



**Optimizacija pristopov za trajnostno
pridelavo hrane in večji delež**

lokalno pridelane hrane

Vsebinsko poročilo CRP V2-2009

Maribor, maj 2023



Univerza v Mariboru

Fakulteta za kemijo
in kemijsko tehnologijo

Vsebinsko poročilo CRP V2-2009

Optimizacija pristopov za trajnostno pridelavo hrane in večji delež lokalno pridelane hrane

Šifra projekta:

V2-2009

Naslov projekta:

**Optimizacija pristopov za trajnostno pridelavo
hrane in večji delež lokalno pridelane hrane**

[ang. Optimizing the approaches for sustainable food
production and higher proportion of locally produced food]

Trajanje projekta:

1. 11. 2020 - 30. 4. 2023

**Nosilna raziskovalna
organizacija:**

**Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in
kemijsko tehnologijo**

Vodja projekta:

dr. Zorka Novak Pintarič

Avtorji:

**Jan Drogenik, dr. Zorka Novak Pintarič,
dr. Bojan Pahor, dr. Zdravko Kravanja,
dr. Miloš Bogataj, dr. Klavdija Zirngast**

Projekt sta financirala Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenija v okviru Ciljnega raziskovalnega programa »Zagotovimo.si hrano za jutri« v letu 2020



Kazalo

Kazalo	1
Zahvala	3
Povzetek	4
Abstract	5
Seznam tabel	6
Seznam slik	6
Uporabljene kratice	7
1 Uvod	9
1.1 Opredelitev problema	9
1.2 Cilji	10
1.3 Zastavljene hipoteze	10
1.4 Pregled literature	11
2 Metode dela	12
2.1 Strategija za analizo in optimizacijo prehranske verige	12
2.2 Predpostavke in omejitve	13
2.3 Razvoj matematičnega modela za optimizacijo	14
2.3.1 Opis glavnih skupin enačb in neenačb v modelu	14
2.3.2 Uporaba modela	15
2.4 Definiranje scenarijev	17
2.4.1 Scenariji z določenimi spremembami v prehranski oskrbovalni verigi	17
2.4.2 Scenariji z optimizacijo različnih kriterijev	17
2.5 Vključevanje negotovosti	18
3 Rezultati	20
3.1 Zbiranje, analiza in strukturiranje podatkov	20
3.1.1 Obdelovalne površine in njihov status	20
3.1.2 Hektarski donosi	23
3.1.3 Poraba rastlinskih in živalskih pridelkov ter stopnje samooskrbe	23
3.1.4 Emisije toplogrednih plinov, ki izvirajo iz pridelave različnih vrst pridelkov	24
3.1.5 Vnosi dušika s strani živali pri pridelavi pridelkov živalskega izvora	25
3.1.6 Konverzijski faktorji pretvorbe krme v hrano živalskega izvora	26
3.1.7 Vrste in količine odpadne hrane	26
3.2 Analiza izgub hrane in odpadne hrane ter možnosti pridobivanja toplote	28
3.2.1 Ocena izgub in odpadne hrane po stopnjah verige in po vrstah hrane	28
3.2.2 Ocena potenciala za pridobivanje toplote	30
3.3 Rezultati optimiranja s ciljnim (target) matematičnim modelom	31
3.3.1 Rezultati prve skupine scenarijev z diskusijo	31
3.3.2 Rezultati druge skupine scenarijev z diskusijo	35
3.4 Rezultati optimiranja z omejitvami naročnika	40
3.5 Rezultati optimiranja z vključitvijo negotovosti	44
3.5.1 Analiza občutljivosti oz. vplivov spremenljivih hektarskih donosov	44
3.5.2 Deterministični pristop za upoštevanje spremenljivih hektarskih donosov	47
3.5.3 Stohastični pristop za upoštevanje spremenljivih hektarskih donosov	47
4 Diskusija rezultatov	51
5 Zaključek	54
6 Literatura	56
7 Seznam publikacij, ki so nastale v okviru projekta	59
8 Priloge	61



8.1	Izhodiščna tabela za oceno izgub hrane in odpadne hrane	61
8.2	Optimizacijski model za scenarij 1	61



Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije za financiranje ciljnega projekta V2-2009.

Posebej se zahvaljujemo vsebinskima spremljevalkama Tadeji Kvas Majer in dr. Poloni Grahovac za usmerjanje pri izvajanju projekta. Hvala tudi Metki Kalinšek, Jani Erjavec in Lili Lučić za nasvete in podporo.

Zahvaljujemo se strokovnjakom za koristne nasvete in informacije: dr. Črtomirju Rozmanu, dr. Petru Rasporju, dr. Igorju Praustu, dr. Jožetu Verbiču, dr. Mojci Korošec, dr. Ilji Gasanu Osojniku Črnivcu, Sari Bele, Lari Habič.

Hvala Branku Majeriču in družini Pignar, da so nam omogočili ogled njihovih kmetij in za številne informacije, ki smo jih prejeli od njih.

Prav tako hvala Niku Miholiču iz podjetja PanOrganix, Klemenu Kaučiču in dr. Mitji Krajncu iz podjetja ŽIPO Lenart ter podjetjema Perutnina Ptuj in Panvita za podatke in diskusije.



Povzetek

Glavni cilj projekta V2-2009 je bila izvedba večkriterijske optimizacije celotne prehranske oskrbovalne verige z namenom bolj trajnostne pridelave hrane in povečanja lokalno pridelane hrane. Uporabljen je bil procesno sistemski pristop, ki obravnava oskrbovalne verige celovito in integrirano.

V prvi fazi projekta so bili zbrani podatki, ki so bili analizirani, agregirani in preračunani na način, ki omogoča direktno vključitev v optimizacijo in primerjavo različnih sprememb oz. scenarijev razvoja prehranske verige. Preučene so bile strategije, dogovori in direktive, ki usmerjajo razvoj kmetijske politike in postavljen koncept za njihovo vključitev v optimizacijski model.

Osrednja aktivnost projekta je bila razvoj matematičnega optimizacijskega modela celotne prehranske verige. Ta je bil postavljen kot ciljni model (angl. target), ki razporeja kmetijske površine za pridelke ter izračuna optimalne količine pridelkov in število živali v reji. Identificirani so bili glavni indikatorji prehranske oskrbovalne verige in razvrščeni v tri stebre trajnostnega razvoja: družbeni, okoljski in ekonomski. Z optimiranjem različnih scenarijev so bile ugotovljene glavne sinergije in nasprotja med indikatorji, pri čemer je najbolj očitni konflikt med količino pridelane hrane in okoljskimi vplivi. Zato je bila formulirana večkriterijska namenska funkcija, s katero dosežemo kompromisne in trajnostne rešitve. Ciljni model je bil nato pretvorjen v model z omejitvami, ki so bile postavljene s strani Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, da bi dosegli rešitve, ki so realneje izvedljive v praksi. Obdelani scenariji sprememb v prehranskem sistemu kažejo, da obstaja potencial za povečanje stopnje samooskrbe z optimizacijo razporejanja obdelovalnih površin, zlasti s povečanjem površin za pridelavo rastlinske hrane za ljudi.

Pomemben del raziskave je obravnaval oceno razdelitve odpadne hrane po vrstah v posameznih stopnjah prehranske verige, kar je omogočilo oceno letnega energetskega potenciala odpadne hrane, ki znaša 431 TJ pri pretvorbi v bioplin in 417 TJ pri pretvorbi v bioogljje s procesom torefikacije. To bi zadoščalo za približno 1 % energijskih potreb slovenskih gospodinjstev. Na tej osnovi je bilo izvedeno konceptualno načrtovanje izkoriščanja bioplina, nastalega iz odpadne hrane, s patentirano rešitvijo, ki povezuje toplotno črpalko in kogeneracijsko (SPTE) enoto in ima 195 % izkoristek primarnega goriva.

Izvedeno je bilo tudi optimiranje prehranske oskrbovalne verige z upoštevanjem negotovosti hektarskih pridelkov. Zato je bil matematični model predelan v obliko za uporabo determinističnega in stohastičnega pristopa. Rezultati kažejo, da je prehranska veriga občutljiva na nihanja vhodnih podatkov, zato se nakazujejo področja za nadaljnje raziskave zlasti pri pridobivanju točnejših vhodnih podatkov in preciznemu prilagajanju optimizacijskega modela, s čemer bi se dodatno izboljšali kvaliteta in uporabnost rezultatov.



Abstract

The main objective of the V2-2009 project was to conduct a multi-criteria optimization of the entire food supply chain with the aim of achieving more sustainable food production and increasing the proportion of locally produced food. A process systems approach was used to provide a comprehensive and integrated view of supply chains.

The first phase of the project collected data that was analyzed, aggregated, and calculated in a way that could be used directly to optimize and compare different food chain development scenarios. Strategies, agreements, and guidelines that guide the development of agricultural policies were studied and a concept was created for their inclusion in the optimization model.

The central activity of the project was the development of a mathematical optimization model for the entire food chain. This was created in the form of a target model that allocates agricultural land and calculates the optimal amounts of crops and number of animals in agriculture. Key food supply chain indicators were identified and categorized into three pillars of sustainable development: Social, Environmental and Economic. By optimizing different scenarios, the main synergies and conflicts between indicators were identified, with the conflict between the amount of food produced and environmental impacts being the most evident. Therefore, a multi-criteria objective function was formulated to generate compromise and sustainable solutions. The target model was then transformed into a model with constraints set by the Ministry of Agriculture, Forestry and Food to generate solutions that are more feasible in practice. The scenarios for changes in the food system show that there is potential to increase self-sufficiency by optimizing the allocation of cropland, especially by increasing the amount of land devoted to growing plant foods for humans.

An important part of the research dealt with the evaluation of the distribution of food waste by species at different stages of the food chain, which allowed the evaluation of the annual energy potential of food waste, which is 431 TJ when converted into biogas and 417 TJ when converted into biochar through the torrefaction process. This would be sufficient for about 1 % of the energy needs of Slovenian households. On this basis, a concept for the use of biogas from food waste was created with a patented solution combining a heat pump and a combined heat and power (CHP) unit with a primary energy efficiency of 195 %.

Optimization of the food supply chain was also performed, taking into account the uncertainty of yields per hectare. For this purpose, the mathematical model was reformulated to use a deterministic and stochastic approach. The results show that the food supply chain is sensitive to variations in input data. This suggests areas where further research is needed, particularly in obtaining more accurate input data and fine tuning the optimization model, which would further improve the quality and usability of the results.



