

Uporaba metod operacijskih raziskav pri načrtovanju kmetijske proizvodnje

Jaka Žgajnar, Emil Erjavec, Stane Kavčič, Lidija Zadnik Stirn
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana
jaka.zgajnar@bf.uni-lj.si, emil.erjavec@bf.uni-lj.si, stane.kavcic@bf.uni-lj.si, lidija.zadnik@bf.uni-lj.si

Izvleček

V prispevku izpostavljamo kmetijstvo kot področje z izjemno kompleksnimi obratoslovnimi problemi. Podajamo pregled najpogostejše uporabljene metode matematičnega programiranja za reševanje alokacijskih problemov upoštevajoč tveganje. Predstavljamo izvirni pristop povezovanja različnih metod, s katerimi lahko podpremo kratkoročno operativno-taktično načrtovanje proizvodnje. Predlagani modelni pristop omogoča analizo dogajanja na hipotetičnem ali realnem kmetijskem gospodarstvu in modeliranje kompleksnih agrotehničnih, okoljskih in ekonomskih razmer. Z njegovo uporabo lahko v danih razmerah z različnih zornih kotov ovrednotimo razvojno perspektivnost kmetijskih gospodarstev in pokažemo na možnosti povečanja dodane vrednosti v kmetijstvu. Aplikacija modela je v prispevku prikazana na primeru kmetije, usmerjene v prirejo mleka.

Ključne besede: modeli za podporo odločanju, optimiranje, matematično programiranje, kmetijsko obratoslovje.

Abstract

The Application of Operation Research Methods in Agricultural Production Planning

In this paper agriculture as a sector with extremely complex management problems is presented. Most frequently applied mathematical programming methods for resource allocation considering risk are being presented. The paper illustrates innovative approach of linking different methods enabling support for short-term operative-tactical production planning. The proposed approach enables the analysis of hypothetical or real agricultural holding. It takes into account complex agro-technical, environmental and economic circumstances. The application of the developed model enables one to evaluate farmers' development perspectives from different points of view, indicating possibilities for increasing added value in farming. The model application has been illustrated in the case of a dairy farm.

Key words: decision support models, optimization, mathematical programming, farm management.

1 UVOD

Analizo procesov in sam postopek odločanja na mikro- (kmetijska gospodarstva), mezo- (raven regionalnega svetovanja) in tudi makroravni (nosilci odločanja v kmetijski politiki) je mogoče podpreti z razvojem primernih orodij. Ta morajo omogočiti modeliranje kompleksnih agrotehničnih, okoljskih in ekonomskih razmer ter zadostiti merilom formalne optimizacije, ki gospodarskim subjektom v danih razmerah z različnih vidikov ovrednoti njihovo razvojno perspektivnost. Za kmetijstvo je namreč tako kot za druge gospodarske sektorje značilno dinamično okolje, v katerem prihaja do prepletanja najrazličnejših odločitev na operativni, taktični in strateški ravni.

Pri načrtovanju gospodarjenja na posamezni kmetiji gre dejansko za temeljni alokacijski problem razvrščanja in razporejanja proizvodnih virov. Te želimo med izbrane aktivnosti razporediti tako, da dosežemo najvišjo (npr. dohodek) oz. najnižjo (npr. stroški) vrednost ciljne funkcije.

Deregulacija trgov, rastoče okoljske in druge družbene zahteve ter posledice podnebnih sprememb vodijo v vedno večja proizvodna, cenovna in dohodkovna nihanja, s tem tudi v tveganja, ki kmetijstvo v marsičem razlikujejo od drugih gospodarskih sektorjev (Aimin, 2010). Za kmetijska gospodarstva je tudi značilno, da so odločitve o izbiri aktivnosti sprejete veliko prej, kot so poznane tržne cene proizvodov, kar je pri liberaliziranih kmetijskih trgih še toliko bolj očitno in pomembno. Gre za izrazito izpostavljenost cenovno-tržnim silnicam, ki nastopijo pri nepredvidljivem obnašanju trgov (Huirne, Meuwissen in van Asseldonk, 2007). Nenehno spreminjanje cen pridelkov, razmer za pridelavo in drugih dejavnikov se odraža v nestabilnosti kmetijskih dohodkov in spreminjanju blaginje kmečkega prebivalstva (Harwood, Heifner, Coble, Perry in Somwaru, 1999),

zagotavljanje stabilnega dohodka pa ostaja vsakdanji problem nosilcev odločanja v kmetijski proizvodnji. Kmetijska gospodarstva so zato prisiljena v temeljitejše obvladovanje tveganj in učinkovitejše ter večplastno načrtovanje gospodarjenja. To vključuje poleg iskanja alternativ in boljšega izkoriščanja obstoječih možnosti tudi povečevanja dodane vrednosti primarne pridelave in predelave.

Pri modeliranju v kmetijstvu je treba upoštevati dejstvo, da je praviloma težko pridobiti kakovostne primarne podatke, ki bi omogočali analizo konkretnega kmetijskega gospodarstva. Zato pri analizah navadno temeljimo na sekundarnem viru podatkov in standardiziranih izračunih, kot so modelne kalkulacije, ki jih v Sloveniji sistematično pripravlja Kmetijski inštitut Slovenije (Rednak, 1998). Vhodni podatki za analize so zato največkrat neke povprečne vrednosti, ki veljajo za določen tip kmetijskega gospodarstva ali tehnologije proizvodnje.

Pri večini raziskav s področja modeliranja kmetijskih obratoslovnih problemov pričakovane vrednosti pokritij ali dohodkov temeljijo na majhnem številu (deset ali celo manj) opazovanj, ki tvorijo matriko možnih stanj (Lien, Hardaker, van Asseldonk in Richardson, 2009). Potrebni podatki za daljše časovno obdobje največkrat niso dostopni. Če pa so, je njihova pomembnost manjša, saj se navadno v daljšem časovnem obdobju pogoji precej spremenijo (Lien in sod., 2009).

Zasledimo lahko različne pristope, s katerimi lahko izboljšamo in dopolnimo vrednost informacij kratkih časovnih serij podatkov. Najpogostejše je uporabljen postopek pretvorbe nominalnih cen v realne cene s pomočjo deflatorjev. Kadar gre npr. za spremembo tehnologije, genetski napredek in posledično spremembe pridelka, lahko uporabimo »postopek de-trend«, ki ga podrobno opisujejo Hardaker, Huirne, Anderson in Lien (2007). Ker pa obstajajo med kmetijskimi gospodarstvi pomembne razlike, lahko splošne statistične podatke preoblikujemo in obogatimo z informacijami za konkretno kmetijsko gospodarstvo (npr. ali dosega nadpovprečen ali podpovprečen pridelek). Hardaker in sod. (2007) opisujejo tudi metodo sintetiziranja podatkov, ki se najpogostejše uporablja pri analizah tveganja. Uspešno je bila uporabljena v številnih raziskavah (Lien in sod., 2009; Flaten in Lien, 2007; Lien in Hardaker, 2001). Njena značilnost je, da na podlagi mnenj strokovnjakov pridobimo ocene pričakovanih

vrednosti, ki naj bi jih pri posameznih aktivnostih dosegali v prihodnje.

Zaradi izpostavljene specifičnosti kmetijstva – zlasti z vidika dostopnosti kakovostnih primarnih podatkov – so se za primerne v tem sektorju izkazale metode s področja operacijskih raziskav, zlasti metode matematičnega programiranja. Pri tem pristopu potrebujemo ocene posameznih tehnoloških koeficientov, časovne serije pa uporabimo le za čim boljšo oceno povprečnih oz. pričakovanih vrednosti koeficientov.

