

IZKUŠNJE Z VEČPARAMETRSKIMI ODLOČITVENIMI MODELI PRI PODPORI ODLOČANJA O GENSKO SPREMENJENIH ORGANIZMIH

Marko BOHANEČ^a, Martin ŽNIDARŠIČ^b

IZVLEČEK

V prispevku opisujemo uporabo metode kvalitativnega večparametrskega modeliranja DEX na področju odločanja o uvajanju in uporabi gensko spremenjenih organizmov (GSO) v prehrani ljudi in živali. V okviru treh evropskih projektov 5. in 6. okvirnega programa smo razvili več modelov, od katerih predstavljamo tri: model »Grignon« za ocenjevanje ekoloških in ekonomskih učinkov GSO, model ESQI za ocenjevanje kakovosti prsti in model SMAC za presojo sožitja med konvencionalno in GSO koruzo. Omenimo tudi sistem za podporo pri odločanju, ki smo ga razvili v projektu Co-Extra. V drugem delu prispevka ocenimo pomen rezultatov in opišemo svoje izkušnje pri razvoju modelov.

Ključne besede: podpora pri odločanju, odločitvena analiza, kvalitativni večparametrski modeli, metoda DEX, gensko spremenjeni organizmi, ekonomski in ekološki vplivi, sožitje

EXPERIENCE WITH MULTI-ATTRIBUTE DECISION MODELS IN DECISION SUPPORT ON GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS

ABSTRACT

In the paper we present applications of a qualitative multi-attribute modelling method DEX for decision support about the introduction and use of genetically-modified organisms (GMO) for food and feed. In three 5th and 6th Framework Programme European projects, we have developed a number of models, of which we present three: the »Grignon« model for the assessment of ecological and economic impacts of GMO, ESQI model for the assessment of soil quality, and SMAC model for the assessment of co-existence of conventional and GMO maize. We also mention a decision support system developed within the project Co-Extra. In the second part, we assess the achieved results and describe our lessons learned during the model development.

Key words: decision support, decision analysis, qualitative multi-attribute models, DEX method, genetically modified organisms, ecological and economic impacts, co-existence

^a Institut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana in Univerza v Novi Gorici, Vipavska 13, 5000 Nova Gorica; marko.bohanec@ijs.si

^b Institut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana; martin.znidarsic@ijs.si

1 Uvod

Gensko spremenjeni organizmi (GSO) postajajo vse pomembnejši dejavnik v svetovni proizvodnji hrane. McKeown (2008) ocenjuje, da je leta 2007 pridelava GSO potekala na 9 % vseh kmetijskih površin, posebej velik delež pa sta imeli soja (51 %) in koruza (31 %). Poleg nedvornih prednosti, ki jih imajo GSO (npr. večja odpornost proti škodljivcem in negativnim vplivom okolja, lažje pridelovanje, večji pridelek), pa njihova uporaba odpira številne probleme, dileme in vprašanja (Uzogara, 2000; Hails, 2002). Kakšne vplive imajo GSO na zdravje ljudi? Kakšni so ekonomski in ekološki vplivi uporabe GSO? Ali in pod kakšnimi pogoji je možno sožitje med dosedanjimi in novimi načini pridelovanja? Kako zagotoviti sledljivost GSO? S kakšnimi metodami analizirati prisotnost GSO v prehrabnih izdelkih? Kako zakonsko regulirati celotno področje?

Odnos Evropske skupnosti do GSO je previden in zadržan. Raziskavam, povezanih z GSO, je v Evropska komisija zadnjih letih posvetila veliko pozornost in sofinancirala več raziskovalnih projektov 5. in 6. okvirnega programa. Raziskovalci Instituta Jožef Stefan smo sodelovali pri treh takšnih projektih:

- ECOGEN (2003-2006): Raziskave ekonomskih in ekoloških vplivov pridelovanja GSO z vidika prsti.
- SIGMEA (2004-2006): Trajnostno uvajanje GSO v evropsko kmetijstvo: raziskave ekonomskih in ekoloških vplivov pridelovanja GSO ter sožitja s konvencionalnimi načini pridelovanja na ravni polja, posestva in regije.
- Co-Extra (2006-2009): Študij sledljivosti in sožitja v preskrbovalnih verigah s hrano in krmo, ki vsebuje GSO in konvencionalne sestavine.