Seznam tabel

Tabela 1: Vrednost hektarskih donosov (t/ha) za različne načine pridelave	23
Tabela 2: Konverzijski faktorji pretvorbe krme v hrano živalskega izvora	26
Tabela 3: Porazdelitev odpadne hrane po vrstah in stopnjah prehranske verige	29
Tabela 4: Rezultati prve skupine scenarijev	33
Tabela 5: Velikosti površin pri prvi skupini scenarijev (vse vrednosti v ha)	34
Tabela 6: Rezultati druge skupine scenarijev	38
Tabela 7: Velikosti površin pri drugi skupini scenarijev (vse vrednosti v ha)	39
Tabela 8: Spodnje in zgornje meje samooskrbe za nekatere pridelke	40
Tabela 9: Rezultati optimiranja z omejitvami	42
Tabela 10: Velikosti površin pri optimiranju z omejitvami (vse vrednosti v ha)	43
Tabela 11: Vrednosti hektarskih donosov (t/ha) za konvencionalni način pridelave	44
Tabela 12: Vpliv hektarskih donosov na ključne parametre kmetijske pridelave	45
Tabela 13: Velikosti površin pri različnih donosih (vse vrednosti v ha)	46
Tabela 14: Rezultati determinističnega pristopa	48
Tabela 15: Rezultati stohastičnega pristopa (primerjalno z determinističnim)	49
Tabela 16: Površine pri determinističnem in stohastičnem pristopu (vse vrednosti v ha)	50

Seznam slik

Slika 1: Razdelitev scenarijev po vidikih trajnostnega razvoja	18
Slika 2: Porazdelitev kmetijskih površin in hektarski donosi [13]	20
Slika 3: Porazdelitev kmetijskih površin glede na namen [13]	21
Slika 4: Deleži različnih pridelkov, namenjenih za krmo živali [13]	21
Slika 5: Deleži različnih pridelkov, namenjenih za hrano ljudi [13]	22
Slika 6: Razdelitev površin glede na omejitve po evidenci GERK [13]	22
Slika 7: Prikaz porabe različnih živil na prebivalca in stopnja samooskrbe [13]	24
Slika 8: Emisije TGP pri pridelavi različnih pridelkov	25
Slika 9: Vnosi dušika pri pridelavi pridelkov živalskega izvora	25
Slika 10: Izvor odpadne hrane [21]	27
Slika 11: Ravnanje z odpadno hrano [21]	27
Slika 12: Shema oskrbovalne verige z bilanco odpadne hrane za hrano rastlinskega izvora	29
Slika 13: Shema oskrbovalne verige z bilanco odpadne hrane za hrano živalskega izvora	30



Uporabljene kratice

LP	linearno programiranje
MILP	mešano celoštevilsko linearno programiranje
OMD	območja z omejenimi možnostmi za kmetijsko dejavnost
OZN	Organizacija združenih narodov
SDG	cilji za trajnostni razvoj (angl. Sustainable Development Goals)
SPTE	sočasna proizvodnja toplote in električne energije
TGP	toplogredni plini
WCRF	Svetovni sklad za raziskovanje raka (angl. World Cancer Research Fund)





1 Uvod

Prehranska oskrbovalna veriga je obsežen in kompleksen sistem, ki vključuje številne deležnike, kot so pridelovalci in predelovalci hrane rastlinskega in živalskega izvora, distributerji in trgovci s hrano, gostinska podjetja, porabniki hrane ter zbiralci in predelovalci odpadne hrane. Področje je regulirano s številnimi slovenskimi in evropskimi strategijami, resolucijami in predpisi. Sprejemanje odločitev na tako kompleksnem in obsežnem področju zahteva računsko podprte pristope, ki obravnavajo vse člene prehranske oskrbovalne verige povezano, kajti le na ta način je mogoče ustrezno upoštevati sinergije in nasprotja med njimi ter generirati optimalne rešitve. Zato je osrednja tema tega raziskovalnega dela celovito, računsko in optimizacijsko podprto obravnavanje prehranske verige v Sloveniji, kar je mogoče doseči z uporabo procesno sistemskega pristopa in matematičnega optimiranja.

1.1 Opredelitev problema

Evropska unija je leta 2019 sprejela Evropski zeleni dogovor [1], katerega glavni cilj je, da bi Evropa postala podnebno nevtralna do leta 2050. Kmetijstvo po nekaterih ocenah prispeva med 25 % in 30 % vseh emisij toplogrednih plinov (TGP) [2], zato so potrebni različni ukrepi za zmanjšanje emisij, npr. razvoj načinov pridelave z manjšo porabo umetnih gnojil, spremembe prehranjevalnih navad v smeri bolj zdrave prehrane, zmanjšanje izgub hrane in odpadne hrane. Evropska strategija Od vil do vilic [3] je postavila kmetijstvu ambiciozne cilje, kot so znižanje porabe kemikalij in nevarnih pesticidov za 50 % do leta 2030, znižanje rabe mineralnih gnojil za 20 %, povečanje površin za ekološko pridelavo na vsaj 25 % in razpolovitev odpadne hrane na nivoju trgovine in porabe. Zaradi specifičnih razmer, ki smo jim priča v zadnjih letih (pandemija, vojna, energetska in surovinska kriza, podražitve), raste motivacija za povečanje prehranske varnosti oz. deleža doma pridelane hrane.

Slovenija ima omejene obdelovalne površine za kmetijsko proizvodnjo. Površinski relief je razgiban, kar zmanjšuje možnosti za pridelavo hrane. Od vseh kmetijskih površin, ki so trenutno v uporabi, jih približno 75 % leži na območjih z omejenimi možnostmi za kmetijsko pridelavo. Obdelovalne površine se dodatno zmanjšujejo tudi zaradi pozidave in gradnje. Omenjeni razlogi vplivajo na omejeno pridelavo domače hrane, s tem pa na nižjo stopnjo prehranske samooskrbe in večjo odvisnost od uvožene hrane. Razmerje med obdelovalnimi površinami za proizvodnjo živalske krme in rastlinskih pridelkov za prehrano ljudi je v korist krme. Pri hrani rastlinskega izvora, ki se uporablja za ljudi, npr. zelenjadnice, krompir, sadje in žitarice, so stopnje samooskrbe nižje od 100 %. Nekoliko boljša je situacija pri hrani živalskega izvora, kjer izvažamo mleko, jajca ter meso in mesne izdelke goveda in piščancev, medtem ko je stopnja samooskrbe s prašiči nizka. Pokritost uvoza z izvozom je okoli 60 %.

Dodatni problem predstavljajo okoljski vplivi kmetijstva, zlasti emisije toplogrednih plinov (TGP), presežni vnos dušika, velika poraba umetnih gnojil in fitofarmaceutskih sredstev. Neugodni so tudi kazalci pri količinah izgub hrane in odpadne hrane ter poraba zaužitega rdečega mesa, ki je znatno nad priporočili zdravstvenih organizacij.

Za reševanje zgoraj navedenih ciljev je potrebno obravnavati vse deležnike v prehranski verigi integrirano ter poznati povezave, sinergije in nasprotja med njimi. Prehransko verigo je potrebno analizirati in optimirati z vidika družbenih, okoljskih in ekonomskih ciljev. Zaradi obsežnosti sistema oskrbe s hrano je sprejemanje celostnih rešitev na področju kmetijske politike zahtevno. V praksi se pogosto naslavlja manjši problemi, pri čemer se ne upošteva povezav, sinergij in odvisnosti med posameznimi členi prehranske verige. Zato rešitve, dobljene na ta način, praviloma niso celovite in optimalne s širšega vidika. Da bi presegli ta problem, je osnovna ideja projekta, da se za optimizacijo prehranske verige uporabi procesno



sistemski pristop, ki se sicer uporablja za optimizacijo industrijskih procesov in dobavnih mrež, omogoča celovito obravnavo vseh deležnikov procesa ter upošteva sinergije in povezave med njimi. Veriga preskrbe s hrano je podoben sistem, kot so dobavne verige drugih produktov, zato je uporaba procesno sistemskega pristopa z optimiranjem utemeljena.

1.2 Cilji

Glavni cilj CRP projekta V2-2009 je izdelava optimizacijskega matematičnega modela, ki omogoča analize, vrednotenja in optimizacije scenarijev različnih sprememb in ukrepov kmetijske politike za povečanje samooskrbe z lokalno pridelano hrano. Cilj teh analiz je:

- a) določiti, kateri so glavni kriteriji oz. indikatorji na področju prehranske oskrbovalne verige,
- b) razvrstiti glavne kriterije v tri stebre trajnostnega razvoja: družbenega, okoljskega in ekonomskega,
- c) ugotoviti sinergije in konflikte med posameznimi skupinami kriterijev,
- d) ugotoviti vpliv sprememb v prehranski oskrbovalni verigi na glavne kriterije,
- e) izvesti optimizacijo z različnimi kriteriji in
- f) izvesti večkriterijsko optimizacijo, ki predstavlja kompromisno rešitev med kriteriji trajnostnega razvoja.

Cilj je, da razviti optimizacijski model določi optimalne razporeditve kmetijskih površin med različne vrste hrane in krme ter določi tudi optimalne načine kmetijske pridelave. Rezultati posameznih scenarijev omogočajo oceno vpliva določene spremembe v kmetijski politiki na količine doma pridelane hrane, stopnjo samooskrbe, ekonomsko učinkovitost kmetijstva in okoljski odtis prehranske oskrbovalne verige. Rešitve različnih scenarijev so med seboj primerjane z vseh treh vidikov trajnostnega razvoja.

Poleg razvoja matematičnega modela je cilj tega projekta tudi analiza izkoristka prehranske oskrbovalne verige z vidika nastajanja izgub hrane in odpadne hrane vzdolž celotne verige ter ocena energijskega potenciala odpadne hrane.

1.3 Zastavljene hipoteze

- Zaradi velikega obsega zbranih podatkov je potrebna njihova agregacija in omejitve na najpomembnejše pridelke oz. skupine pridelkov ter na ključne kazalce, ki opisujejo stanje prehranske verige.
- Najbolj relevantni scenariji sprememb v prehranski verigi se nanašajo na okoljske zahteve in zdravstvena priporočila.
- V prehranski verigi je več pomembnih indikatorjev oz. kriterijev, ki jih je možno razvrstiti med tri stebre trajnostnega razvoja: ekonomskega, družbenega in okoljskega. Optimizacija z različnimi kriteriji vodi do povsem različnih rezultatov.
- Osnovni (ciljni) matematični model pokaže maksimalno dosegljive rešitve in razkrije nasprotja med ekonomskimi, družbenimi in okoljskimi kriteriji. Analiza teh rešitev pokaže, da v nekaterih segmentih niso uresničljive v praksi. Kljub temu je ciljni model koristen za razumevanje razmerij med dejavniki prehranske verige. Omogoča študije večkriterijskega optimiranja prehranske verige.
- Izvoz hrane zniža stopnjo samooskrbe.
- Vnašanje omejitev v model izboljša izvedljivost rezultatov v praksi, a poslabša vse tri skupine kriterijev.
- Stohastično optimiranje prehranske verige je zanimivo z raziskovalnega vidika in ima potencial za nadaljnje raziskave.



1.4 Pregled literature

Stabilna pridelava hrane in zagotovitev varne ter kakovostne hrane vsem prebivalcem sodita med najpomembnejše cilje Evropske unije in Organizacije združenih narodov (OZN), saj je približno 10 % prebivalstva še vedno podhranjeno [4]. Prehranska oskrbovalna veriga ima tudi velik vpliv na okolje. V strategiji Od vil do vilic so zapisani cilji na področju prehrane v Evropski uniji. Ta je poenotena s Cilji trajnostnega razvoja, ki jih je definirala OZN. Glavni cilji te strategije so [3]:

- a) zagotoviti prebivalcem EU dostop do zdrave, cenovno dostopne in trajnostne hrane,
- b) reševanje problema klimatskih sprememb,
- c) zaščita okolja in zagotavljanje biotske raznovrstnosti,
- d) zagotovitev poštenega ekonomskega donosa v oskrbovalni verigi,
- e) povečati delež ekološkega kmetijstva.

Obstoječi matematični optimizacijski modeli so večinoma razviti v splošni obliki in predstavljeni na podlagi podatkov ene države oz. regije. Põldaru in dr. (2018) so razvili linearno programirni (LP) matematični model, ki je minimiral kmetijske površine, ki bi zagotovile kmetijsko varnost estonskemu prebivalstvu. Model je specifičen, saj natančno določi površino za pridelavo določene vrste hrane oz. krme ter število živali [5]. Podobno je določil tudi LP model razvit s strani Sali in dr. (2016), ki je minimiral razliko med porabo in pridelavo hrane. Ta model je tudi ekonomsko ovrednotil pridelavo hrane in je bil apliciran na milansko urbano področje [6]. Nasprotja med prehransko varnostjo in negativnim vplivom na okolje so na primeru regije jezera Dönting preučevali Qi in dr. (2018) [7]. Matematično ovrednoteni so bili tudi drugi vidiki prehranske oskrbovalne verige. Ward in dr. (2014) so razvili LP model, ki je preučeval vpliv različnih vrst prehrane (visoka poraba mesa, nizka poraba mesa, vegetarijanska prehrana) na okolje [8]. LP model razvit s strani Van Kernebeek in dr. (2016) je preučeval razmerje med uporabo kmetijske zemlje, vnosom živalskih beljakovin, številom prebivalstva in kvaliteto zemlje. Ugotovili so, da je potrebno za optimalno prehrano znižati porabo mesa, še posebej mesa govedu in drobnice [9]. Reina-Usuga in dr. (2023) so z večkriterijskim modelom preučevali trajnost kratkih in dolgih oskrbovalnih prehranskih verig na primerih mest Bogota in Cordoba. Ugotovili so, da so krajše dobavne verige bolj trajnostna možnost za pridelavo in distribucijo hrane [10].