Poleg optimizacijskih metod za podporo pri sprejemanju odločitev lahko uporabimo tudi pristop simulacijskega modeliranja. Pri tem je ključno povezovanje proizvodnih, finančnih in informacijskih tokov v integriran sistem (Pažek, Rozman, Bavec, Borec in Bavec, 2010). Nekateri avtorji so rezultate simulacijskih modelov povezali tudi z večkriterijsko analizo (npr. Zekri in Boughanmi, 2007; Pažek in sod., 2010) in tako prišli do teoretične rešitve. V prispevku se bomo omejili na uporabo metod matematičnega programiranja, ki temeljijo na optimizacijskem potencialu in so lahko neposredno uporabne za analizo odločanja na ravni kmetijskih gospodarstev.

V nadaljevanju prispevka na kratko predstavljamo ključne metode matematičnega programiranja s področja operacijskih raziskav, ki so uporabljene v predstavljenem orodju. Začnemo s klasičnim linearnim programiranjem in nadaljujemo z utemeljevanjem nujnosti večkriterijskega pristopa pri obravnavanju obratoslovnih problemov v kmetijstvu. Podrobneje predstavljamo ciljno programiranje kot eno izmed pogostejše uporabljenih metod. Nadaljujemo z modeliranjem tveganja v kontekstu pričakovanih vrednosti in varianc. Temu sledi kratka predstavitev razvitega elektronskega orodja in opis kmetijskega gospodarstva, na katerem je predstavljeno delovanje orodja. Kratki predstavitvi rezultatov sledi razprava o matematičnem modeliranju pri reševanju obratoslovnih problemov.

2 METODE MATEMATIČNEGA PROGRAMIRANJA ZA PODORO PRI ODLOČANJU

Operacijske raziskave in matematično programiranje so postali pomembno in široko uporabljeno orodje za analize v kmetijstvu in ekonomiki (Buysse, Huylenbroeck in Lauwers, 2007). Gre za pristop, ki zelo dobro združi neoklasično proizvodno teorijo z modeliranjem. Romero in Rehman (2003) poudarjata, da je vsem matematičnim metodam skupna teoretična

predpostavka, da mora dobljena optimalna rešitev zadostiti vsem omejitvam analiziranega problema ob hkratnem upoštevanju namenske funkcije, ki vključuje preference kmeta. Na podlagi klasične ekonomske teorije je to maksimiranje dobička, doseženega z maksimiranjem ene ciljne funkcije.

Najpreprostejša oblika matematičnega programiranja, za katero je nedvomno razvitih tudi največ reševalnih algoritmov, je klasično deterministično linearno programiranje (KDLP) (Hardaker in sod., 2007). Ključna predpostavka tega je, da so vsi odnosi linearne narave. Nedvomno lahko številne probleme povsem upravičeno poenostavimo prav s postopkom linearizacije. Hardaker in sod. (2007) ugotavljajo, da so dobljene rešitve poenostavljenih problemov lahko povsem zadovoljive, ob tem pa Ziolkowska (2009) izpostavlja predvsem enostavnost in preglednost modeliranja z linearnim programom. Ključni moment za presojo je seveda namen analize oz. orodja za podporo pri odločanju.

2.1 Enokriterijski ali večkriterijski pristop

Nekateri avtorji opozarjajo na potencialne nevarnosti enokriterijskega obravnavanja obratoslovnih problemov. Gomez-Limon, Arriaza in Riesgo (2003) opozarjajo, da v veliko primerih optimiranje samo na podlagi enega cilja lahko pomeni preveliko poenostavitev in s tem odstopanje od stvarnosti. Dejstvo je, da je odločanje in s tem tudi optimiranje kmetijske proizvodnje večkriterijski postopek, ki zasleduje celo vrsto ciljev različnih preferenc. V praksi najdemo številne potencialne cilje, ki se jim z rešitvijo želimo čim bolj približati. Nanašajo se lahko npr. na zagotavljanje stabilnega dohodka, zaposlovanje lastne delovne sile, minimiranje najetih strojnih storitev, doseganje konkurenčnosti, preprečevanje zaraščanja – izkoriščanje njivskih in travnih površin, maksimiranje donosnosti investicije,¹ minimiranje najetega kapitala, poslovanje pri čim manjšem tveganju, čim manjše obremenjevanje okolja idr. Iz tega izhaja tudi eden izmed glavnih očitkov klasičnemu determinističnemu linearnemu programiranju, ki pri iskanju optimalne rešitve upošteva samo en cilj (navadno maksimalen dohodek) kot edino merilo (Rehman in Romero, 1984; Rehman in Romero, 1987; Lara, 1993). V primeru maksimiranja dohodka ali pokritja to pomeni,

da se preveč zanašamo le na ozko ekonomski vidik, s tem pa spregledamo katerega izmed pomembnih dejavnikov (npr. okoljskih).

Kritiki klasičnega determinističnega linearnega programiranja izpostavljajo tudi problem togosti omejitev, pri katerih ni dovoljeno nikakršno odstopanje (Rehman in Romero, 1984). Nedvomno drži, da je dovolj dobra rešitev boljša od optimalne, a hkrati nerealne (Ignizio in Romero, 2003). Pogosto se tudi zgodi, da kompleksno linearno programiranje vsebuje omejitve, ki sočasno ne morejo biti izpolnjene in posledično sistem enačb nima možne rešitve.

Vse pomembnejša dejavnika pri načrtovanju in vodenju kmetijskih gospodarstev sta tudi okolje in varovanje okolja. Metode večkriterijskega programiranja so pogosto aplicirane prav na interdisciplinarnih področjih, ki povezujejo ekonomiko in varstvo okolja (Zekri in Boughanmi, 2007). Poleg klasičnega maksimiranja dohodka in drugih ekonomskih kazalnikov se pojavljajo tudi primeri minimiziranja erozije, uporabe fitofarmaceutskih sredstev, podtalnice, mineralnih hranil idr.

Romero in Rehman (2003) navajata, da sta bila Wheeler in Russell v drugi polovici sedemdesetih let prejšnjega stoletja prva, ki sta pri načrtovanju proizvodnje na ravni kmetijskega gospodarstva upoštevala večje število nasprotujočih si ciljev. V literaturi zasledimo veliko različnih metod, ki temeljijo na različnih tehnikah in iščejo kompromisne rešitve. V grobem jih lahko razdelimo na kvantitativne in kvalitativne metode. Za probleme načrtovanja proizvodnje, katere obravnavamo v tem prispevku, so primernejše kvantitativne metode, ki temeljijo na principu matematičnega programiranja z omejeno optimizacijo. Med njimi je ciljno programiranje (angl. goal programming – GP) nedvomno ključni pristop (Azmin in Tamiz, 2010). Gre za metodo, ki je bila in je še vedno najpogostejše uporabljena tehnika na področju večkriterijskega programiranja.

2.2 Ciljno programiranje

V letu 1955 sta ciljno programiranje razvila Charnes in Cooper in ga sprva poimenovala omejena regresija in šele šest let pozneje ciljni program (Jones in Tamiz, 2010). Metoda je svoj razmah doživela v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, kar Jones in Tamiz (2010) ter Martel in Aouni (1990) pripisujejo zlasti dejstvu, da gre za posebno, posplošeno obliko linearnega programiranja, katere osnovna filozofija je zelo jasna.

¹ Denimo prek maksimiranja kazalnikov, kot sta interna stopnja donosa (ISD) in neto sedanja vrednost (NSV) predlaganega projekta.

Tudi Steur in Na (2003), Aouni in Kettani (2001) ter Martel in Aouni (1998) popularnost pristopa pripisujejo dejstvu, da gre za izpeljanko linearnega programiranja in dostopnosti učinkovitih algoritmov za njegovo reševanje.

Ciljno programiranje velja za posebno obliko kompromisne metode reševanja večkriterijskih problemov, ki predpostavlja, da odločevalec (angl. decision maker – DM) pozna ciljne vrednosti in da lahko določi njihov relativen pomen (Liu, 2008). Martel in Aouni (1998) poudarjata, da ciljno programiranje omogoča upravljavcu ob hkratnem upoštevanju večjega števila ciljev iz množice možnih rešitev izbrati tisto, ki po vseh dosega najboljše vrednosti.