Pomembna skupna lastnost vseh treh projektov je bila ta, da so posvetili veliko pozornost *podpori odločanja* na obravnavanih področjih. Svoja dognanja so udeleženi v obliki konkretnih pripomočkov za boljše odločanje: priporočila, preglednice, zbirke podatkov, različni modeli in računalniški programi za podporo odločanja. Prav to je bilo področje, kjer smo sodelovali v vlogi odločitvenih analitikov in skupaj z eksperti (agronomi, biologi, ekologi, ekonomisti in drugimi) razvili konkretne modele in sisteme za podporo pri odločanju. V tem prispevku predstavimo nekatere izmed njih ter opišemo izkušnje, ki smo jih pridobili pri njihovem razvoju. Najprej pa kratek opis našega pristopa in uporabljenih metod.

2 Metode

Uporabljali smo predvsem metode s področja *odločitvene analize* (Skinner, 2009). Gre za sistematičen pristop k podpori odločanja, pri katerem v začetnih fazah temeljito preučimo odločitveni problem in njegove lastnosti: odločitvene alternative, med katerimi izbiramo, dejavnike, ki vplivajo na odločitev, morebitne vire in vzroke negotovosti, posledice odločitve, ipd. V nadaljevanju na tej osnovi izdelamo enega ali več odločitvenih modelov, s katerim ovrednotimo in analiziramo alternative ter med njimi izberemo najboljšo oziroma alternative rangiramo.

V našem primeru smo večinoma gradili *večparametrške modele*. To so modeli, pri katerih odločitvene alternative opišemo z več lastnostmi, t.j. parametri. Alternative ovrednotimo tako, da vrednosti parametrov združimo v končno oceno z izbranim postopkom agregacije. Lastnosti alternativ opišemo s spremenljivkami, ki jih

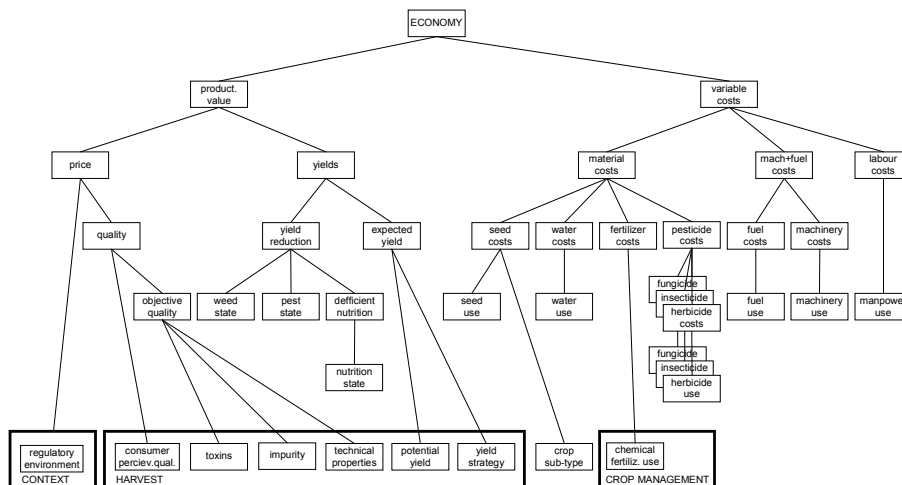
praviloma uredimo v drevo ali hierarhijo, ki ponazarja medsebojne odvisnosti: nadredne spremenljivke so odvisne od podretnih. Končne spremenljivke so torej vhodne, ena ali več korenskih spremenljivk pa predstavljajo izhode modela in podajajo končne ocene odločitvenih alternativ.