Pregled literature je pokazal, da uporaba matematičnega optimiranja na področju agroživilske verige še ni širše uveljavljena. Zelo malo je raziskav na področju optimiranja celotnih prehranskih verig, vrzel je zlasti na področju celovitega večkriterijskega optimiranja oskrbe s hrano, ki bi naslovilo vse vidike trajnostnega razvoja in omogočilo kvantitativno oceno vpliva specifičnih sprememb v pridelavi in porabi hrane na okolje in različne družbene izzive, naslovljene v strategiji Od vil do vilic.



2 Metode dela

V projektu je bil uporabljen interdisciplinarni pristop z metodami procesno systemskega inženirstva, ki so sicer uveljavljene za optimizacijo problemov v procesni industriji. To metodologijo je bilo potrebno prilagoditi za optimizacijo prehranske oskrbovalne verige v Sloveniji. V sklopu projekta je bila zato najprej razvita strategija za optimizacijo tega področja.

2.1 Strategija za analizo in optimizacijo prehranske verige

Uporabljena strategija za optimizacijo prehranske oskrbovalne verige vključuje naslednje korake:

- a) Zbiranje, analiziranje in strukturiranje podatkov. Različne organizacije, kot so agencije, inštituti in statistični urad, upravljajo zbirke podatkov, v katerih se nahajajo številne informacije, potrebne za raziskavo, kot so razpoložljiva kmetijska zemljišča, proizvodnja in poraba hrane, število prebivalcev, število zaklanih živali, uvoz in izvoz hrane, učinkovitost pretvorbe krme v pridelke živalskega izvora, emisije toplogrednih plinov (TGP), sproščanje dušika pri živalih, vnos dušika v rastline, hranilna vrednost hrane, nastajanje odpadkov in zavržene hrane itd. Pridobljeni podatki so zelo podrobni in preobsežni, da bi bili vsi vključeni v model. Zato jih je potrebno smiselno združiti, da bi bila velikost optimizacijskega modela obvladljiva. Združeni podatki se nanašajo na določene skupine živilskih izdelkov, npr. žitarice za prehrano ljudi ali žitarice za krmo živali, sadje, zelenjava, grozdje za pridelavo vina ipd.
- b) Oblikovanje scenarijev in računski analiza sprememb v prehranski oskrbovalni verigi. V tem koraku se z enostavnimi računskimi orodji, kot so preglednice v Excelu, izvedejo začetni izračuni, katerih osnovni cilj je narediti dober posnetek dejanskega stanja in s tem validirati računski model na osnovi agregiranih podatkov. S tem orodjem je nadalje možno preučevati povezave med glavnimi spremenljivkami prehranske oskrbovalne verige in ugotavljati, kje med njimi se pojavljajo sinergistični učinki in kje nasprotja. Na ta način se izvedejo prva testiranja različnih sprememb v prehranski verigi, ki jih narekujejo različne strategije in direktive, in pridobijo informacije za definiranje relevantnih scenarijev sprememb v prehranski verigi. Računski model v tem koraku ne izvaja optimizacij, kljub temu pa daje koristno znanje za razumevanje agroživilske verige ter postavitve matematičnega modela za njegovo optimizacijo.
- c) Naslednji korak naslavlja izgube hrane in odpadno hrano ter njuno potencialno energetska izrabo. Podatki o izgubah hrane in odpadni hrani za posamezne stopnje oskrbovalne verige so znani. Ni pa znana njena sestava v posamezni stopnji, s čemer bi lahko ocenili potencial za pridobivanje energije oz. toplote. Zato je v odsotnosti eksperimentalnih podatkov namen izvesti oceno sestave odpadne hrane z uporabo literaturnih podatkov, ugotoviti možne načine pretvorbe v energijo in konceptualno načrtovati procesno postrojenje.
- d) Razvoj ciljnega matematičnega modela za optimizacijo s procesno systemskim pristopom. Na osnovi informacij in znanja o prehranskem sistemu iz prejšnjih korakov je mogoče razviti t.i. ciljni (angl. target) matematični model za optimizacijo prehranske verige, ki optimira dodeljevanje obdelovalnih površin med različne pridelke, njihove količine, število glav živali ipd. Ta model se uporabi za optimizacijo različnih scenarijev in kriterijev, t.i. namenskih funkcij, s čemer pridobimo ciljne rešitve, ki pokažejo, kaj bi bilo mogoče teoretično doseči brez dodatnih omejitev, ki jih postavljajo obstoječe razmere v kmetijstvu. S temi rešitvami je mogoče identificirati obetavne trende za razvoj oskrbovalne verige s hrano v prihodnosti.



- e) Vključevanje omejitev v optimizacijski model po navodilih naročnika. Po analizi rezultatov ciljnega modela je potrebno prepoznati, katere optimalne vrednosti spremenljivk najbolj odstopajo od obstoječega stanja in naročnik za njih ocenjuje, da v realnosti ne bi bile izvedljive. Za te spremenljivke naročnik poda oceno območja vrednosti, ki bi bile po njegovi oceni dosegljive v prihodnosti. Te omejitve se vključijo v ciljni model, ki se s tem spremeni v model z omejitvami in z njim se izvede optimizacija.
- f) Optimizacija prehranske verige v pogojih negotovosti. Rezultati optimizacijskega modela so veljavni le za uporabljene vrednosti vhodnih podatkov. Če se te spremenijo, rezultati niso več optimalni. V modelu prehranske oskrbovalne verige je veliko negotovih vhodnih podatkov, npr. cene, mase trupov, emisije TGP, hektarski donosi itd. Najbolj značilni in izven dosega človekovega vpliva so vplivi vremenskih razmer na hektarske donose. Zato je v tem koraku izvedeno deterministično in stohastično optimiranje prehranske oskrbovalne verige ob negotovih vrednostih hektarskih donosov.

Vse optimizacije izvajamo v okolju GAMS¹, ki predstavlja sodobni sistem za modeliranje, programiranje in matematično optimizacijo ter vključuje številne algoritme za reševanje optimizacijskih problemov.

2.2 Predpostavke in omejitve

Pri izvajanju računskih analiz in optimizaciji prehranske oskrbovalne verige v Sloveniji so bile uporabljene naslednje predpostavke:

- a) Upoštevane so štiri stopnje prehranske verige:
- primarna pridelava hrane pred žetvijo/zakolom,
 - pridelava in predelava hrane po žetvi/zakolu,
 - distribucija in trgovina s hrano,
 - poraba hrane (na ravni gostinstva in strežbe hrane ter na ravni gospodinjstev).
- b) Kmetijski pridelki, ki so obravnavani v raziskavi, so razdeljeni v tri skupine:
- hrana rastlinskega izvora (pšenica, koruza, ječmen, krompir, zelenjadnice, sadje, grozdje)
 - rastlinska krma za živali (pšenica, koruza, ječmen, tritikala, zelena krma z njiv, krma s travnikov in pašnikov, stročnice)
 - hrana živalskega izvora (meso in mesni izdelki govedí, prašičev, perutnine in drobnice, ter jajca, kravje mleko in mlečni izdelki).

V analizi niso upoštevane ribe, oljarice in sladkorna pesa.

- c) Količine vseh pridelkov so izražene v tonah osnovnega pridelka na leto, npr. mleko in mlečni izdelki so izraženi v ekvivalentu surovega mleka, meso in mesni izdelki v masah klavnih trupov, žita in njihovi izdelki v ekvivalentu zrnja.
- d) Za kmetijsko pridelavo omenjenih pridelkov je na voljo 472 877 ha površin, ki vključujejo njive, sadovnjake, vinograde in travnike.
- e) Površine ekoloških travnikov so fiksirane na 35 445 ha.
- f) Napovedano število prebivalcev Slovenije do leta 2050 je 2 252 987.
- g) Skupna površina travnikov se ne sme znižati pod 75 % sedanjih travniških površin.

¹ <https://www.gams.com/>



- h) Upoštevani so štirje načini kmetijske pridelave: konvencionalna pridelava, ekološka pridelava, pridelava z ohranitvenim kmetijstvom in pridelava v rastlinjakih.
- i) **Predpostavljeno je, da se hektarski donosi ne spreminjajo. V modelu je za vsak pridelek uporabljeno povprečje zadnjih štirih let (2018 do 2021), za katera so na voljo podatki za konvencionalno pridelavo. Za ekološko pridelavo je predpostavljeno, da so hektarski donosi enaki polovični vrednosti konvencionalne pridelave, za pridelavo z ohranitvenim kmetijstvom pa 95 % konvencionalnih donosov. Za rastlinjake so predvidene le zelenjadnice s pridelavo v tleh na konvencionalni način. Uporaba hidroponike v tej fazi projekta ni vključena v model.**
- j) Uporabljena je poenostavitev, da so cene in stroški določene vrste pridelkov enaki tako za nepredelano hrano kot tudi za vso predelano hrano, pridobljeno iz te vrste pridelka. Prav tako so enaki cene in stroški pridelave določene vrste pridelkov ne glede na način pridelave.

2.3 Razvoj matematičnega modela za optimizacijo

Matematični model, ki smo ga razvili v okviru projekta, sestoji iz skupin enačb in neenačb, s katerimi matematično opišemo masne in finančne tokove prehranske verige. Podrobnejši zapis enačb je na voljo v članku Drogenik in dr. (2023) [11].

2.3.1 Opis glavnih skupin enačb in neenačb v modelu

Skupna površinska bilanca. Vsota vseh površin, ki jih optimizer dodeli posameznim pridelkom in ob tem določi tudi optimalni način pridelave, ne sme preseči razpoložljivih 472 877 ha.

Masne bilance. S temi enačbami se izračuna, koliko posameznega pridelka v tonah na leto se lahko pridela na dodeljeni površini in ob izbranem optimalnem načinu pridelave. **Kot že omenjeno, so mase vseh pridelkov in njihovih izdelkov izražene v tonah ekvivalenta osnovnega pridelka, kot npr. v tonah surovega mleka pri mleku in mlečnih izdelkih, zrnja pri žitaricah, klavnih trupov pri živalih.**

Postavljen je pogoj, da je masa pridelanih in uvoženih pridelkov enaka masi porabljenih in izvoženih pridelkov. Domača prireja mesa skupaj z maso uvoženih živih živali je enaka masi trupov zaklanih živalih in izvoženih živih živali. Domača poraba mesa in mesnih izdelkov skupaj z maso izvoženega mesa in mesnih izdelkov je enaka vsoti mas zaklanih živali in uvoženega mesa in mesnih izdelkov. Glede na optimalno določeno število živih živali se izračuna tudi optimalna količina potrebne krme za živali.

Ocene okoljskih vplivov. Glede na določeno optimalno pridelavo hrane rastlinskega in živalskega izvora se izračunajo letne emisije TGP v tonah ekvivalenta CO₂. Glede na razporeditev obdelovalnih površin med različne pridelke in načine pridelave se izračuna potrebna količina umetnih gnojil. Izračuna se tudi presežna količina dušika kot vsota vnešenega dušika preko živalskega gnoja in umetnih gnojil, zmanjšana za maso dušika, ki ga rastline počrpajo iz zemlje za rast.

Ocena ekonomskega dobička. Ekonomika prehranske oskrbovalne verige je poenostavljeno ocenjena kot skupni dobiček celotne verige, ki se izračuna kot razlika med vsemi prihodki, pridobljenimi s prodajo pridelkov in vsemi odhodki, ki jih predstavljajo stroški pridelave.