Odstopanje od ciljev omogočimo z dodatnimi spremenljivkami, ki jih opredelimo za vsak cilj posebej bodisi v pozitivno ali negativno smer. Dovoljena odstopanja prek deviacijskih spremenljivk naredijo model bolj prilagodljiv, s čimer razširimo polje možnih rešitev. Če je odstopanje določenega cilja kaznovano, pripišemo kazenskim koeficientom neničelne vrednosti, odstopanja pa so lahko dovoljena v obe strani ali pa samo v eno. Dobljeni rezultat pomeni kompromisno rešitev med običajno nasprotujočimi si cilji.

Doseganje ciljnih vrednosti tako pri reševanju ciljnega programiranja postane ključna strategija (Azmi in Tamiz, 2010). Ta predpostavlja, da odločevalec želi minimizirati razliko med doseženimi in definiranimi ciljnim vrednostmi. Pri teh modelih tako ne gre več za optimizacijo v osnovnem pomenu besede, saj ne obstoji nobena odločitev oz. rešitev, ki je najboljša po vsakem izmed vseh meril (Čančer, 2003). Pri reševanju problemov iz dejanskega sveta so namreč nasprotujoči si cilji dosegljivi le na račun »žrtvovanja« drugih ciljev – s tem pa je izpolnjen pogoj za doseg optimalne rešitve (Liu, 2008).

Za razliko od ciljne funkcije konvencionalnih metod (npr. linearno programiranje) namenska funkcija meri stopnjo »nedoseganja« zastavljenih ciljev in je ključni element ciljnega programiranja. Način merjenja odstopanj definira različico ciljnega programiranja. Pri vseh pa namenska funkcija teži k minimizirani stopnji neželenih odstopanj deviacijskih spremenljivk (Romero, 2004). Od analiziranega problema in filozofije večkriterijskega pristopa odločanja je odvisno, katera oblika je najbolj primerna. Dobljeni rezultati se namreč med različnimi namenski funkcijami pomembno razlikujejo (Romero, 2004).

Pri analizi obratoslovnih problemov, pri katerih vstopajo najrazličnejši kriteriji različnih prioritet, se *tehtano* ciljno programiranje (angl. Weighted Goal Programming – WGP) izkaže kot ustrezen pristop. Zasnovano je na principu Arhimedove ciljne funkcije, ki minimizira vsoto tehtanih odstopanj od posameznih ciljev. Konsenz je tako dosežen z minimiziranjem tehtane vsote nesoglasij (Gonzalez-Pachon in Romero, 1999).

2.3 Modeliranje tveganja

Poleg vse večje potrebe po večkriterijskem obravnavanju odločanja na ravni kmetijskih gospodarstev kot posledice povečane muldisciplinarne vpetosti kmetijstva v druga področja družbenega interesa in tudi same narave dela v kmetijstvu so pri odločanju na tem področju in posledično v raziskavah odločanja vse bolj prisotni tudi tveganje, negotovost in upravljanje s tveganji.

Hardaker in sod. (2007) poudarjajo, da tveganja pri analizah odločanja na kmetijskih gospodarstvih ne smemo zanemariti, saj nosilci odločanja v kmetijstvu niso naklonjeni tveganju in ga poskušajo zmanjševati s svojimi odločitvami. Na ravni kmetijskega gospodarstva se tveganje odraža na pričakovanem dohodku in posledično vpliva na kmetovo odločitev pri formuliranju proizvodnega načrta (Martins in Marques, 2007).

Matematično programiranje (angl. Mathematical Programming – MP), ki temelji na moderni portfeljski teoriji, je eno najbolj pogostih načinov analize odločanja v razmerah tveganja (Romero, 2000). Obravnavanje načrtovanja proizvodnje kot portfeljski problem namreč omogoča tehtanje med možnimi aktivnostmi, ki prispevajo zaščito in hkrati priložnost zaradi številnih nepredvidenih izdatkov (Kobzar, 2006). Gre za metodo, ki uporablja matematični koncept variance (kot merilo razpršenosti) za ovrednotenje tveganja pod pogojem, da so dohodki normalno porazdeljeni. Kobzar (2006) ugotavlja, da so mnenja poznavalcev o pogoju normalne porazdelitve še vedno deljena. Ob tem pa Hardeker in sod. (2007) poudarjajo, da na osnovi centralnega limitnega izreka lahko predpostavimo približno normalno porazdelitev. Skupni dohodek namreč predstavlja vsoto večjega števila naključnih spremenljivk (kombinacije različnih aktivnosti).

Če drži izhodišče normalne porazdelitve, lahko predpostavljamo, da se odločevalec odloča le na pod-

lagi pričakovanih vrednosti (povprečna vrednost) in variance (oz. standardne deviacije) kot mere tveganja. Pri svojih odločitvah tako odločevalec ne upošteva drugih značilnosti porazdelitve pričakovanih vrednosti (dohodkov), kot sta stopnja *asimetričnosti porazdelitve* (angl. skewness) in *stopnja sploščenosti* (angl. kurtosis). Modeliranje proizvodnega tveganja na ravni kmetijskega gospodarstva temelji na problemu maksimiranja pričakovane koristnosti. Namesto te pa lahko uporabimo splošnejšo obliko funkcije – model pričakovanih vrednosti in variance (angl. Expected value, Variance model – model E,V) (Escalante in Reyes, 2008). Model temelji na stohastični proizvodni funkciji in oceni verjetnih porazdelitev pridelkov in cen (Rasmussen, 2004). Osnovno idejo je razvil Markowitz v petdesetih letih prejšnjega stoletja. Pionirsko delo na področju vključevanja tveganja v reševanje kmetijskih problemov pa je le štiri leta kasneje opravil Freund (Romero, 2000). Kljub temu da so agrarni ekonomisti model pričakovanih vrednosti in variance večkrat označili kot pomanjkljiv, pa Gomez-Limon in sod. (2003) navajajo nekaj del, ki opravičujejo njegovo uporabo. Osnovna ideja je neposredna povezava med pričakovanimi vrednostmi in tveganjem, kar pomeni, da moramo za boljši finančni rezultat prevzeti tudi večje tveganje in obratno.

2.4 Modeliranje in elektronska orodja

Matematično modeliranje je bilo v preteklosti prepuščeno predvsem informatikom in programerjem, zato so bili stroški razvoja programov v primerjavi z njihovo uporabnostjo zelo visoki, saj praviloma niso vključevali menedžerjev oz. upravljalcev, ki bolje poznajo problem in relacije znotraj določenega problema (Powell in Baker, 2010). Zaradi visokih stroškov programiranja številne rešitve, razvite v preteklosti v znanstvenoraziskovalnih krogih, tudi nikoli niso zaživele. Nedvomno pa tudi kmetijstvo zaradi svoje posebnosti poslovanja in večinoma konservativne narave gospodarjev ni bilo pretirano naklonjeno potencialno zanimivim rešitvam (kmetijstvo ni povpraševalo po njih). Poleg neugodne starostne strukture in nizke stopnje izobrazbe je ključni razlog v informacijski pismenosti in dejstvu, da dosežena ekonomika proizvodnje ni dovoljevala investiranja v podporna orodja.

V prispevku predstavljamo primer orodja, ki je zasnovano v obliki elektronskih preglednic. Ima številne prednosti, saj pri večini modelov lahko shajamo

s povsem osnovno matematično algebro (vključno s kvadratnimi, eksponentnimi in logaritemskimi funkcijami), osnovno logiko (izraženo s pogojnimi (angl. IF) stavki ali MAX funkcijo) in osnovnimi zakoničnostmi verjetnosti. S tem zajamemo tudi modeliranje s predstavljenimi metodami matematičnega programiranja. Iz pregleda literature izhaja, da raziskovalci na kmetijskem področju razvijajo tudi »preproste« modele v obliki elektronskih preglednic, ki so jim v pomoč pri analizah (Winston, 2002; Buongiorno in Gilles, 2010; Powell in Baker, 2010; Žgajnar, 2011). Pri sprejemanju odločitev pa so lahko v pomoč tudi spretnejšim in računalniško pismenim kmetom.