V omenjenih projektih smo uporabljali predvsem metodo večparametrskega odločanja DEX. Posebnost te metode je, da z njo gradimo *kvalitativne* večparamerske modele, pri katerih so vse spremenljivke *simbolične* (diskretne, nenumerične), agregacija po poteka na osnovi *odločitvenih pravil*, ki jih v obliki tabel definira ekspert. Metoda je podprta z domačim brezplačnim programom DEXi (Jereb s sod. 2003; Bohanec, 2008). S programom lahko takšne modele izdelamo, z njimi ovrednotimo alternative ter izdelamo različne analize, poročila in grafične prikaze. Pri gradnji modelov DEXi pomaga na različne načine, na primer samodejno preverja konsistentnost definiranih odločitvenih pravil.

3 Modeli in sistemi za podporo pri odločanju o GSO

3.1 Model »Grignon«

V tem razdelku predstavljamo nekaj konkretnih modelov in sistemov, ki smo jih razvili v okviru omenjenih projektov. Prvi je model, ki je dobil ime po mestu nastanka, namenjen pa je ocenjevanju ekoloških vplivov in ekonomskih učinkov pridelovalnih sistemov koruze (Bohanec s sod., 2008).

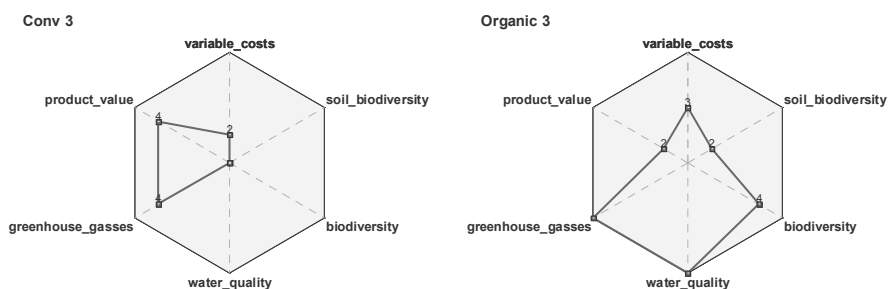


Slika 1: Del strukture modela »Grignon« za vrednotenje ekonomskih učinkov pridelovalnih sistemov (Vir: Bohanec s sod., 2008)

Osnovna »odločitvena alternativa«, ki jo vrednotimo in analiziramo s tem modelom, je sistem pridelovanja koruze, ki je bodisi GSO bodisi konvencionalna. Sistem je opisan z 22 spremenljivkami, ki opisujejo pridelovalno okolje (CONTEXT), način pridelovanja (CROP MANAGEMENT) in pričakovane lastnosti pridelka (HARVEST). Nekatere od teh spremenljivk so prikazane na spodnjem delu slike 1 in

so vhodne spremenljivke za ta del modela. Oceno ekoloških in ekonomskih vplivov dobimo s hierarhično agregacijo teh spremenljivk. Slika 1 prikazuje del strukture celotnega modela, ki ocenjuje ekonomske učinke pridelovalnih sistemov. Kot vidimo, gre predvsem za oceno na osnovi vrednosti proizvoda (*product value*) in variabilnih stroškov (*variable costs*). Prve ocenimo s poddrevesi za oceno cen (*price*) in količine pridelka (*yields*), druge pa na osnovi ocen posameznih vrst stroškov, ki nastajajo pri proizvodnji.

Kaj lahko pridobimo s takšnim modelom? Model sam po sebi predstavlja nek formaliziran zapis znanja in pravil za vrednotenje pridelovalnih sistemov, ki ga lahko pregledujemo, komentiramo in spreminjamo. To je pomembno v primerih, kjer pri gradnji modela in študiju alternativ sodeluje več ekspertov. Drugič, model združuje interdisciplinarno znanje z različnih področij – v našem primeru ekologije in ekonomije. Seveda pa je glavna funkcija modela ta, da z njim vrednotimo in analiziramo različne sisteme pridelovanja. Slika 2 prikazuje primer vrednotenja dveh sistemov, konvencionalnega in organskega. Poleg ekonomskih (model s slike 1) so prikazane tudi ocene ekoloških vplivov – vidimo, da je organski sistem slabši z ekonomskega vidika, a precej privlačnejši z ekološkega.