Izračun stopenj samooskrbe. V modelu se izračunajo stopnje samooskrbe za vse vrste pridelkov, navedenih v poglavju 2.2 in sicer kot razmerje med pridelano in porabljeno hrano posameznega pridelka. Pri tem vrednosti samooskrbe, ki so višje od 100 %, nakazujejo, da se ta vrsta hrane izvaža. Vrednosti nižje od 100 % nakazujejo, da je potreben uvoz te vrste hrane. Izračunava se tudi skupna stopnja samooskrbe s hrano za ljudi, tako da se vsota vseh vrst pridelane hrane deli z vsoto vseh vrst porabljene hrane.



Izračun makronutrientov in energijske vrednosti. Glede na optimalne količine pridelane hrane se izračunajo skupne vrednosti pridelanih makronutrientov, to so maščobe, beljakovine in ogljikovi hidrati, ter energijska vrednost pridelane hrane. Zaradi uveljavljenega statističnega spremljanja teh kazalcev se vsebnosti makronutrientov preračunajo v g/dan/prebivalca, energijska vrednost pa v kcal/dan/prebivalca.

Izračun izgub hrane in odpadne hrane. Model izračuna količine izgub hrane in odpadne hrane rastlinskega in živalskega izvora ter razdelitev na užitni in neužitni del.

Osnovni optimizacijski kriterij. Ker je glavni cilj projekta povečanje doma pridelane hrane, je za osnovni optimizacijski kriterij izbrana skupna masa vse pridelane hrane rastlinskega in živalskega izvora. Se pa lahko v posameznih scenarijih optimirajo tudi drugi kriteriji, npr. okoljski ali ekonomski, predvsem z namenom preučevanja razmerij (sinergij oz. nasprotij) med posameznimi skupinami kriterijev.

Večkriterijska namenska funkcija. Vključuje normalizirane vrednosti izbranih kriterijev, to so prihodek, stroški, emisije TGP, stopnja samooskrbe s hrano za ljudi, količina umetnih gnojil, količina proizvedenih kilokalorij in količina odpadne hrane. Ker sestavljeni kriterij maksimiramo, so tisti kriteriji, za katere želimo, da bi bili čim višji, vključeni s pozitivnim predznakom, kriteriji, za katere želimo, da bi bili čim nižji, pa so vključeni z negativnim predznakom. Normalizacija je za vsak kriterij izvedena glede na sedanjo vrednost tega kriterija in sicer tako, da se razlika med optimalno in sedanjo vrednostjo kriterija deli s sedanjo vrednostjo. Tako vrednost 0 pomeni, da se določen kriterij ni spremenil glede na sedanje stanje, vrednost manjša od 0, da se je poslabšal in vrednost večja od 0, da se je izboljšal. Končna vrednost sestavljenega kriterija, izražena v odstotkih, pove, za koliko odstotkov se z upoštevanjem vseh navedenih kriterijev optimalna rešitev izboljša glede na obstoječe stanje. V raziskavi so bili vsi kriteriji upoštevani z enako utežjo, kar pa se lahko spremeni na željo uporabnika, tako da se določenemu kriteriju oz. kriterijem dodelijo višje uteži, drugim pa nižje.

Logične zveze. To je posebna skupina enačb, v katerih nastopajo tudi binarne spremenljivke, ki lahko zasedejo le vrednosti nič ali ena. Z njimi optimizator omogoči ali onemogoči določeno alternativno možnost. V primeru optimizacije prehranske verige so binarne spremenljivke uporabljene za vklop ali izklop možnosti, da se določena vrsta hrane lahko hkrati uvaža in izvaža. Če želimo preprečiti, da bi se določena vrsta hrane hkrati uvažala in izvažala, lahko z binarnimi spremenljivkami dovolimo le eno od obeh možnosti. Če sta dovoljena uvoz in izvoz iste vrste hrane zaradi zahtev prostega trga, lahko z binarnimi spremenljivkami dovolimo oba.

Opisan model sodi v skupino mešano celoštevilskega linearnega programiranja (MILP), ker so: a) vse enačbe in neenačbe linearne in b) ker v modelu nastopajo zvezne spremenljivke, kot so mase pridelkov, površine za pridelavo idr., ter diskretne spremenljivke, s katerimi dovolimo ali prepovemo izbor določene možnosti.

2.3.2 Uporaba modela

Vhodni podatki. Za uporabo modela je treba pridobiti številne vhodne podatke, ki se uporabljajo v izračunih. Podatki morajo biti preračunani na način, da se lahko neposredno uporabijo v modelu, to pri večini pomeni specifično vrednost določenega podatka na hektar površine ali na tona pridelka. Podatki se med optimizacijo ne spreminjajo, so konstantni. V projektu smo uporabili povprečne vrednosti določenega podatka za zadnje štiri ali pet let, za katere so bile na voljo informacije. Nekaj najpomembnejših vhodnih podatkov je navedenih v nadaljevanju:

- a) Hektarski donosi za vsak pridelek rastlinskega izvora in vsak način pridelave (v t/ha).
- b) Poraba vseh vrst hrane rastlinskega in živalskega izvora na prebivalca (v kg/leto in se v modelu preračuna v t/leto).



- c) Klavne mase trupov za govedo, prašiče, piščance in drobnico (v tonah na žival).
- d) Mlečnost krav molznic (v tonah mleka na žival) in nesnost kokoši (v tonah jajc na žival).
- e) Mase rastlinskih pridelkov (krme), ki jih zaužijejo živali (v tonah krme na tono klavne mase trupa oz. na tono surovega mleka oz. na tono jajc).
- f) Poraba umetnih gnojil in odvzem dušika iz tal za vsak rastlinski pridelek in vsak način pridelave (v t/ha).
- g) Letna količina dušika iz živinskega gnoja za govedo, prašiče, perutnino, drobnico, molznice in nesnice (v tonah dušika na tono klavne mase trupa oz. na tono surovega mleka oz. na tono jajc).
- h) Emisije TGP za vsak pridelek rastlinskega in živalskega izvora (v tonah CO₂ ekvivalenta na tono pridelka).
- i) Ekonomski podatki (tržne cene pridelkov in stroški njihove pridelave, v EUR/t).
- j) Nutricionistični podatki za vse pridelke (v tonah proteinov, maščob in ogljikovih hidratov na tono pridelka) in energijska vrednost posameznega makronutrienta (v kcal/g).
- k) Masa odpadne in zavržene hrane (v tonah na tono pridelka) in deleži užitne hrane za vse stopnje prehranske verige.

Rezultati modela. Model izračuna številne rezultate, tj. vrednosti optimizacijskih spremenljivk, od katerih so najpomembnejši naslednji:

- a) Površina za pridelavo in način pridelave za vsak pridelek (v ha).
- b) Število glav goveda, prašičev, perutnine in drobnice za zakol, uvoz in izvoz ter število krav molznic in kokoši nesnic.
- c) Letna masa vsakega pridelka glede na način pridelave, ter masa uvoženih in izvoženih pridelkov (v tonah ekvivalenta osnovnega pridelka).
- d) Stopnja samooskrbe za vsak pridelek in skupna stopnja samooskrbe (v %).
- e) Letni presežek prihodka nad odhodki za celotno prehransko verigo (v EUR).
- f) Letne emisije celotne prehranske verige (v tCO₂ekv).
- g) Letna bilanca presežnega dušika (v t dušika).
- h) Letna masa odpadne hrane in od tega masa užitne hrane (v t)
- i) Količina proizvedenih makronutrientov in energijska vrednost pridelane hrane (preračunano v g ali kcal na prebivalca na dan).

Rezultati, izračunani za posamezne pridelke in načine pridelave, se lahko po potrebi združujejo za skupine pridelkov, npr. izračunata se skupna masa in površina za vse žitarice ali skupna površina vseh pridelkov, ki se pridelujejo na ekološki način ipd.

Optimizacijski kriteriji. Zgoraj navedene rezultate lahko model izračuna z uporabo različnih optimizacijskih kriterijev, ki jih definira uporabnik glede na svoje prioritete. Nekaj možnih optimizacijskih kriterijev navajamo v nadaljevanju, vedno pa se pri eni optimizaciji uporabi le en kriterij. Različni kriteriji dajejo praviloma različne rezultate, zato je potrebno raziskati razmerja med njimi in izvesti tudi večkriterijsko optimizacijo.

- a) Maksimiranje vse pridelane hrane. Lahko je upoštevana hrana rastlinskega in živalskega izvora vključno s krmo, lahko pa se omejimo le na pridelke, namenjene neposredni prehrani ljudi.
- b) Maksimiranje stopnje samooskrbe s hrano za ljudi.
- c) Maksimiranje energijske vrednosti pridelane hrane.
- d) Minimiranje emisij TGP.
- e) Minimiranje rabe gnojil.
- f) Maksimiranje presežka prihodka nad odhodki itd.
- g) Maksimiranje sestavljenega kriterija za večkriterijsko optimizacijo, ki vzpostavlja kompromise med številnimi faktorji prehranske verige.



2.4 Definiranje scenarijev

Matematični model prehranske verige omogoča optimizacijo pridelave in preskrbe s hrano z različnih vidikov. Oblikovali smo dve skupini scenarijev za študij teh vidikov in razumevanje interakcij med različnimi spremenljivkami. To so: a) scenariji sprememb, ki izhajajo iz posebnih zahtev ali priporočil in b) scenariji, v katerih so optimizirani različni optimizacijski kriteriji, tj. namenske funkcije.

2.4.1 Scenariji z določenimi spremembami v prehranski oskrbovalni verigi

Prva skupina vključuje scenarije, v katerih je maksimirana proizvodnja hrane in krme z upoštevanjem različnih omejitev Evropske unije, Združenih narodov in različnih zdravstvenih organizacij.

Scenarij 1: Optimiran osnovni scenarij. Cilj tega scenarija je maksimirati skupno količino hrane in krme, proizvedene na razpoložljivih obdelovalnih površinah, ob upoštevanju napovedane rasti prebivalstva v obdobju, za katero se izvaja optimizacija, tj. do leta 2050. Scenarij predstavlja osnovo za primerjavo s preostalimi scenariji, v katerih so uvedene različne spremembe.

Scenarij 2: Zmanjšanje rabe umetnih gnojil. Upoštevana je zahteva strategije Od vil do vilic za znižanje porabe umetnih gnojil za vsaj 20 % do leta 2030.

Scenarij 3: Delež obdelovalnih površin za ekološko pridelavo. Upoštevana je zahteva strategije Od vil do vilic, da naj bo vsaj 25 % obdelovalnih površin namenjenih ekološki pridelavi do leta 2030.

Scenarij 4: Spremembe prehranskih navad. Svetovni sklad za raziskovanje raka (WCRF) priporoča zgornjo mejo uživanja rdečega mesa na prebivalca 50 g/dan [12], da bi zmanjšali tveganje za nastanek kolorektalnega raka. Za večino prebivalcev EU je to nepredstavljivo, saj je trenutna povprečna poraba 123 g/dan, v Sloveniji pa okoli 153 g/dan. Zato je v scenariju 4 predvideno znižanje porabe rdečega mesa za 30 %, kar pomeni okoli 107 g/dan in je še vedno bistveno več od priporočene količine.

Scenarij 5: Prepolovitev nastajanja izgub hrane in odpadne hrane. Organizacija združenih narodov je 25. septembra 2015 sprejela 17 ciljev trajnostnega razvoja (SDG). Cilj 12.3 predvideva prepolovitev količine odpadne hrane na prebivalca na ravni prodaje in porabe ter zmanjšanje izgube hrane med pridelavo in predelavo. Skladno s tem ciljem so v scenariju 5 faktorji izgubljene in odpadne hrane **za užitni del** zmanjšani na polovico sedanjih vrednosti.

2.4.2 Scenariji z optimizacijo različnih kriterijev

Druga skupina vključuje scenarije, v katerih so optimirani različni optimizacijski kriteriji oz. namenske funkcije.

Scenarij 6: Emisije toplogrednih plinov. Kmetijstvo, zlasti proizvodnja hrane živalskega izvora, je pomemben vir emisij toplogrednih plinov, zato se v tem scenariju minimira količina emisij toplogrednih plinov iz kmetijstva.