3 MODEL IN NJEGOVA APLIKACIJA

V prispevku predstavljamo elektronsko orodje za večkriterijsko analizo odločanja na ravni kmetijskega gospodarstva, ki je podprto z različnimi modeli s področja operacijskih raziskav,² ki izkoriščajo optimizacijski potencial matematičnega programiranja. Vodilo pri pripravi orodja in izboru metod je bilo omogočiti analizo hipotetičnega ali konkretnega kmetijskega gospodarstva brez neposrednega vključevanja kmetijskega gospodarja v postopek reševanja. Takšen pristop omogoča potencialnim uporabnikom (nosilcem odločanja v kmetijski politiki, svetovalcem, raziskovalcem) proučevanje sprememb na določenih tipih kmetijskih gospodarstev brez njihovega podrobnejšega poznavanja in natančnih podatkov posameznega kmetijskega gospodarstva.

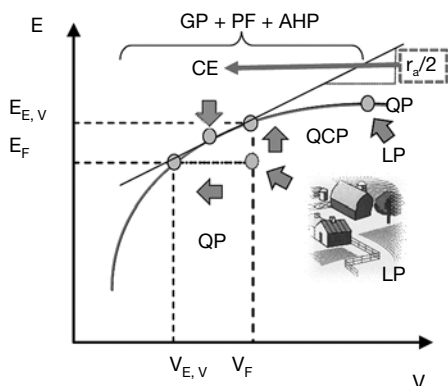
Namen predstavljenega orodja ni v tem, da bi uporabnik dobil v celoti eksaktno informacijo, ampak v osvetlitvi možnih alternativ na konkretnem gospodarstvu oz. tipu gospodarstva. Tako ima ambicijo nakazati smer njegovega razvoja oz. profesionalizacije.

Vsi modeli predpostavljajo optimizacijo na ravni celotnega kmetijskega gospodarstva v obdobju enega leta. Odločitve so sprejete na začetku posameznega leta. Predvidena ni nobena večja investicija, ampak le aktivnosti, povezane z operativnimi in taktičnimi odločitvami.

Z vsakim izmed modelov razrešujemo določeno problematiko, obravnavano pri analiziranju odločanja. Osnovni model predstavlja klasičen primer iskanja proizvodnega načrta, pri katerem se osredinimo le na doseženi ekonomski rezultat. Iščemo torej največji dohodek ob upoštevanju drugih proizvodnih

² Model je podrobneje predstavljen in opisan v Žgajnar (2011).

omejitev. Model temelji na klasičnem determinističnem pristopu linearnega programiranja. Zato je povsem pričakovano, da z njim pridemo do najvišjega dohodka, ki pa posledično vključuje tudi najvišjo stopnjo tveganja (slika 1 – zgoraj desno).



Legenda: LP – linearno programiranje (angl. Linear Programming); QP – kvadratno programiranje (angl. Quadratic Programming); QCP – omejeno kvadratno programiranje (angl. Quadratic Constrained Programming); r_A – absolutna mera tveganja (angl. Absolute Risk Aversion); CE – zanesljivi ekvivalent (angl. Certainty Equivalent); GP – ciljno programiranje (angl. Goal Programming); PF – kazenska funkcija (angl. Penalty Function); AHP – analitični hierarhični proces (angl. Analytic Hierarchy Process); E – pričakovana vrednost (angl. Expected Value); V – varianca.

Slika 1: **Položaj rešitev uporabljenih matematičnih modelov v prostoru pričakovanih vrednosti in varianc**

Za celovito analizo odločanja na ravni kmetijskega gospodarstva je pomembno poznavanje trenutnega stanja v smislu strukture proizvodnega načrta (katere aktivnosti so vključene) in doseženih ekonomskih rezultatov (dohodek idr.). Iz teh namreč izhajajo pomembni podatki, ki se nanašajo tako na upravljanje s tveganji kot tudi na večkriterijsko analizo. Trenutno proizvodnjo kmetijskega gospodarstva rekonstruiramo s pomočjo klasičnega linearnega programiranja s postopkom delne optimizacije (DO), pri čemer del (poznanih) aktivnosti fiksiramo, drugi del pa pustimo odprt. Z delno optimizacijo iščemo vrednosti tistih spremenljivk (aktivnosti), katerih vrednosti ne poznamo. To je lahko posledica agregiranih podatkovnih baz ali pa gre za transferne – netržne aktivnosti. Namen tega modela tako ni optimizacija proizvodnje, pač pa »ocena« trenutnega stanja na podlagi različnih tehnoloških, proizvodnih in logičnih omejitev.

Trenutno stanje potrebujemo kot izhodišče za izračun kmetovega odnosa do tveganja. Gre za pristop, ki ga podrobneje opisujejo Lien (2002) ter Žgaj-

nar in Kavčič (2011). Osnovna ideja je, da s pomočjo kvadratnega modela (angl. Quadratic Programming – QP), to je minimiziranja variance, izračunamo prvo točko ($E_F, V_{E,V}$), ki predstavlja proizvodni načrt z enakim finančnim rezultatom, kot ga dejansko dosega gospodarstvo (E_F), je pa bolj učinkovit z vidika tveganja. Enak finančni rezultat torej doseže z drugačnim proizvodnim načrtom z manjšim tveganjem. Druga točka je izračunana s pomočjo omejenega kvadratnega programiranja (angl. Quadratic Constrained Programming – QCP) in je primer maksimiranja pričakovanega dohodka. Z vidika doseženega finančnega rezultata gre za učinkovitejšo rešitev, saj je ta ob enakem tveganju (V_F), kot ga dosega kmetijsko gospodarstvo, boljši ($E_{E,V}$) (slika 1).

Po pristopu, ki ga podrobneje opisuje Lien (2002), na podlagi teh dveh točk ocenimo kmetov odnos do tveganja oz. absolutno mero tveganja (angl. Absolute Risk Aversion – r_A). Kot izhaja iz slike 1, gre za naklon premice med točkama na krivulji proizvodnih možnosti. To lahko izračunamo na več različnih načinov. Eden izmed pristopov je minimiziranje skupne variance in parametriziranje pričakovanega dohodka.

V celovit pristop je vključen tudi kvadratni model maksimiranja zanesljivega ekvivalenta (angl. Certainty Equivalent – CE). V tem primeru je ključna predpostavka, da poznamo kmetov odnos do tveganja, izražen kot absolutni koeficient odnosa do tveganja (r_A). Tega ocenimo v prejšnjem koraku na podlagi obeh točk na krivulji proizvodnih možnosti (slika 1). Kot izhaja iz literature, gre za proizvodni načrt, pri katerem je kmet ravnodušen med gotovo vrednostjo in zanesljivim ekvivalentom.

Vprašanje, ki se pri tem zastavi odločevalcu, je, katera od dobljenih rešitev v prostoru pričakovanih vrednosti in varianc je dejansko prava. Odgovor ni preprost in enoznačen. Odvisen je od namena in vidika analize. Da pa bi lahko poiskali rešitev, ki upošteva čim več vidikov, celovit pristop zajema tudi večkriterijsko optimizacijo. Temelji na filozofiji ciljnega programiranja, pri kateri rešitve posameznih že omenjenih modelov vstopajo kot ciljne vrednosti. Uporabili smo tehtano ciljno programiranje (angl. Weighted Goal Programming – WGP), katerega smo nadgradili s sistemom kazenskih funkcij (angl. Penalty Function – PF). Definiranje uteži in s tem pomena posameznega cilja je pomembna naloga tehtanega ciljnega programiranja, saj z njimi močno vplivamo na dobljeno rešitev. Njihov relativni pomen izraču-

namo s pomočjo metode analitičnega hierarhičnega procesa (angl. Analytic Hierarchy Process – AHP), ki na podlagi devetstopenjske lestvice omogoča primerjave po parih (Saaty, 1980). Pri metodi analitičnega hierarhičnega procesa je pomembno, da so izračunane relativne uteži za razvrščanje posameznega kriterija (cilja) dobljene ob predpostavki konsistentnosti.