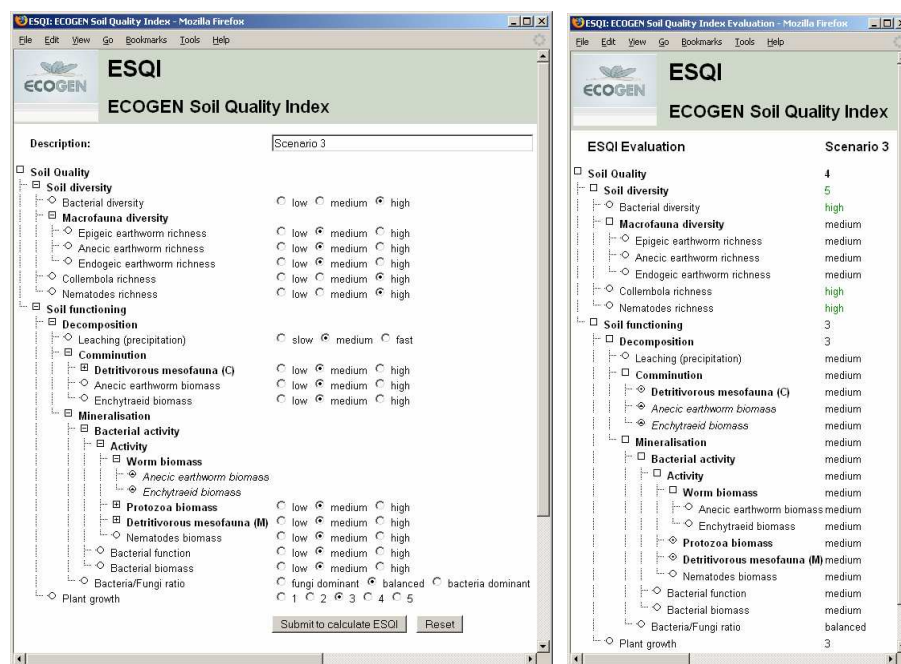
Slika 2: Rezultati vrednotenja dveh pridelovalnih sistemov, konvencionalnega in organskega (Vir: Bohanec s sod., 2008)

3.2 Model in sistem ESQI

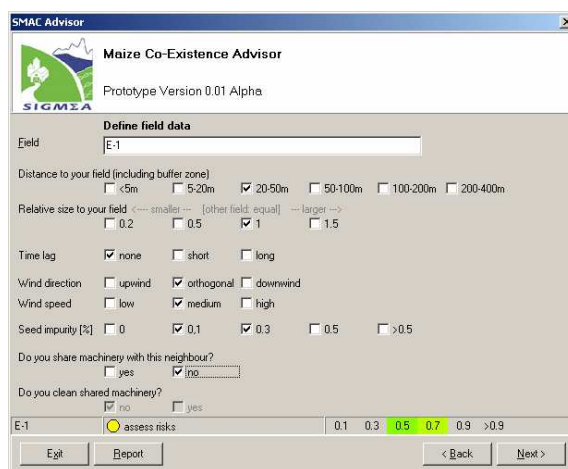
Drugi model, ki ga predstavljamo, je nastal v okviru projekta ECOGEN (Bohanec s sod., 2007). Namenjen je ocenjevanju vplivov GSO in konvencionalnih sistemov pridelovanja na kakovost prsti. Model imenujemo ESQI (ECOGEN Soil Quality Index) in je sestavljen iz 21 osnovnih in 13 izpeljanih parametrov. Osnovni parametri opisujejo biološko sestavo in raznovrstnost organizmov v prsti ter zmožnost prsti za izvajanje funkcij, kot sta razgradnja in mineralizacija. Z združevanjem vrednosti teh parametrov dobimo relativno oceno kakovosti prsti (uporabljena je kakovostna merska lestvica od 1 do 5). S tem modelom smo v projektu ECOGEN ovrednotili osem pridelovalnih sistemov in zaznali manjše, vendar ne bistvene razlike med pridelovanjem GSO in konvencionalne koruze.