Scenarij 7: Umetna gnojila. Prekomerna raba gnojil, ki jih rastline ne morejo absorbirati, prispeva k onesnaževanju zraka, tal in vode ter k podnebnim spremembam. V tem scenariju se minimira uporaba mineralnih gnojil.

Scenarij 8: Ekonomski dobiček. Za dolgoročno pridelavo kakovostne hrane mora biti kmetijstvo tudi ekonomsko učinkovito. Ta scenarij maksimira ekonomski dobiček kmetijske proizvodnje.

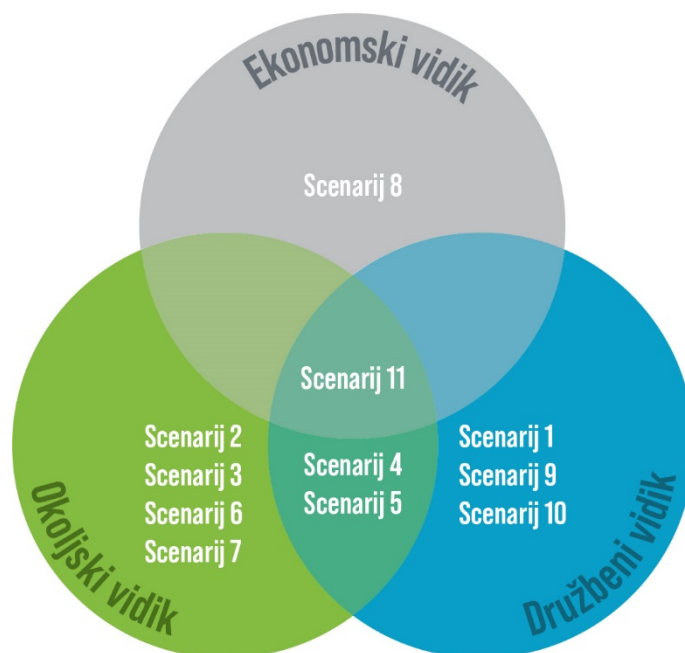
Scenarij 9: Stopnja samooskrbe za ljudi. Maksimira se stopnja samooskrbe s hrano za ljudi.



Scenarij 10: Energijska vrednost pridelane hrane. Maksimira se skupna količina kilokalorij hrane, ki jih lahko pridelamo.

Scenarij 11: Večkriterijsko optimiranje. Pri optimizaciji prehranske verige imajo najpomembnejše spremenljivke nasprotujoče učinke na indikatorje prehranske verige. Zato smo definirali sestavljeno namensko funkcijo, ki združuje sedem normaliziranih kriterijev in omogoča generiranje kompromisnih rešitev s hkratnim upoštevanjem vseh vključenih kriterijev.

Tako definirani scenariji obsegajo vse tri stebre trajnostnega razvoja, kar omogoča večkriterijsko in trajnostno optimizacijo prehranske verige. Razdelitev scenarijev po posameznih stebrih prikazuje slika 1.



Slika 1: Razdelitev scenarijev po vidikih trajnostnega razvoja

2.5 Vključevanje negotovosti

Analize in optimizacije prehranske verige temeljijo na množici podatkov, ki se s časom spreminjajo. Najbolj značilni med njimi so hektarski donosi, mase trupov živali, cene pridelkov, stroški pridelave itd. Takšnim podatkom pravimo negotovi parametri in za njih velja, da jih ni mogoče napovedati vnaprej. Po drugi strani je potrebno porazdelitev obdelovalnih površin po pridelkih izvesti pred setvijo, ko še ne vemo, kakšne bodo vrednosti npr. hektarskih donosov, saj so te v veliki meri odvisne od vremenskih pogojev, kvalitete semen, prisotnosti plevela in škodljivcev itd. Zato je potrebno pri vključevanju negotovosti v optimizacijski model razdeliti spremenljivke v dve glavni skupini:

- prvostopenjske spremenljivke; to so tiste, ki jih je potrebno določiti, preden so znane vrednosti negotovih parametrov, npr. obdelovalne površine, ki se dodelijo različnim pridelkom,
- drugostopenjske spremenljivke; to so tiste, npr. količine pridelanih pridelkov, katerih vrednosti postanejo znane potem, ko se udejanijo vrednosti negotovih parametrov.



V nadaljevanju podajamo kratek opis treh glavnih korakov, ki smo jih uporabili pri vključevanju negotovosti v optimizacijski model prehranske oskrbovalne verige.

Analize občutljivosti. Vpliv posameznega vhodnega podatka na optimalno rešitev preverimo tako, da optimizacijo izvedemo pri različnih vrednostih tega podatka, npr. pri najnižji, najvišji in povprečni vrednosti v nekem obdobju, in ugotavljamo vpliv na optimalne vrednosti spremenljivk, zlasti ključnih, kot so v našem primeru stopnja samooskrbe ali količina pridelane hrane. V nadaljnjih analizah upoštevamo samo tiste negotove parametre, ki pomembno vplivajo na ključne kriterije, saj je optimiranje v pogojih negotovosti računsko zelo zahtevno. Zahtevnost zelo narašča s številom negotovih parametrov, zato se trudimo obdržati število pomembnih negotovih parametrov v modelu nizko.

Deterministični pristop. Običajni pristop je, da spremljamo vrednosti negotovih parametrov skozi določeno obdobje in optimizacijo izvedemo pri njihovih povprečnih vrednostih, t. i. deterministični pristop. Tako dobljene "povprečne" vrednosti prvostopenjskih spremenljivk, tj. obdelovalnih površin za posamezne pridelke, nato fiksiramo in optimizacijo ponovimo pri najnižji vrednosti negotovega parametra in nato še pri najvišji. Iz dobljenih optimalnih rezultatov pri vseh treh vrednostih negotovega parametra lahko izračunamo *pričakovane vrednosti* vseh spremenljivk kot utežno povprečje, pri čemer uteži predstavljajo verjetnost posamezne vrednosti negotovega parametra oz. scenarija.

Stohastični pristop. Problem determinističnega pristopa je, da rešitve niso optimalne, če vrednosti negotovih parametrov odstopajo od povprečnih. Za ustreznejše upoštevanje negotovosti v optimizacijskem modelu se zato uporablja dvostopenjska stohastična metoda z rekurzom, pri čemer je potrebno matematični model predelati tako, da se lahko hkrati izvaja za več scenarijev. To naredimo tako, da v model uvedemo dodaten set scenarijev in vse drugostopenjske spremenljivk indeksiramo po tem setu. Prvostopenjske spremenljivke (površine) niso indeksirane po scenarijih, saj morajo imeti iste vrednosti ne glede na to, kakšno vrednost bo imel negotov parameter - ta bo namreč znana šele kasneje. Optimira se pričakovana vrednost izbranega optimizacijskega kriterija. Stohastični pristop daje praviloma boljše rezultate kot deterministični, saj se vrednosti prvostopenjskih spremenljivk določijo hkrati za vse scenarije. Je pa problem v tem, da velikost optimizacijskega modela zelo naraste, kar lahko oteži njegovo reševanje.



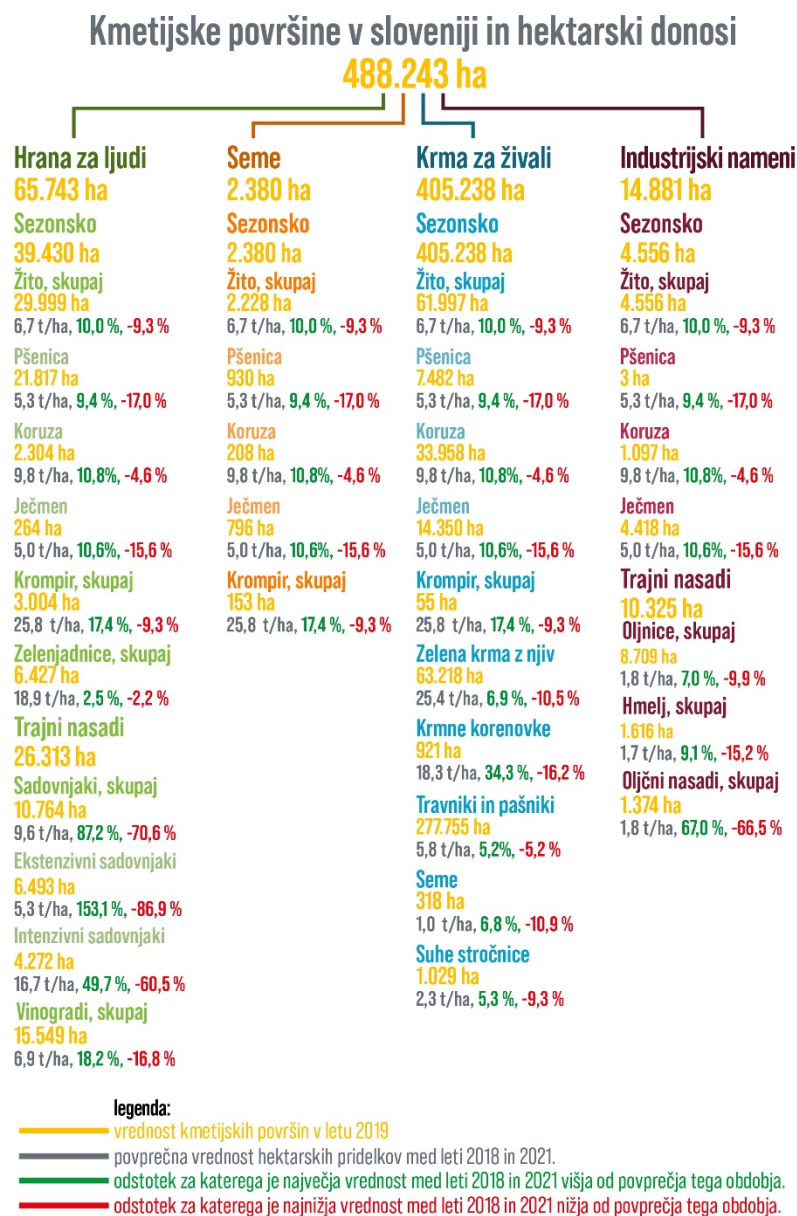
3 Rezultati

3.1 Zbiranje, analiza in strukturiranje podatkov

Uvodni del projekta je zajemal raziskovanje baz podatkov na področju prehranske verige, preučevanje vrst podatkov v njih, načinov njihovega zbiranja in podajanja vrednosti ter ugotavljanje ustreznosti za vključitev v računske in optimizacijske modele.

3.1.1 Obdelovalne površine in njihov status

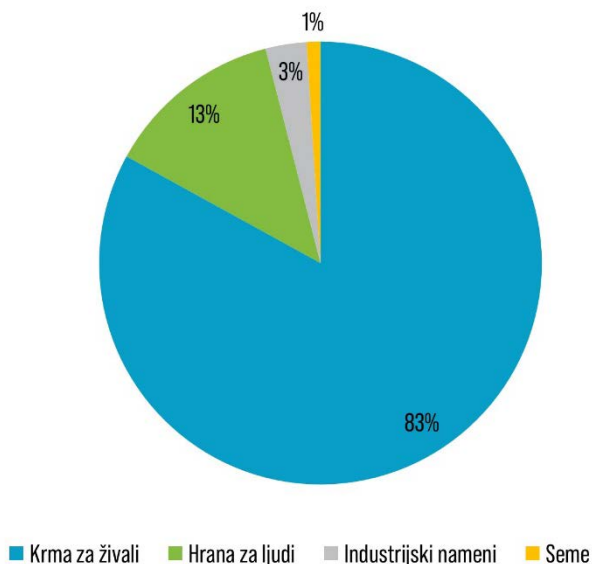
Zbrane podatke o rabi obdelovalnih površin smo združili v štiri glavne skupine po namenu: površine, na katerih se prideluje hrana za ljudi, površine, na katerih se prideluje krma za živali, površine za seme in za industrijske namene. Znotraj posamezne skupine smo jih razdelili glede na vrste pridelkov, kot je prikazano na sliki 2 za leto 2019. V nadaljnjem delu smo za model upoštevali površine za hrano za ljudi in krmo za živali, medtem ko površine za seme in industrijske namene niso zajete v modelu.