Predstavljeni modeli kot tudi samo orodje so razviti v excelovem programskem okolju. To omogoča njihovo enostavno povezovanje in dopolnjevanje. Povezave in večino potrebnih operacij je avtomatiziranih s pomočjo makrov, zapisanih v obliki kode VBA (Visual Basic for Applications) v urejevalniku za Visual Basic.³ Zapis osnovnih matrik za reševanje matematičnih modelov kot tudi njihovo formiranje in množenje je tako povsem preprosto.

Modelno orodje je procesno odprt sistem. Po eni strani to pomeni, da je mogoče različno povezovanje modulov, njihovo dopolnjevanje in prilagajanje posameznim analiziranim primerom, po drugi strani pa odprt sistem pomeni, da lahko poljubno dodajamo nove aktivnosti in omejitve, obstoječim aktivnostim spreminjamo proizvodne parametre in omejitvam njihove lastnosti. Z orodjem lahko analiziramo različne tipe kmetijskih gospodarstev. V okviru prispevka predstavljamo tipično kmetijsko gospodarstvo, usmerjeno v prirejo mleka.

3.1 Primer – kmetijsko gospodarstvo, usmerjeno v prirejo mleka

Tipično kmetijsko gospodarstvo, na katerem predstavljamo delovanje elektronskega orodja, je bilo definirano na podlagi podatkov kmetijskega knjigovodstva (angl. Farm Accountancy Data Network – FADN). Ocena stroškov in dohodkov pa je bila izdelana s pomočjo modelnih kalkulacij (Rednak in sod., 2009).

Ključni namen analize je poiskati optimalen proizvodni načrt za obdobje enega leta. Podlaga za izračun so pričakovana pokritja (angl. Expected Gross Margin – EGM) po posameznih aktivnostih. Ključni vir ocene tveganja spremenljivk pa je varianca, izražena kot standardni odklon.

Pri pripravi podatkov smo izhajali iz časovne serije podatkov za obdobje desetih let (1999–2008). Za posamezna leta smo upoštevali povprečne letne

vrednosti cen, stroškov in pridelkov, izračunanih na Kmetijskem inštitutu Slovenije (KIS, 2009). Iz teh smo za posamezne aktivnosti izračunali pokritja po posameznih letih. Pričakovana pokritja smo izračunali v odvisnosti od predpostavljene verjetnosti za nastop posameznih stanj. Nihanja cen, stroškov in pridelkov po letih so rezultat različnih okoliščin v opazovanem desetletnem obdobju. Na podlagi ekspertne ocene smo s pomočjo parnih primerjav po metodi AHP izračunali verjetnosti za nastop posameznih stanj.

Analizirano kmetijsko gospodarstvo je primer visokospecializirane mlečne kmetije, ki poleg mleka prodaja tudi teleta in odrasle plemenske telice. Trenutni stalež predstavlja 58 krav molznic in 18 plemenskih telic. Laktacijska mlečnost krav črno-bele pasme znaša 7.800 litrov. Kmetija leži v ravninskem območju in gospodari s skupno 49 ha obdelovalnih površin, od tega je slaba polovica površin travinje (22 ha). Na večini površin kosijo štirikrat. Na njivskih površinah pridelujejo koruzo za silažo, koruzo za zrnje ter krmne koševine.

V postopku načrtovanja se v rešitev lahko vključijo tudi druge aktivnosti. Ključno vodilo pri izbiri aktivnosti in zlasti izbiri tehnologije je, da v proizvodni načrt lahko vstopajo le aktivnosti s podobnimi lastnostmi, kot jih imajo že vključene aktivnosti. V opisanem primeru lahko kot nove vstopajo aktivnosti za pridelavo krmnih oz. tržnih poljščin. Njihova intenzivnost pa se naravna glede na dosežen pridelek pri koruzi. Seveda je pri vključevanju poljedelskih aktivnosti treba upoštevati tudi kolobar, katerega omejitve so postavljene glede na zakonske predpise in uredbe.

Za kratko obdobje načrtovanja smo predpostavili, da stalni stroški (amortizacija) ostanejo nespremenjeni. Tako ne predvidevamo nobenih investicijskih aktivnosti in predpostavljamo, da so zmogljivosti infrastrukture za načrtovano časovno obdobje primerne. Stalni stroški zajemajo le stroške amortizacije strojev, zgradb in opreme in znašajo v analiziranem primeru na letni ravni 16.900 evrov.

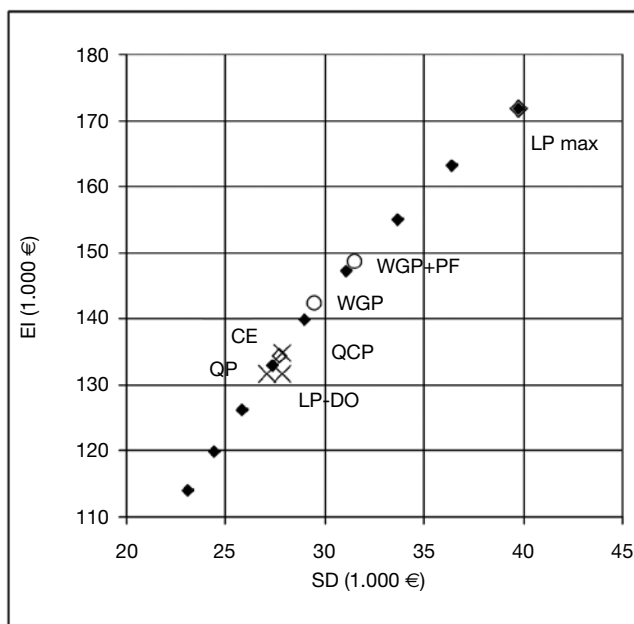
3.2 Rezultati primera in razprava

Na kratko predstavljamo ključne rezultate pričakovanih vrednosti in varianc za analizirano hipotetično kmetijsko gospodarstvo. Izpostavljamo pričakovani dohodek in standardno deviacijo (kot parameter tveganja). Z vidika upravljalca kmetijskega gospodarstva so sicer zanimivi tudi posamezni proizvodni načrti, jih pa v tem prispevku ne prikazujemo, saj so

³ Zapisi kod ter osnovna načela programiranja so v večjem delu povzeti po Seref, Ahuja in Winston (2007).

zelo obsežni in bi za razumevanje potrebovali dodatno razlago.