Na tem mestu bi radi posebej poudarili, da smo model ESQI, ki smo ga sprva razvili s programom DEXi, realizirali tudi tako, da je dostopen preko spletne strani (<http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/ESQI/ESQI.php>). Kakor kaže slika 3, lahko uporabnik na prvem zaslonu vnese vhodne podatke o prsti (leva stran slike), na drugem pa dobi oceno kakovosti prsti ('4' na desni strani slike). Prikazane se tudi komponente te

ocene, v tem primeru '5' za raznovrstnost in '3' za funkcije prsti. Takšna razgradnja lahko pomaga pri razumevanju, zakaj je končna ocena takšna, kot je. Spletna stran ponuja tudi možnost 'rezanja' vej drevesa kriterijev tam, kjer podrobni vhodni podatki niso znani, ampak jih le ocenimo na ravni ene od više ležečih spremenljivk. Na sliki 3 je takšen primer pri spremenljivkah *Protozoa biomass* in *Detritivorous mesofauna (M)*.



Slika 3: Primer delovanja spletne strani ESQI (Vir: Bohanec s sod., 2007)



Slika 4: Prikaz delovanja programa SMAC Advisor (Vir: Bohanec s sod., 2006)

3.3 Model in sistem SMAC

SMAC (SIGMEA MAize Co-existence) je model, s katerim ugotavljamo, ali in do kakšne mere je možno sožitje pri pridelovanju GSO in konvencionalne koruze. Osnovna »odločitvena alternativa« je opisana kot razmerje med dvema poljema, kjer na enem pridelujemo konvencionalno, na drugem pa GSO koruzo. Razmerje opišemo s podatki, kot so oddaljenost med poljema, njuna relativna velikost, smer in jakost vetra, kakovost uporabljenega semena, ipd. Na tej osnovi model oceni pričakovano stopnjo prenosa peloda med poljema oziroma delež naključne prisotnosti GSO v konvencionalnem pridelku.

Model ima 13 osnovnih in 8 izpeljanih parametrov ter je podrobno opisan v Bohanec s sod. (2006). Na tem mestu naj le omenimo dve pomembni dejstvi. Prvič, velik del tega modela ni bil razvit »ročno«, kar je sicer običajen postopek, ampak smo ga izpeljali iz rezultatov simulacijskega sistema MAPOD (Messéan s sod., 2006). MAPOD je program, ki simulira dogajanje na polju med opráševanjem in to na ravni posameznih bilk. Je zapleten in deluje počasi, vendar ponuja dokaj dobro oceno izmenjave peloda. Drugič, tudi v tem primeru smo izdelani model vgradili v pripomoček za podporo pri odločanju. Izdelali smo program *SMAC Advisor* (slika 4), ki na način računalniškega »čarovnika« vodi uporabnika skozi posamezne korake zajemanja podatkov in mu sproti prikazuje pričakovane stopnje naključne prisotnosti GSO.

3.4 Sistem za podporo odločanja Co-Extra

V okviru projekta Co-Extra smo razvili sistem za podporo pri odločanju (t.i. *Co-Extra DSS*), ki med drugim vsebuje osem kvalitativnih večparametrskih modelov. Ti se nanašajo na različne odločitvene probleme, ki nastopajo v preskrbovalni verigi z navadno in GSO hrano ali krmo in ki so zanimivi za različne uporabnike, od kmetijskih proizvajalcev do analitskih služb in zakonodajalcev. Projekt se je zaključil septembra 2009 in rezultati projekta večinoma še niso objavljeni. Zato naj na tem mestu le na kratko naštejemo sklope modelov in modele, ki so bili izdelani in vključeni v Co-Extra DSS:

1. sklop modelov za ocenjevanje metod:
 - modela *AM_DNAex* in *AM_DetQuant*: ocenjevanje primernosti analitskih metod za ekstrakcijo, detekcijo in kvantifikacijo DNA,
 - model *SM*: ocenjevanje primernosti metod vzorčenja;
2. sklop modelov za ocenjevanje proizvodov na osnovi podatkov o sledenju:
 - model *UGM*: presoja možne prisotnosti nedovoljenih GSO (Žnidaršič s sod., 2009),
 - model *TM*: presoja preseganja dovoljene vsebnosti GSO (običajno 0,9 %);
3. sklop modelov za oceno naključne prisotnosti GSO pri proizvodnji:
 - model *RM*: pri regionalni proizvodnji koruze,
 - model *Dryer*: pri siliranju in sušenju koruze,
 - model *Starch*: pri proizvodnji škroba.

4 Diskusija

Prikazani primeri dokazujejo, da se je metoda kvalitativnega večparametrskega modeliranja, podprta z domačim programom DEXi, zelo uveljavila pri reševanju širokega spektra odločitvenih problemov, povezanih z uvajanjem in uporabo GSO. Da se je metodologija res »prijela«, dokazujejo primeri drugih projektov, pri katerih jo uporabljajo. Tako je na primer skupina francoskih avtorjev izdelala sistem MASC za presojo trajnostnih vidikov pridelovalnih sistemov (Sadok s sod., 2009). V okviru projekta ENDURE (2007-2010) pa razvijajo kompleksne modele DEXi na področju varovanja pridelkov.

Kje so razlogi za uspeh? Na prvem mestu je verjetno to, da DEXi ponuja pristop, ki je komplementaren pristopom, ki trenutno prevladujejo na področju GSO – to so pristopi, ki temeljijo na podrobnem, »globokem« modeliranju zakonitosti in simuliranju procesov na praviloma ozkih problemskih področjih. Takšni modeli so praviloma numerični, pogosto zapleteni, njihov razvoj in verifikacija pa lahko trajata več let. Tipičen primer takšnega pristopa je že omenjeni MAPOD. DEXi je na drugi strani veliko »lahkotnejši«. Z njim razvijamo »plitve« modele, torej modele, ki le opisujejo vzročno-posledične relacije med spremenljivkami in se ne ukvarjajo z globljimi razlogi zanje. Modeli DEXi vsebujejo komponente, ki so v osnovi preproste in razumljive večini uporabnikov: simbolične spremenljivke, hierarhijo spremenljivk in odločitvena pravila tipa 'če-potem'. K temu je treba dodati še učinkovite mehanizme, s katerimi program DEXi pomaga uporabniku pri definiranju omenjenih komponent in ohranjanju njihove logične konsistentnosti. Razvoj modelov DEXi je zato razmeroma hiter. Večino modelov, opisanih v tem prispevku, smo razvili v obdobju od nekaj dni do kvečjemu nekaj tednov.

Kot pomembno prednost metode DEXi so sodelujoči raziskovalci omenjali tudi priložnost, da znotraj enega modela združijo in enakovredno obravnavajo dejavnike, ki izvirajo z zelo različnih področij. Tako smo na primer v modelu »Grignon« (razdelek 3.1) združili ekonomske in ekološke dejavnike, slednje pa obravnavali z zelo različnih vidikov, kot so biološka raznovrstnost, kakovost voda, toplogredni plini, ipd. Takšen model torej lahko razumemo kot nekakšno »pokrivalo«, ki združuje različne discipline. To je pomembno, saj na ta način metoda podpira sodelovanje med eksperti z različnih področij, hkrati pa ponuja osnove za strateško upravljanje in odločanje na področju uporabe GSO, ki je nujno interdisciplinarno.