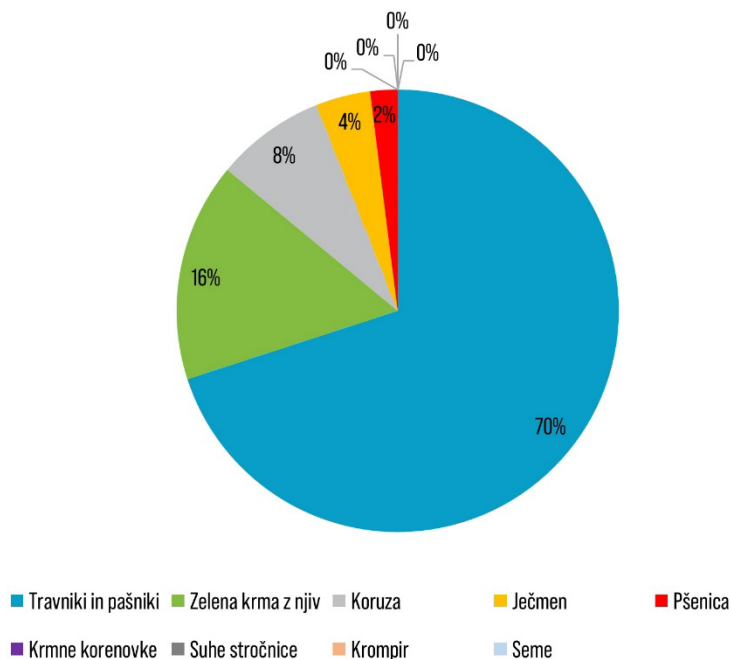
Slika 2: Porazdelitev kmetijskih površin in hektarski donosi [13]



Na sliki 3 je prikazana odstotkovna porazdelitev kmetijskih površin za navedene štiri skupine za leto 2019, glede na podatke, ki so bili na voljo ob začetku projekta. Prevladujejo kmetijske površine, namenjene za pridelavo hrane za živali (83 %) [13]. Površine, ki so namenjene neposredno prehrani ljudi, zavzemajo le 13 %. Na sliki 4 je nadalje razčlenjena porazdelitev kmetijskih površin, namenjenih za pridelavo hrane za živali, kjer travniki in pašniki predstavljajo največji del (70 %), sledijo njive za pridelavo zelene krme (16 %) [13].



Slika 3: Porazdelitev kmetijskih površin glede na namen [13]

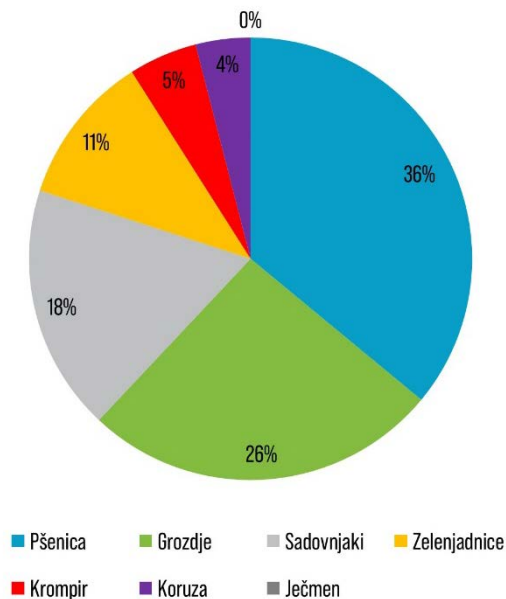


Slika 4: Deleži različnih pridelkov, namenjenih za krmo živali [13]



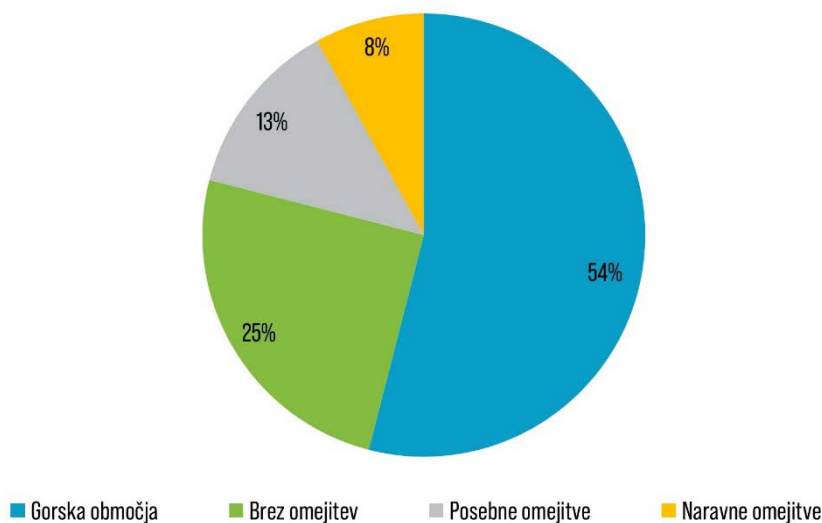
Slika 5 prikazuje deleže kmetijskih površin za pridelke, namenjene prehrani ljudi. Največja deleža imata pšenica (36 %) in grozdje (26 %) [13].

Pregledali smo, kakšne so omejitve za kmetijsko dejavnost na teh površinah in kolikšen je delež območij z omejenimi možnostmi za kmetijsko dejavnost (OMD). Med OMD spadajo kmetijske površine na gorskih območjih, kmetijske površine z naravnimi omejitvami in kmetijske površine s posebnimi omejitvami. Slika 6 prikazuje porazdelitev kmetijskih površin glede na omejitve po evidenci GERK. OMD po evidenci GERK predstavljajo 76 % vseh kmetijskih površin v uporabi po štetju GERK [13].



Slika 5: Deleži različnih pridelkov, namenjenih za hrano ljudi [13]

Skupna površina kmetijskih zemljišč v uporabi po štetju GERK je v letu 2019 znašala 487.067 ha



Slika 6: Razdelitev površin glede na omejitve po evidenci GERK [13]



3.1.2 Hektarski donosi

Hektarske donose za rastlinske pridelke smo izračunali tako, da smo letno količino določenega rastlinskega pridelka delili s površino za pridelavo tega izdelka. Nato smo preverili, ali se izračunani hektarski donosi ujemajo s tistimi, navedenimi v prilogi k Poročilu o stanju v kmetijstvu v letu 2021 (KIS) [13]. Na sliki 1 so s sivo barvo označene povprečne vrednosti hektarskih donosov za različne vrste rastlinskih pridelkov med letoma 2018 in 2021. Z zeleno barvo je označen maksimalen odklon od povprečja v pozitivno smer, z rdečo barvo pa maksimalen odklon v negativno smer. Najvišje odklone pri vrednostih hektarskih pridelkov v obdobju 2018 do 2021 je zaznati pri sadovnjakih in oljčnih nasadih, kar nakazuje, da vremenske razmere najbolj vplivajo na pridelke teh vrst.

Vrednosti hektarskih donosov, ki so bile uporabljene v optimizacijskem modelu, prikazuje tabela 1. Za ekološki način pridelave je bilo predpostavljeno, da so vrednosti hektarskih donosov 50 % vrednosti pri konvencionalni pridelavi. Za ohranitveni način pridelave je bilo predpostavljeno, da so vrednosti hektarskih donosov 95 % vrednosti pri konvencionalni pridelavi. Za pridelavo v rastlinjakih je bilo predpostavljeno, da se v njih lahko prideluje le zelenjava.

Tabela 1: Vrednost hektarskih donosov (t/ha) za različne načine pridelave

	konvencionalno*	ekološko	ohranitveno	rastlinjaki
Pšenica	5,30	2,65	5,04	0
Koruza	9,75	4,88	9,26	0
Ječmen	4,98	2,49	4,73	0
Tritikala	4,75	2,38	4,51	0
Krompir	25,80	12,90	24,51	0
Stročnice	2,33	1,16	2,21	0
Zelena krma	25,35	12,68	24,08	0
Trava	5,80	2,90	0	0
Zelenjava	18,93	9,46	17,98	56,78
Sadje	16,70	8,35	15,87	0
Grozdje	6,85	3,43	6,51	0

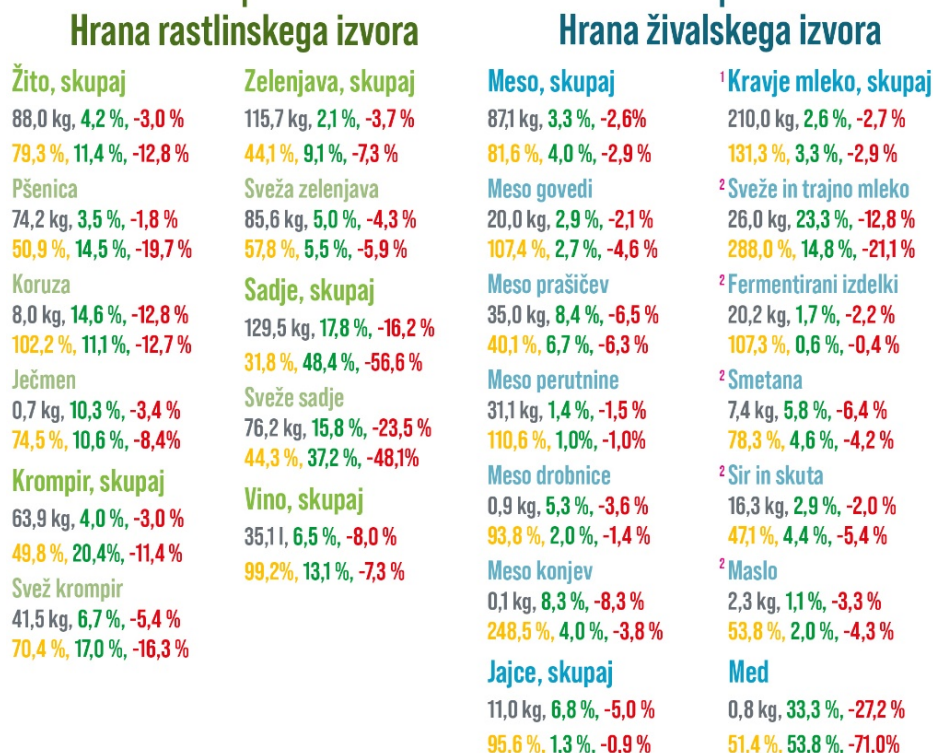
*Povprečne vrednosti med letoma 2018 in 2021 [13]

3.1.3 Poraba rastlinskih in živalskih pridelkov ter stopnje samooskrbe

Slika 7 prikazuje povprečno letno porabo živil na prebivalca in povprečno stopnjo samooskrbe med letoma 2018 in 2021. Tudi v tem primeru smo na grafiki navedli odstotke maksimalnega odstopanja v pozitivno in negativno smer. S slike je razvidno, da smo v tem obdobju imeli zelo dobro stopnjo samooskrbe z mesom govedi in perutnine, s kravjim mlekom, s svežim in trajnim mlekom, s fermentiranimi izdelki in vinom. Stopnja samooskrbe je bila nizka pri pšenici, mesu prašičev, zelenjavi in sadju.



Poraba hrane na prebivalca in stopnja samooskrbe



Legenda:

- Povprečna vrednost porabe živila na prebivalca med leti 2018 in 2021.
- Povprečna vrednost samooskrbe z živilom med leti 2018 in 2021.
- Odstotek za katerega je največja vrednost med leti 2018 in 2021 višja od povprečja tega obdobja.
- Odstotek za katerega je najnižja vrednost med leti 2018 in 2021 nižja od povprečja tega obdobja.