Slika 2 prikazuje najpomembnejše rezultate analiziranega kmetijskega gospodarstva. Izhodišče krivulje proizvodnih možnosti predstavlja rešitev linearnega programa, ki zanemara tveganje. Povsem pričakovano je, da se rešitev nahaja v zgornjem desnem delu grafikona (LP max – maksimiranje dohodka), saj gre za rešitev, pri kateri bi kmetijsko gospodarstvo doseglo najvišji pričakovani dohodek (angl. Expected Income – EI). Zato je samoumevno, da gre za rešitev z najvišjo stopnjo tveganja, saj je za višji pričakovani dohodek treba prevzeti tudi večje tveganje (v našem primeru izraženo kot SD). Če primerjamo dobljeno rešitev s trenutnim stanjem kmetijskega gospodarstva (LP-DO), lahko ugotovimo, da bi se s takšnim proizvodnim načrtom pričakovani dohodek izboljšal za dobrih 30 odstotkov. Pri tem pa bi se tveganje povečalo kar za dobrih 43 odstotkov. Nedvomno gre za izrazite spremembe, ki na konkretnem tipu kmetije zaradi neugodnega razmerja med pričakovanimi vrednostmi



Legenda: LP max – maksimiranje dohodka – rešitev linearnega programa; LP-DO – delna optimizacija, ki temelji na linearnem programiranju, QP – kvadratno programiranje (angl. Quadratic Programming), QCP – omejeno kvadratno programiranje (angl. Quadratic Constrained Programming), CE – zanesljivi ekvivalent (angl. Certainty Equivalent), WGP – tehtano ciljno programiranje (angl. Weighted Goal Programming), WGP+PF – tehtano ciljno programiranje, nadgrajeno s sistemom kazenskih funkcij (angl. Weighted Goal Programming supported by a system of Penalty Functions), EI – pričakovani dohodek (angl. Expected Income), SD – standardna deviacija.

Slika 2: Rešitve večriterijske optimizacije za analizirano kmetijsko gospodarstvo v prostoru pričakovanih vrednosti in standardnega odklona

in povišano izpostavljenostjo tveganju niso sprejemljive. Razlogov za to je več, izpostavimo lahko predvsem vesplošno konservativno naravo upravljalcev kmetijskih gospodarstev. Vsekakor pa je zanimiva tudi takšna »ekstremna« rešitev, saj predstavlja potencial in težišče možnih sprememb in izboljšav.

Eden izmed parametrov, ki ga podrobneje izpostavljamo, je tveganje in odnos do tveganja. Gre za pomembno komponento že izpostavljene konservativne narave kmetov. Da bi lahko posredno ocenili kmetov odnos do tveganja, smo uporabili neparametrični pristop (Lien, 2002). Kot je razvidno s slike 2, je trenutna proizvodnja analiziranega kmetijskega gospodarstva (LP-DO) neučinkovita tako z vidika pričakovanih vrednosti (EI) kot tudi z vidika stopnje tveganja. Točka se namreč nahaja pod krivuljo proizvodnih možnosti. Na sliki 2 sta prikazani točki QP in QCP, ki sta s teh vidikov učinkovitejši. Naklon med njima predstavlja odnos do tveganja, izražen kot absolutna mera tveganja (r_A).

Izkaže se, da je analizirano kmetijsko gospodarstvo relativno nenaklonjeno tveganju, saj r_A znaša 0,000156 oz. relativni koeficient (angl. Relative Risk Aversion – r_R) 15,64. Vse te točke tako ležijo na nasprotnem polu kot v primeru maksimiranja dohodka, dobljenega po linearnem programu, ki daje rešitve bližje izhodišču in s tem z nižjo stopnjo tveganja.

V celovit optimizacijski pristop smo kot parameter tveganja zajeli tudi maksimiranje zanesljivega ekvivalenta (angl. Certainty Equivalent – CE). Na analizirani kmetiji zaradi relativno visoke vrednosti izračunanega koeficienta nenaklonjenosti tveganju dosežemo sorazmerno nizko vrednost zanesljivega ekvivalenta (74.410 €). To je posledica visoke vrednosti premije tveganja (angl. Risk Premium – RP). Vendar primerjava rešitve z vidika pričakovanega dohodka pokaže, da na podlagi zanesljivega ekvivalenta (CE) dosežemo za 2 odstotka boljši rezultat (slika 2).

Glede na oba izpostavljena pola, ki vlečeta optimalno rešitev vsaksebi, je več kot očitno, da je za korektno obravnavo problema potreben večriterijski pristop. Na primeru analiziranega kmetijskega gospodarstva prikazujemo rešitev, ki jo dobimo s pomočjo tehtanega ciljnega programiranja (WGP). Opozoriti je treba, da smo pri iskanju kompromisne rešitve upoštevali deset ciljev, med katerimi sta poleg ostalih tudi že omenjena skrajna pola. Prioritete posameznih ciljev so različne, določili so jih strokovnjaki na podlagi metode AHP. S slike 2 je razvidno, da se po kri-

teriju pričakovanega dohodka dobljena rešitev v primerjavi s trenutnim stanjem izboljša za 4,2 odstotka (5.529 evrov). To je v primerjavi z zgoraj omenjenimi 30 odstotki v povsem razumljivih in dosegljivih mejah. Če odločevalcu omogočimo še nekoliko natančnejše nadziranje obnašanja modela – z nadgraditvijo modela s sistemom kazenskih funkcij (WGP+PF) –, pa se pričakovani dohodek izboljša za 4,6 odstotka. Spremeni se tudi standardni odklon (SD), saj se tveganje poveča – v kontekstu prostora pričakovanih vrednosti in standardnega odklona se premaknemo v desno (2.042 evrov). Seveda je to pričakovano, saj z dodatnimi kazenskimi funkcijami prisilimo model v bolj nadzorovano, s tem pa v manj racionalno (optimalno) vedenje. Tukaj ne prikazujemo podrobnejših rešitev. Povejmo le, da se zmanjša odstopanje po pričakovanem dohodku (EI) in da se poveča odstopanje po SD, kar vodi tudi do večjih odstopanj od ciljnih vrednosti zanesljivega ekvivalenta (CE).

Pri uporabi tehtanega ciljnega programiranja se je izkazal velik pomen kazenskih funkcij (PF), ki praviloma izboljšajo kakovost dobljene rešitve. Tudi za analizirano kmetijsko gospodarstvo bi jo priporočali kot najbolj *realno* rešitev. Ne gre za kakovost rešitve, ki bi jo ocenjevali le z vidika skupnega odstopanja, saj se le-to poveča. Sistem kazenskih funkcij omogoči, da model bolje ponazarja vedenje kmetijskega gospodarja, ki ni vedno racionalno. Razloge za to pa lahko iščemo v kompleksni naravi kmetijstva in tudi osebnostnih lastnostih gospodarja. Večjo stopnjo pozitivnosti dosežemo z natančnejšim kontroliranjem odstopanj od posameznih ciljev. Pri nadgradnji ciljev s sistemom kazenskih funkcij pa je treba biti racionalen, saj bistveno povečajo kompleksnost matematičnih modelov in s tem vplivajo tako na čas reševanja kot tudi na možnost, da z modelom ne najdemo rešitve.

4 SKLEP

Modeliranje, ki omogoča in zahteva podrobno poznavanje problema, vodi do boljših odločitev. Pri izbiri strukture modela je zelo pomembno, da preučimo, kakšen tip modela je najprimernejši, na katerih točkah je problem smiselno razdeliti na podprobleme in kako izbrati parametre in njihove povezave. Dejansko gre na eni strani za abstrakcijo problema, na drugi pa za poenostavitev realnega sveta na raven modelnega sveta. Ta korak je lahko problematičen, če ne pride do interdisciplinarnega sodelovanja strokovnjakov, saj se lahko zgodi, da bodisi uporabimo

napačen model (pomanjkanje sodelovanja matematikov), izpustimo ključne tehnološko-ekonomske zakonitosti (pomanjkanje sodelovanja strokovnjakov s področja problema) ali pa razvito modelno orodje ne zaživi (pomanjkanje sodelovanja informatikov).