Seveda pa je ob tem treba poudariti, da DEXi-jeva »lahkotnost« hkrati pomeni tudi njegovo slabost. Modeli DEXi so simbolični, zato so do neke mere tudi nenatančni, njihovi rezultati pa so le približne ocene. Ker so spremenljivke modela diskretne, lahko nastopi problem ločljivosti, ko model ni sposoben razlikovati med alternativami, ki se med seboj le malo razlikujejo. »Plitva« narava odločitvenih pravil ne omogoča globljega vpogleda v zakonitosti, ki veljajo na obravnavanem področju, s tem pa je omejena tudi možnost razlage rezultatov. Prav zato menimo, da je DEXi komplementaren obstoječim pristopom in da lahko še boljše rezultate pričakujemo ob primerni kombinaciji obeh.

Program DEXi je bil sprva zasnovan kot izobraževalni program za pouk odločitvenega modeliranja na gimnazijah in univerzah (Krapež in Rajkovič, 2003). To pomeni, da so bile vanj vključene le najbolj pomembne funkcije in da je bila posebna pozornost posvečena sistematičnemu in preprostem uporabniškemu vmesniku. Kot kaže, je ravno ta preprostost prepričala mnoge uporabnike. Po drugi strani pa je

pravzaprav presenetljivo, da je že osnovna različica programa omogočala razvoj zelo resnih, tehtnih in praktično uporabnih modelov. Kljub temu moramo ugotoviti, da odločitveni modeli s področja GSO sodijo med najbolj zahtevne od vseh, kar smo jih razvijali doslej, in da je DEXi pogosto »pokal po šivih«. Prav modeli s področja GSO so bili povod, da smo DEXi postopoma razširili s funkcijami, kot so:

- povezovalne (»link«) spremenljivke, ki omogočajo razširitev strukture modela z drevesne na splošno hierarhijo (t.j. usmerjen acikličen graf);
- nove metode analize alternativ: analiza »±1«, selektivna razlaga rezultatov vrednotenja, primerjava alternativ;
- uvažanje in izvažanje podatkov.

Tam, kjer arhitektura programa DEXi ni omogočala razširitev, smo razvili dopolnilna prototipna orodja, na primer program *proDEX* (Žnidaršič s sod., 2006, 2008). Ta med drugim omogoča uporabo numeričnih spremenljivk in definiranje odločitvenih pravil, ki vsebujejo verjetnostne porazdelitve izidov. Pomembno vlogo ima tudi program *DEXiEval*, ki omogoča uporabo razvitih modelov na različnih računalniških platformah.

5 Zaključki

V prispevku smo predstavili metodo kvalitativnega modeliranja DEX, program DEXi ter nekaj modelov za podporo pri odločanju na področju uporabe GSO. Menimo, da se je metoda izkazala za zelo uporabno in da omogoča predvsem naslednje:

- integracijo in transparentno predstavitev odločitvenega znanja v obliki hierarhične strukture kvalitativnih spremenljivk in odločitvenih pravil,
- komuniciranje in izmenjavo znanja med eksperti z različnih področij,
- aktivno vrednotenje in analizo odločitvenih alternativ,
- operacionalizacijo odločitvenih postopkov v obliki modelov in računalniških orodij (npr. opisana spletna stran ESQI in program SMAC Advisor).

Modeli s področja GSO sodijo med najbolj zahtevne in zapletene. Tehnološke rešitve, ki jih ponuja program DEXi, so zadovoljive, vendar obstaja jasna potreba po novih, zmogljivejših orodjih za večparametrsko modeliranje. Posebej zanimive nove funkcije bi bile naslednje:

- možnost kombiniranja kvalitativnih in kvantitativnih spremenljivk v okviru istega modela,
- razširitev na verjetnostna in mehka (fuzzy) odločitvena pravila,
- dodatni načini predstavitve pravil agregacije, npr. z odločitvenimi drevesi,
- možnost obravnavanja odločitvenih alternativ, ki so sestavljene iz manjših komponent (t.i. relacijski odločitveni modeli),
- metode za avtomatizirano preoblikovanje strukture modela in pripadajočih odločitvenih pravil,
- metode za gradnjo ali revizijo modelov iz podatkov (na primer iz rezultatov, pridobljenih s simulacijskimi modeli, primer SMAC),
- možnost povezovanja z zunanji bazami podatkov,
- metode za podporo kolaborativnega razvoja modelov, tudi preko spleta.