¹ Skupna bilanca proizvodnje in porabe kravjega mleka

² Tržne bilance proizvodnje in porabe mlečnih izdelkov

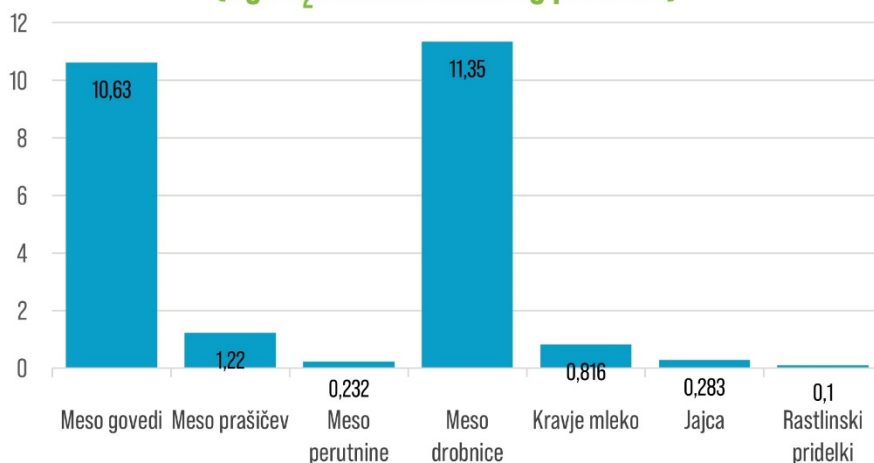
Slika 7: Prikaz porabe različnih živil na prebivalca in stopnja samooskrbe [13]

3.1.4 Emisije toplogrednih plinov, ki izvirajo iz pridelave različnih vrst pridelkov

Za Slovenijo so bili do sedaj zbrani samo podatki o emisijah TGP na kilogram surovega mleka. Preko komunikacije z vodjo CRP projekta V4-1816 dr. Jožetom Verbičem s Kmetijskega inštituta Slovenije smo pridobili podatke o odstotkovni porazdelitvi emisij TGP glede na različne načine reje živali in rastlinske pridelave [14]. Na podlagi teh podatkov smo izračunali faktorje emisij TGP in jih izrazili na kilogram pridelka, kar v primeru mesa pomeni emisije TGP v kilogramih ekvivalenta CO₂ na kilogram mesa v ekvivalentu klavne mase, pri mleku na kilogram surovega mleka, pri jajcih na kilogram znesenih jajc, pri rastlinskih pridelkih pa na kilogram rastlinskega pridelka. Izračunani faktorji so prikazani na sliki 8. Razvidno je, da največ emisij TGP na kilogram pridelka nastane pri reji prežvekovalcev, med katere sodijo govedo in drobnica.



Emisije TGP (kg CO₂ ekvivalent na kg pridelka)



Slika 8: Emisije TGP pri pridelavi različnih pridelkov

3.1.5 Vnosi dušika s strani živali pri pridelavi pridelkov živalskega izvora

Podobno kot faktorji emisij TGP so bili na podlagi razpoložljivih podatkov o letnem vnosu dušika iz živinskih gnojil v tla, ki ga prispevajo posamezne vrste živali, določeni tudi faktorji vnosov dušika v okolje pri reji živali. Podatki o porazdelitvi vnosov dušika po vrstah rejene živine so bili pridobljeni iz podatkovne baze SURS [15]. Izrazili smo jih v kilogramih dušika na kilogram določene vrste mesa in so prikazani na sliki 9. Podobno kot pri faktorjih emisij TGP so tudi specifični vnosi dušika najvišji pri prežvekovalcih.

Vnosi dušika (kg N na kg pridelka)



Slika 9: Vnosi dušika pri pridelavi pridelkov živalskega izvora



3.1.6 Konverzijski faktorji pretvorbe krme v hrano živalskega izvora

Konverzijski faktorji pretvorbe krme za živali v hrano živalskega izvora so bili izračunani na podlagi podatkov, pridobljenih od kmetov, velikih kmetijskih podjetij, Biotehniške fakultete in iz literature [16, 17, 18, 19]. Konverzijski faktorji so izračunani na masno enoto pridelka, kot je prikazano v tabeli 2. Razvidno je, da je največ krme potrebno za pridelavo masne enote mesa govedi.

Tabela 2: Konverzijski faktorji pretvorbe krme v hrano živalskega izvora

Poraba krme (t krme na t pridelka)	Meso govedi	Meso prašičev	Meso perutnine	Meso drobnice	Kravje mleko	Jajca
Pšenica		0,10				1,56
Koruzna	2,52	2,18	1,23		0,08	0,40
Ječmen	1,59	0,76			0,06	
Tritikala		0,43				
Zelena krma z njiv	24,23				0,67	
Trava in paša	4,30			9,02	2,94	
Sojine tropine		0,17	0,71			0,59
Skupaj	32,64	3,64	1,94	9,02	3,75	2,55

3.1.7 Vrste in količine odpadne hrane

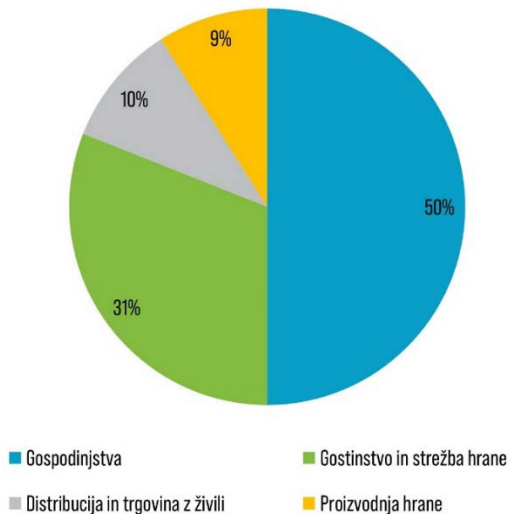
Na spletni strani SURS-a smo pridobili podatke o celotni količini zavržene hrane v Sloveniji v letu 2019, ki je znašala 140 804 t, in količini zavržene hrane na prebivalca med letoma 2013 in 2019. Letna količina zavržene hrane na prebivalca pri nas narašča, v letu 2013 je znašala 57 kg, v letu 2019 že 67 kg. Vendar je to še vedno precej nižje od povprečja EU, ki je okoli 180 kg letno na prebivalca [20].

Nato smo odpadno hrano, nastalo v letu 2019, količinsko ločili glede na njeno užitnost oz. neužitnost. Ugotovili smo, da je 39 % odpadne hrane užitne in bi jo lahko z bolj odgovornim odnosom potrošnikov še zmanjšali. Odpadno hrano smo ločili glede na izvor (slika 10). V začetnih stopnjah oskrbovalne verige, tj. pri proizvodnji hrane ter pri distribuciji in trgovini z živili, nastane skupno 19 % izgub oz. odpadne hrane, iz česar lahko sklepamo, da sta ti dve stopnji razmeroma dobro optimirani. Največ odpadne hrane (81 %) nastane pri potrošnikih (gospodinjstva, strežba hrane in gostinstvo). To bi lahko zmanjšali z ozaveščanjem, boljšim načrtovanjem obrokov, prilagoditvijo velikosti obrokov in načrtovanjem zalog. Slika 11 prikazuje razdelitev odpadne hrane glede na ravnanje z njo. Opazimo, da se 50 % nastale odpadne hrane predela v bioplinarnah, kjer s procesom anaerobne digestije nastaja bioplin. 28 % odpadne hrane se kompostira, 20 % pa biološko stabilizira.



Izvor odpadne hrane, leto 2019

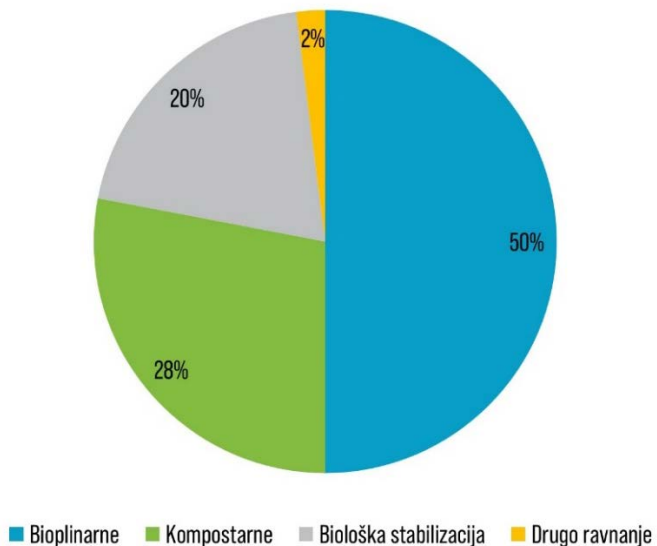
Skupna količina nastale odpadne hrane v letu 2019 je znašala 140.804 t



Slika 10: Izvor odpadne hrane [21]

Ravnanje z odpadno hrano, leto 2019

Skupna količina nastale odpadne hrane v letu 2019 je znašala 140.804 t



Slika 11: Ravnanje z odpadno hrano [21]



3.2 Analiza izgub hrane in odpadne hrane ter možnosti pridobivanja toplote

Pri analizi odpadne hrane je bilo ugotovljeno, da ta še ni porazdeljena po vrstah hrane. To gre pripisati temu, da je te meritve zahtevno izvesti, saj bi bilo potrebno prostovoljno in vestno sodelovanje večjega števila potrošnikov, ki bi beležili količine o nastajanju odpadne hrane po vrstah hrane. Zato smo poskusili pridobiti grobo oceno na osnovi podatkov iz literature, kot je prikazano v nadaljevanju. V drugem koraku smo preučili možnost za pridobivanje toplote iz odpadne hrane.

3.2.1 Ocena izgub in odpadne hrane po stopnjah verige in po vrstah hrane

Podatki o izgubah hrane in odpadni hrani po posameznih stopnjah prehranske verige so na voljo, niso pa na razpolago deleži posameznih vrst hrane v odpadni hrani. Zaradi težav pri pridobivanju podatkov o vrstah odpadne hrane smo oceno te porazdelitve izvedli na podlagi razdelitve za Evropsko unijo, ki so jo objavili Caldeira in dr. (2019) [22]. Osnova za oceno je bila tabela 1 iz tega članka, ki prikazuje ocenjeno porazdelitev izgub hrane in odpadne hrane po stopnjah prehranske verige in po vrstah hrane v Evropski uniji za leto 2011 (priloga 8.1). Predpostavili smo, da je porazdelitev podobna tudi v Sloveniji. Ker so v članku vključeni v analizo tudi ribe in ribji izdelki ter sladkorna pesa in oljnice, ki jih v naši raziskavi nismo upoštevali, smo za izračun faktorjev odpadne hrane in izgub hrane izvzeli te vrste hrane in preostale vrste hrane privzeli za 100 %. Podatke, ki so v članku agregirani, to so meso in žitarice, smo razdelili po posameznih vrstah glede na to, kolikšen delež predstavljajo specifične vrste mesa oz. žitaric pri pridelavi oz. porabi. Za vsako stopnjo prehranske verige smo določili odstotkovno porazdelitev odpadne hrane, nato pa smo te pomnožili z deleži odpadne hrane po stopnjah prehranske verige v Sloveniji. Te podatke smo pridobili iz Statističnega urada Republike Slovenije, ki so prikazani na sliki 10 [21].