Uporaba predstavljenih metod s področja operacijskih raziskav je ena izmed možnosti za podporo pri reševanju vsakodnevnih in tudi strateških odločitev. Njihova morebitna zanimivost je predvsem v njihovi relativni enostavnosti tako za modeliranje kot za razumevanje. V številnih raziskavah so se te metode izkazale kot dovolj zanesljive, zlasti če upoštevamo problem kvalitativnih podatkov in daljših časovnih serij podatkov. Velika prednost tovrstnih metod je tudi v tem, da jih lahko apliciramo v elektronskih preglednicah – po eni strani zaradi njihove dostopnosti širšemu krogu uporabnikov, po drugi strani pa zaradi uporabniku prijazne logike, na kateri temeljijo elektronske preglednice. Zato je z njihovim razvojem prišlo do pomembnega preobrata z vidika modeliranja, dostopnosti in uporabe modelnih orodij. Tako se je trend v zadnjih dvajsetih letih z razvojem elektronskih preglednic (npr. MS Excel) in dostopnostjo osebnih računalnikov povsem obrnil. Bistveno se je povečala tako uporaba modelov za analize kot tudi za podporo pri odločanju. Pričakujemo, da se bo v prihodnje njihova uporaba še povečala, in sicer tudi uporaba zahtevnejših elektronskih orodij.

Vsak model je neke vrste laboratorij, v katerem lahko eksperimentiramo in se učimo. Predstavljena problematika in elektronsko orodje sta le eden izmed primerov, kako lahko s pomočjo metod matematičnega programiranja podpremo odločanje in načrtovanje na ravni kmetijskih gospodarstev. Koristi takšnega modeliranja za podporo pri sprejemanju odločitev so številne: izognemo se številnim napakam, ne utrpimo posledic slabih idej, z njim lahko raziskujemo nemožne in tako pridemo do zanimivih alternativnih rešitev, intuicijo uporabimo za oblikovanje modela, ne pa za neposredno odločanje, končno pa z njimi lahko rešujemo povsem praktične probleme in pridemo do konkretnih rešitev. Te so uporabne predvsem pri vsakodnevem odločanju na kmetijskem gospodarstvu.

Za kmetijski prostor je v tem prispevku predstavljeno orodje pomembno, ker omogoča sistematično analizo dogajanj na določenih tipih kmetijskih gospodarstev. Prednost orodja je, da omogoča analizo v razmerah tveganja tudi pri slabši dostopnosti primarnih podatkov, s čimer se soočamo pri analizah

kmetijskih gospodarstev v Sloveniji. Kombiniranje metod matematičnega programiranja se izkaže za učinkovito, saj omogoča avtomatsko oceno manjkajočih oz. agregiranih podatkov.

Med že razvitimi modelnimi orodji, ki temeljijo na v tem prispevku predstavljenih metodoloških izhodiščih, najdemo v slovenskem okolju tudi takšne, ki bi bili lahko uporabni za reševanje vsakodnevnih optimizacijskih problemov na ravni kmetijskih gospodarstev. Takšno je npr. orodje za načrtovanje in vodenje prehrane (Žgajnar, Juvančič in Kavčič, 2009; Žgajnar, Erjavec in Kavčič, 2010) ali pa orodje za načrtovanje gnojenja (Žgajnar in Kavčič, 2010). Hkrati pa lahko ugotovimo, da te modele redko uporabljajo končni uporabniki – kmetje ali kmetijske svetovalne službe. Razlogov je seveda več; izpostavimo lahko predvsem pomanjkljivo sodelovanje z informatiki, ki je ključno, da razviti modeli ne zaživijo. Če se osredinimo predvsem na aplikativne modele in orodja, pa lahko ugotovimo, da se poraja nova tržna niša e-storitvev tudi pri orodjih za podporo odločanju v kmetijstvu. Tovrstne storitve so se na nekaterih drugih področjih že povsem uveljavile.

5 LITERATURA

- [1] Aimin, H. (2010). Uncertainty, Risk Aversion and Risk Management in Agriculture. *Agriculture and agricultural Science Procedia*, 1, 152–156.
- [2] Aouni, B., & Kettani, O. (2001). Goal programming model: A glorious history and a promising future. *European Journal of Operational Research*, 133, 225–231.
- [3] Azmi, R., & Tamiz, M. (2010). A review of Goal Programming for Portfolio Selection. In: D. Jones, J. Tamiz, & J. Ries (Eds.), *New Developments in Multiple Objective and Goal Programming*. Berlin: Springer.
- [4] Buongiorno, J., & Gilles, J. K. (2010). Decision methods for forest resource management, University of Wisconsin, Madison.
- [5] Buysse, J., Huylensbroeck, G. V., & Lauwers, L. (2007). Normative, positive and econometric mathematical programming as tools for incorporation of multifunctionality in agricultural policy modelling. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120, 70–81.
- [6] Čančer, V. (2003). Analiza odločanja: Izbrana poglavja. Maribor: Ekonomsko-poslovna fakulteta Maribor.
- [7] Escalante, C. L., & Rejesus, R. M. (2008). Risk balancing decisions under constant absolute and relative risk aversion. *Review of Business Research*, 8, 50–61.
- [8] Flaten, O., & Lien, G. (2007). Stochastic Utility-Efficient Programming of Organic Dairy Farms. *European Journal of Operational Research*, 181, 1574–1583.
- [9] Gomez-Limon, J. A., Arriaza, M., & Riesgo, L. (2003). An MCDM analysis of agricultural risk aversion. *European Journal of Operational Research*, 151, 569–585.
- [10] Gonzalez-Pachon, J., & Romero, C. (1999). Distance-based consensus methods: a goal programming approach. *Omega*, 27, 341–347.
- [11] Hardaker, J. B., Huirne, R. B. M., Anderson, J. R., & Lien, G. (2007). *Coping with Risk in Agriculture* (2nd ed.). Oxfordshire: CABI Publishing.
- [12] Harwood, J., Heifner, R., Coble, K., Perry, J., & Somwaru, A. (1999). "Managing Risk in Farming: Concepts, Research, and Analysis". *Agricultural Economic Report No. 774*. Washington, DC: US Department of Agriculture, Economic Research Service Report.
- [13] Huirne, R., Meuwissen, M., & van Asseldonk, M. (2007). Importance of whole-farm risk management in agriculture. In: A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, & R. Epstein (Eds.), *Handbook of Operations Research in Natural Resources* (pp. 3–15). New York: Springer Science & Business Media.
- [14] Ignizio, J. P., & Romero, C. (2003). Goal Programming. *Encyclopaedia of Information Systems*. Elsevier Science, 2, 489–500.
- [15] Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical Goal Programming*. International Series in Operations Research and Management Science. New York: Springer.
- [16] KIS. 2009. Modelne kalkulacije. (<http://www.kis.si/pls/kis/lkis.web?m=177&j=SI>).
- [17] Kobzar, O.A. (2006). Whole-farm risk management in arable farming: portfolio methods for farm-specific business analysis and planning. PhD thesis. Wageningen, Wageningen University.
- [18] Lara, P. (1993). Multiple objective fractional programming and livestock ration formulation: A case study for dairy cow diets in Spain. *Agricultural Systems*, 41, 321–334.
- [19] Lien, G. (2002). Non-parametric estimation of decision makers' risk aversion. *Agricultural Economics*, 27, 75–83.
- [20] Lien, G., Hardaker, J., van Asseldonk, M. A. P. M., & Richardson, J. W. (2009). Risk programming and sparse data: how to get more reliable results. *Agricultural Systems*, 101, 42–48.
- [21] Lien, G., & Hardaker, J. B. (2001). Whole-farm planning under uncertainty: impacts of subsidy scheme and utility function on portfolio choice in Norwegian agriculture. *European Review of Agricultural Economics*, 28, 17–36.
- [22] Liu, B. (2008). *Theory and Practice of Uncertain Programming* (3rd ed.). Beijing, China: Tsinghua University, Department of Mathematical Sciences.
- [23] Martel, J. M., & Aouni, B. (1990). Incorporating the Decision-maker's Preferences in the Goal-programming Model. *Journal of the Operational Research Society*, 41, 1121–1132.
- [24] Martel, J. M., & Aouni, B. (1998). Diverse Imprecise Goal Programming Model Formulations. *Journal of Global Optimization*, 12, 127–138.
- [25] Martins, M. B., & Marques, C. (2007). Methodological aspects of a mathematical programming model to evaluate soil tillage technologies in a risky environment. *European Journal of Operational Research*, 177, 556–571.
- [26] Pažek, K., Rozman, Č., Bavec, F., Borec, A., & Bavec, M. (2010). A Multi-Criteria Decision Analysis Framework Tool for the Selection of Farm Business Models on Organic Mountain Farms. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34, 778–799.
- [27] Powell, S. G., & Baker, K. R. (2010). *Management science: the art of modeling with spreadsheets*. Hoboken (N. J.): John Wiley.
- [28] Rasmussen, S. (2004). Optimizing Production under Uncertainty: Generalisation of the State-Contingent Approach and Comparison of Methods for Empirical Application. Unit of Economics Working Papers 2004/2. Copenhagen, Denmark: The Royal Veterinary and Agricultural University.
- [29] Rednak, M. (1998). Splošna izhodišča in metodologija izdelave modelnih kalkulacij za potrebe kmetijske politike. Prikazi in informacije 189. Ljubljana: Kmetijski inštitut Slovenije.