6 Literatura

- Bohanec, M., Messéan, A., Angevin, F., Žnidaršič, M., 2006. SMAC Advisor: A decision-support tool on coexistence of genetically-modified and conventional maize. In: Proc. Information Society IS 2006, Ljubljana, 9-12.
- Bohanec, M., Cortet, J., Griffiths, B., Žnidaršič, M., Debeljak, M., Caul, S., Thompson, J., Krogh, P.H., 2007. A qualitative multi-attribute model for assessing the impact of cropping systems on soil quality. *Pedobiologia* 51(3), 207-218.
- Bohanec, M., Messéan, A., Scatista, S., Angevin, F., Griffiths, B., Krogh, P.H., Žnidaršič, M., Džeroski, S., 2008: A qualitative multi-attribute model for economic and ecological assessment of genetically modified crops. *Ecological Modelling* 215, 247-261.
- Bohanec, M., 2008: DEXi: Program for multi-attribute decision making, User's manual, Version 3.00. IJS Report DP-9989, Jožef Stefan Institute, Ljubljana.
- Co-Extra, 2006-2009. GM and non-GM supply chains: Their co-existence and traceability. Projekt 6. okvirnega programa EU, FP6-FOOD-2005-7158: <http://www.coextra.eu/>
- ECOGEN, 2003-2006. Soil ecological and economic evaluation of genetically modified crops. Projekt 5. okvirnega programa EU, QLK5-CT-2002-01666: <http://www.ecogen.dk>
- ENDURE, 2007-2010. European network for the durable exploitation of crop protection strategies. Projekt 6. okvirnega programa EU, FP6-FOOD-2007-031499: <http://www.endure-network.eu/>
- Hails, R., 2002. Assessing the risks associated with new agricultural practices. *Nature* 418, 685-688.
- Jereb, E., Bohanec, M., Rajkovič, V., 2003: DEXi: Računalniški program za večparametrsko odločanje, Moderna organizacija, Kranj.
- Krapež, A., Rajkovič, V., 2003: Tehnologije znanja pri predmetu Informatika. Zavod Republike Slovenije za šolstvo.
- McKeown, A., 2008. Genetically modified crops only a fraction of primary global crop production. Worldwatch Institute, <http://www.worldwatch.org/node/5950>
- Messéan, A., Angevin, F., Gómez-Barbero, M., Menrad, K., Rodríguez-Cerezo, E., 2006: New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture. European Commission, Technical Report EUR 22102 EN.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.-E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Messéan, A., Doré, T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 29 (2009) 447-461.
- SIGMEA, 2004-2006. Sustainable introduction of genetically modified crops into European agriculture. Projekt 6. okvirnega programa EU, SSP1-2002-502981: <http://sigmea.dyndns.org/>
- Skinner, D.C., 2009. Introduction to decision analysis. 3rd Edition. Probabilistic Publishing.
- Uzogara, S.G., 2000. The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: A review. *Biotechnology Advances* 18(3), 179-206.
- Žnidaršič, M., Bohanec, M., Zupan, B., 2006. proDEX – A DSS tool for environmental decision-making. *Environmental Modelling & Software* 21, 1514-1516.
- Žnidaršič, M., Bohanec, M., Zupan, B., 2008: Modelling impacts of cropping systems: Demands and solutions for DEX methodology. *European Journal of Operational Research* 189, 594-608, 2008.
- Žnidaršič, M., Bohanec, M., Kok, E.J., Prins, T.W., 2009: Qualitative risk assessment for adventitious presence of unauthorized genetically modified organisms. Proc. ISIT 2009, 1st International Conference on Information Society and Information Technologies, Novo mesto.