoobrazovnim ustanovama u Republici Hrvatskoj. Navode da se broj kolegija pojavljuje se na javnim sveučilištima, na institucijama društvenih znanosti i to polja ekonomije. Najviše se uči metoda linearnog programiranja, zatim teorija igara i nešto malo ostale metode. 62% kolegija iz područja operacijskih istraživanja izučava se na diplomskim studijima, a kao obvezan kolegij njih 67%. Prosječna težinska vjerojatnost kolegija iznosi 5,4 ECTS bodova. U nastavi iz operacijskih istraživanja na visokoobrazovnim institucijama računalna podrška se tek djelomično koristi. „S obzirom tehnološka dostignuća današnjice važno je da nastavni programi prate ubrzan razvoj tehnologije što se posebno odnosi na kolegije iz područja operacijskih istraživanja kako bi studenti stečena znanja i vještine mogli primijeniti u modernom poslovnom okruženju. Analizom je uočeno da se na nekim kolegijima računalna podrška koristi u maloj mjeri, a s obzirom da živimo u svijetu modernih informacijskih tehnologija i uvažavajući činjenicu da se velik broj današnjih poslova bazira na radu na računalu i rješavanju problema korištenjem računala i računalnih programa, preporuča se uvođenje rada na računalu i korištenje računalne podrške barem djelomično.“ (Jergović i sur., 2018).

5. ZAKLJUČAK

Operacijska istraživanja (OR) je područje koje se razvija i na pravom je mjestu za rješavanje problema, to jest pomaganju donošenju što boljih odluka u poslovnom svijetu. Operacijska istraživanja je najbolje definirati kao stručnu i znanstvenu disciplinu koja se bavi pomaganjem kod donošenja odluka na bazi egzaktnih metoda. Primjenjuju se matematički modeli i metode optimazije za bolji učinak.

Godine 1795. zabilježeni su prvi počeci operacijskih istraživanja u Ujedinjenom Kraljevstvu upotrebom znanstvenih metoda u menadžerke svrhe. Kao službeni početak operacijskih istraživanja uzima se druga polovica tridesetih godina 20. stoljeća. Hrvatsko društvo za operacijska istraživanja (HDOI) osnovano je 21. ožujka 1992. godine na Ekonomskom fakultetu u Zagrebu. Društvo kasnije postaje član IFORS-a, EURO-a i ALIO-a. Svake druge godine organizira se međunarodna konferencija.

Zadatak operacijskog istraživanja kao djelatnost je definiranje uvjeta pod kojima se operacija izvodi, objašnjavanje zbivanje, te predviđanje mogućih rezultata.

Metode operacijskog istraživanja su: linearno programiranje, nelinearno programiranje, mrežno programiranje, cjelobrojno programiranje, teorija igara, teorija redova čekanja, problemi zalihama itd.

Postoje faze rješavanja problema, a prva od njih je prikupljanje podataka za formulaciju problema gdje opisuje bit problema i definiranje cilja. Implementacija dobivenog rješenja posljednja je faza rješavanja procesa gdje je potrebna kooperacija između donositelja odluke i stručnjaka.

Operacijska istraživanja najveću primjenu imaju u ekonomiji, inženjerstvu i vojnim znanostima. Operacijska istraživanja se primjenjuju i u različitim područjima kao što su: proizvodnja, transport, graditeljstvo, telekomunikacije, financijsko planiranje, zdravstvo, vojni i javni servisi. Posebnu važnost imaju u zemljama u razvoju gdje mogu pomoći u pribavljanju hrane, obrazovanju, vremenskim nepogodama, upravljanju HIV-om, i slično.

LITERATURA

1. Agrawal, S., Subramanian, K. R., & Kapoor, S. (2010). Operations research-contemporary role in managerial decision making. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, *3*(2), 200-208.
2. Barković, D. (2001) *Operacijska istraživanja*. Osijek: Ekonomski Fakultet Osijek
3. ALIO Online (2020). Historia. Dostupno na: http://www.alio-online.org/subpagina/6/Quienes%20Somos/Historia (pristup: 23.9.2020)
4. APORS (2020). History. http://apors.org/history/ (pristup: 23.9.2020)
5. Epstein, R., Henríquez, L., Catalán, J., Weintraub, G. Y., Martínez, C., & Espejo, F. (2004). A combinatorial auction improves school meals in Chile: a case of OR in developing countries. *International Transactions in Operational Research*, *11*(6), 593-612.
6. EURO (2019). EURO30 REPORT. Dostupno na: https://www.euro-online.org/media_site/reports/EURO30_Report.pdf (pristup: 23.9.2020)
7. HDOI. Što je HDOI. Dostupno na: https://hdoi.hr/about-us/sto-je-hdoi/ (pristup: 23.9.2020)
8. Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (1995). Introduction to operations research. McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics.
9. Hrčak (2020). About The Journal Dostupno na: https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/crorr/about (pristup: 23.9.2020)
10. IFORS (2020). History. Dostupno na: https://www.ifors.org/history/ (pristup: 23.9.2020)
11. Jergović, M., Devčić, K., & Beljo, I. (2017). Zastupljenost kolegija iz područja operacijskih istraživanja u visokoobrazovnim institucijama Republike Hrvatske. *Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku*, (3-4/2017), 145-155.
12. Kao, C., Wu, W.-Y., Hsieh, W.-J., Wang, T.-Y., Lin, C., Chen, L.-H., 2008. Measuring the national competitiveness of Southeast Asian countries. European Journal of Operational Research, 187, 613-628.
13. Künzi, H.P. (1982). Operations Research Today — Review and Outlook. Mathematical Methods of Operations Research , 26 (1), B217-B228

14. Müller-Merbach, H. (1971). Operations Research: Methods and models of optimal planning. Taha, H. A. (2013). Operations research: an introduction. Pearson Education India.

15. Pizzolato, N. D., Barcelos, F. B., & Nogueira Lorena, L. A. (2004). School location methodology in urban areas of developing countries. *International Transactions in Operational Research*, *11*(6), 667-681.

16. Sathye, M. (2003). Efficiency of banks in a developing economy: The case of India. *European journal of operational research*, *148*(3), 662-671.

17. Tanebaum, M. (2020). Operations Research. Dostupno na: https://www.britannica.com/topic/operations-research (pristup: 23.9.2020)

18. The Science Better (2020). http://www.scienceofbetter.org/(pristup: 23.9.2020)

19. White, L., Smith, H., & Currie, C. (2011). OR in developing countries: A review. *European Journal of Operational Research*, *208*(1), 1-11.

20. Zappone, J. A. I. M. E. (2006). Inventory theory. Dostupno na: https://www.whitman.edu/documents/Academics/Mathematics/zapponj2.pdf (pristup: 23.9.2020)

21. Zheng, F., Xu, L.D., Tang, B., 2000. Forecasting regional income inequality in China. European Journal of Operational Research, 124, 243-254.

22. Zekić-Sušac, M., Scitovski, R., & Lešaja, G. (2018). CEJOR special issue of croatian operational research society.