- [30] Rednak, M., Erjavec, E., Volk, T., Zagorac, B., Mojk, B., Kavčič, S., Kožar, M., Turk, J., Rozman, Č., & Vučko, I. (2009). Analiza učinkov kmetijske politike z modelom tipičnih kmetijskih gospodarstev. Zaključno poročilo CRP projekta V4-0361. Ljubljana: Kmetijski inštitut Slovenije.
- [31] Rehman, T., & Romero, C. (1984). Multiple-criteria decision-making techniques and their role in livestock ration formulation. *Agricultural Systems*, 15, 23–49.
- [32] Rehman, T., & Romero, C. (1987). Goal Programming with penalty functions and livestock ration formulation. *Agricultural Systems*, 23, 117–132.
- [33] Romero, C. (2000). Risk programming for agricultural resource allocation. *Annals of Operations Research*, 94, 57–68.
- [34] Romero, C. (2004). A general structure of achievement function for a goal programming model. *European Journal of Operational Research*, 153, 675–686.
- [35] Romero, C., & Rehman, T. (2003). Multiple criteria analysis for agricultural decisions (2nd ed.). Amsterdam: Elsevier.
- [36] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: Mc Graw.
- [37] Seref, M. M. H., Ahuja, R. K., & Winston, W. L. (2007). *Developing spreadsheet - Based Decision Support Systems: using Excel and VBA for Excel*. Belmont (Mass.): Dynamic Ideas.
- [38] Steuer, R. E., & Na, P. (2003). Multiple criteria decision making combined with finance: A categorized bibliographic study. *European Journal of Operational Research*, 150, 496–515.
- [39] Winston, W. L. (2002). *Operations Research: Applications and Algorithms*. Belmont: Duxbury Press.
- [40] Zekri, S., & Boughanmi, H. (2007). Modelling the interaction between agriculture and the environment. In: A. Weintraub, C. Romero, T. Bjørndal, & R. Epstein (Eds.), *Handbook of Operations Research in Natural Resources* (pp. 69–91). New York: Springer Science & Business Media.
- [41] Žgajnar, J., Erjavec, E., & Kavčič, S. (2010). Multi-step beef ration optimisation: application of linear and weighted goal programming with a penalty function. *Agricultural and Food Science*, 19, 193–206.
- [42] Žgajnar, J., Juvančič, L., & Kavčič, S. (2009). Combination of linear and weighted goal programming with penalty function in optimization of a daily dairy cow ration. *Agricultural Economics – Czech*, 55, 492–500.
- [43] Žgajnar, J., & Kavčič, S. (2011). Indirect estimation of farm's risk aversion; mathematical programming approach. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17, 218–231.
- [44] Žgajnar, J. (2011). Večkriterijsko optimiranje odločitev na kmetijskih gospodarstvih v razmerah tveganja. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani.
- [45] Ziolkowska, J. (2009). Hierarchical network modelling and multicriteria analysis for agri-environmental measures in Poland. In: F. Schaft, & A. Balmann (Eds.), *3rd MACE Conference. Multi-level Processes of Integration and Disintegration. Proceedings of the Third Green Week Scientific Conference*, (pp. 168–178). Berlin: Leibniz Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe – IAMO.

Jaka Žgajnar je asistent in raziskovalec za področje politike in ekonomike upravljanja z naravnimi viri na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Ukvarja se predvsem z obratoslovnimi vprašanji v kmetijstvu. Njegovo znanstvenoraziskovalno delo je usmerjeno v uporabo optimizacijskih metod s področja operacijskih raziskav za analizo in podporo poslovnim odločitvam na kmetijskih gospodarstvih. Sodeloval je v več ciljnih raziskovalnih projektih. Je avtor oz. soavtor več izvirnih znanstvenih člankov in objavljenih znanstvenih prispevkov na konferencah. Za diplomsko delo je leta 2006 prejel univerzitetno Prešernovo nagrado. Je aktivni član Društva agrarnih ekonomistov Slovenije (DAES), Evropskega društva agrarnih ekonomistov (EAAE) in Mednarodnega združenja za kmetijsko obratoslovje (IFMA).

Emil Erjavec je redni profesor za agrarno politiko in ekonomiko na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Je predavatelj različnih predmetov s področja ekonomike, agrarne politike, evropskih politik in metod raziskovalnega dela na vseh treh stopnjah visokošolskega izobraževanja na Biotehniški fakulteti in nekaterih drugih fakultetah Univerze v Ljubljani (EF, FDV, VF) ter od leta 2000 tudi stalni predavatelj na dunajski univerzi BOKU. Raziskovalno deluje na področju sektorskega modeliranja in politične ekonomije evropske kmetijske politike in evropskih integracijskih procesov. Je vodja programske skupine Konkurenčnost agroživilstva, ki združuje slovenske agrarne ekonomiste, in nosilec številnih domačih raziskovalnih projektov ter nacionalni koordinator petih okvirnih projektov EU. Predvsem na področju evropskih politik je vabljeni predavatelj številnih mednarodnih konferenc in svetovalnih projektov na evropski ravni. Od leta 2009 je predsednik Društva agrarnih ekonomistov Slovenije in član izvršnega odbora Evropskega združenja agrarnih ekonomistov (EAAE). Za svoje delo je dobil Jesenkovo priznanje in častni doktorat Univerze Cirila in Metoda v Skopju.

Stane Kavčič je izredni profesor za področje politike in ekonomike upravljanja z naravnimi viri na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Na raziskovalnem področju se ukvarja predvsem s sektorskim modeliranjem in z učinki kmetijske politike na obratoslovne vidike v kmetijstvu. Zanimajo ga predvsem praktični vidiki različnih ukrepov. Ureja konferenčni zbornik Društva agrarnih ekonomistov Slovenije, v zadnjih letih pa je bil vodja več ciljnih raziskovalnih projektov.

Lidija Zadnik Stirn se kot profesorica za operacijske raziskave na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani ukvarja z metodami optimiranja, ki jih uporablja za reševanje problemov v ekologiji, ekonomiki naravnih virov, gozdarstvu, lesarstvu, agronomiji in prehrani. Sodelovala je v raznih interdisciplinarnih raziskavah in bila vodja temeljnih in aplikativnih projektov, v letih 2001 do 2006 je bila koordinatorka EU projekta MEDMONT. Aktivno je sodelovala z referati ali vabljenimi predavanji na mednarodnih kongresih s področja operacijskih raziskav in bila organizatorka mednarodnih konferenc. Za te je leta 2003 prejela priznanje SDI. Je sourednica zbornikov, monografij in revij s področja operacijskih raziskav. Aktivno dela v mednarodnih društvih IFORS, EURO, IFIP TC7 in IUFR0 4.05. Od leta 1997 je predsednica slovenske sekcije OR, od leta 2002 pa podpredsednica SDI.