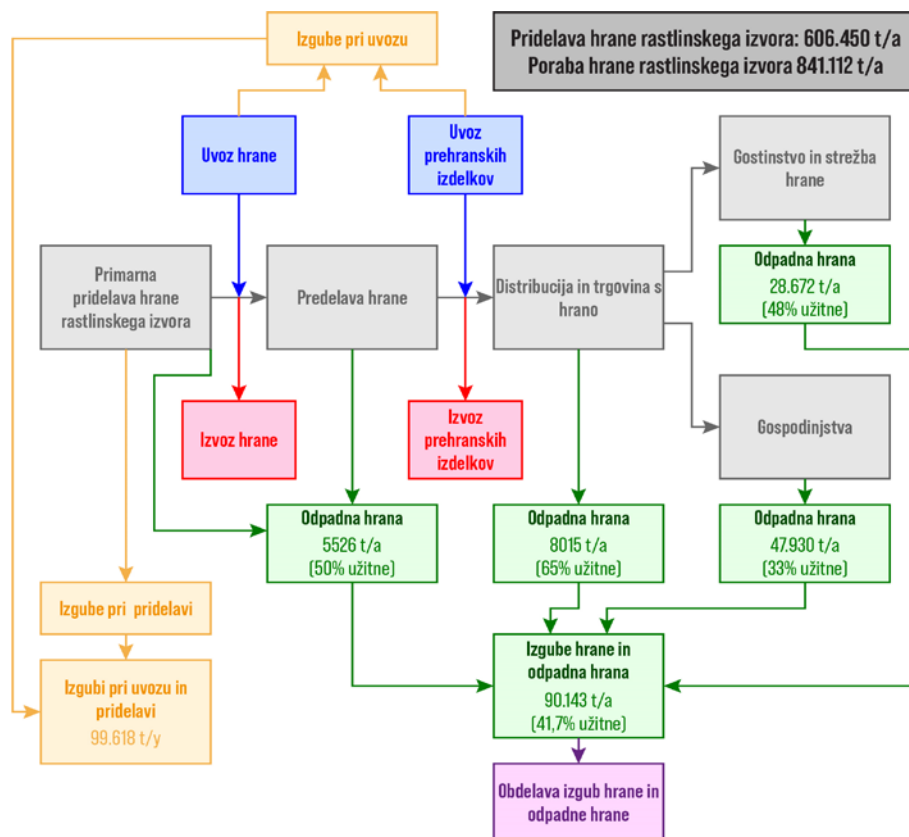
V tabeli 3 je prikazana ocenjena porazdelitev odpadne hrane po vrstah hrane v posameznih stopnjah prehranske verige. Pri pridelavi in porabi tistih vrst hrane, ki so vključene v našo raziskavo in matematični model, je letno nastalo 125 442 ton odpadne hrane, kar predstavlja 89 % vse nastale odpadne hrane. Zato so deleži iz tabele 3 uporabni za skupno letno količino odpadne hrane 125 442 ton.

Na sliki 12 je prikazana oskrbovalna veriga za hrano rastlinskega izvora z bilanco letno nastale odpadne hrane, ki znaša 90 143 ton. Slika 13 prikazuje oskrbovalno verigo za hrano živalskega izvora z bilanco odpadne hrane v obsegu 35 299 ton.

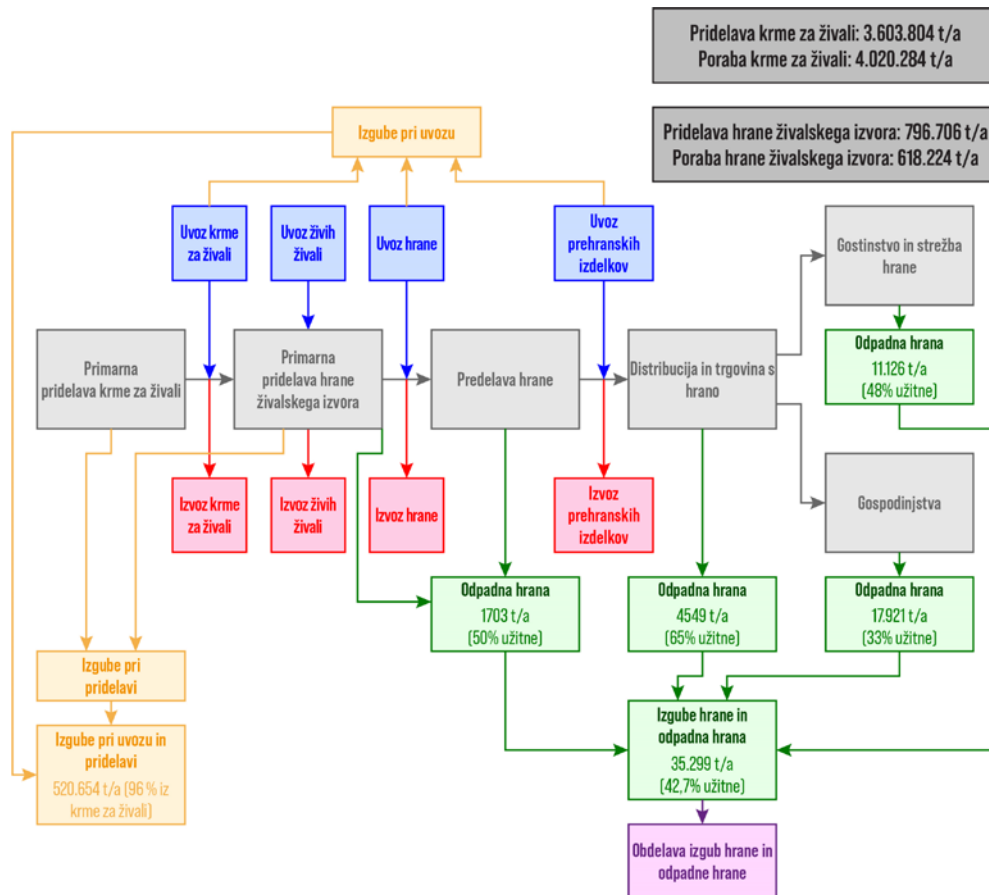


Tabela 3: Porazdelitev odpadne hrane po vrstah in stopnjah prehranske verige

Hrana	Pridelava in predelava hrane (%)	Distribucija in trgovina s hrano (%)	Gostinstvo in strežba hrane (%)	Gospodinjstva (%)	Skupaj (%)
Meso govedí	0,29	0,65	1,29	1,84	4,07
Meso prašičev	0,20	1,26	2,49	3,55	7,50
Meso perutnine	0,46	0,99	1,96	2,80	6,21
Meso drobnice	0,01	0,02	0,06	0,09	0,18
Kravje mleko	0,36	0,52	2,05	4,76	7,69
Jajca	0,03	0,17	1,02	1,25	2,47
Pšenica	0,69	2,63	6,72	8,12	18,16
Koruza	0,13	0,29	0,73	0,89	2,04
Ječmen	0,01	0,02	0,05	0,07	0,15
Krompir	2,02	1,38	5,12	9,75	18,27
Zelenjadnice	0,86	1,55	7,51	13,83	23,75
Sadje	0,38	0,47	2,46	5,00	8,31
Grozdje oz. vino	0,32	0,05	0,27	0,56	1,20
Skupaj (%)	5,76	10,00	31,73	52,51	100,00



Slika 12: Shema oskrbovalne verige z bilanco odpadne hrane za hrano rastlinskega izvora



Slika 13: Shema oskrbovalne verige z bilanco odpadne hrane za hrano živalskega izvora

3.2.2 Ocena potenciala za pridobivanje toplote

Z uporabo podatkov o razdelitvi izgub hrane in odpadne hrane po vrstah je bila izvedena analiza energijskega potenciala odpadne hrane. Primerjana sta bila proces anaerobne digestije odpadne hrane v bioplin in torefikacija odpadne hrane, katere produkt je bioogljje. Ugotovljeno je bilo, da pri pretvorbi odpadne hrane v bioplin znaša letni energetski potencial 431 TJ, pri pretvorbi v bioogljje pa 417 TJ. Ta energija bi zadovoljila letne energijske potrebe za približno 8000 gospodinjstev, kar ustreza približno dvema povprečnima slovenskima občinama (Drofenik in dr., 2022) [23].

Nato je bila izvedena še analiza možnosti za decentralizirano pridobivanje energije iz odpadne hrane s patentirano povezavo kogeneracijske enote in toplotne črpalke [24]. V lokalni bioplinarni se iz odpadne hrane proizvaja bioplin, ki se vodi v kogeneracijsko enoto za sočasno proizvodnjo toplote in energije (SPTE). Ta je del inovativnega sistema, ki vsebuje še toplotno črpalko in dodatni toplotni prenosnik. Toplotna črpalka predhodno ogreje medij, ki prenaša toploto po sistemu, izkorišča pa še toploto dimnih plinov, ki izhajajo iz SPTE enote in omogoča pripravo tople vode za gospodinjstva. Izkoristek bioplina v takem sistemu znaša približno 195 %, kar pomeni, da bi bilo možno iz 431 TJ energije iz bioplina pridobiti 839 TJ toplote. Podrobnosti konceptualnega načrta za postrojenje predelave odpadne hrane v bioplin in pridobivanje toplote so predstavljene v članku Drofenik in dr., 2023 [25].



3.3 Rezultati optimiranja s ciljnimi (target) matematičnim modelom

Osnovna aktivnost projekta je obsegala razvoj optimizacijskega modela, ki vključuje masne bilance celotne prehranske verige, izračune okoljskih, ekonomskih in družbenih kazalcev ter omogoča optimizacijo verige ob upoštevanju različnih kriterijev in omejitev. V prvem koraku je bil razvit osnovni matematični model, ki predstavlja orodje za generiranje t.i. ciljnih ali tarčnih rešitev (angl. target), ki prikazujejo, kaj bi bilo maksimalno možno doseči z razpoložljivo obdelovalno površino brez dodatnih omejitev. Model je bil preračunan za dve skupini scenarijev, ki sta prikazani v nadaljevanju. Ker je ta del aktivnosti potekal v drugi polovici trajanja projekta, smo nekatere podatke posodobili na obdobje med letoma 2018 in 2021, to so cene pridelkov in stroški pridelave, mase trupov in hektarski donosi.

3.3.1 Rezultati prve skupine scenarijev z diskusijo

Prva skupina scenarijev obravnava različna priporočila in zahteve ter raziskuje, kakšen vpliv bi imeli na glavne spremenljivke prehranske verige. Pri vseh scenarijih je optimizacijski kriterij maksimiranje skupne količine pridelane hrane. Rezultati so zbrani v tabeli 4. **Prvi stolpec v tabeli 4 predstavlja sedanje stanje, pri čemer so podatki pridobljeni iz baz SURS-a in prilagojeni našemu modelu zaradi primerljivosti. Tako npr. skupina žitaric obsega pšenico, koruzo, ječmen in tritikalo. Vrednost emisij, ekonomski izid in bilanca dušika za podatke v prvem stolpcu so ocenjeni z enačbami našega modela.** Scenarij 1 predstavlja osnovni oz. referenčni optimiran scenarij. V scenarijih od 2 do 5 so proučevani vplivi posameznih sprememb na optimalne rezultate, tako da je potrebno za analizo vplivov sprememb te scenarije primerjati z referenčnim scenarijem 1. Razporeditev površin med posamezne pridelke prikazuje tabela 5.

Scenarij 1 – osnovni optimiran scenarij

V tem primeru se maksimira skupna masa vse pridelane hrane in krme. Vse razpoložljive obdelovalne površine se uporabijo za kmetijsko pridelavo. Stopnja samooskrbe s hrano za ljudi znaša 101,8 % in presega sedanjo, ki je 85,0 %. Količina proizvedenih kilokalorij je višja za 15 %. Obseg površin za neposredno pridelavo hrane za ljudi se poveča za 21 739 ha oz. za 36 % glede na obstoječe stanje, površine za krmo živali se zmanjšajo za enako število hektarjev, kar pomeni za 5,2 % glede na obstoječe stanje. Podrobnejši pregled razporeditve površin v tabeli 5 kaže, da bi se povečale površine za pridelavo žit, sadja in krompirja. Površina za pridelavo zelenjadnic bi se sicer zmanjšala, vendar bi se pridelava preselila v rastlinjake, v katerih so donosi bistveno višji kot pri konvencionalni pridelavi zelenjadnic. Površina za pridelavo zelene krme bi bila približno ista, kot je sedaj, površina vinogradov bi se zmanjšala za 19 %, površina travnikov pa za 16 % glede na obstoječe stanje.

Stopnja samooskrbe s krompirjem, sadjem in zelenjavo bi se povečala na 121 %, presežek se lahko izvozi. Stopnja samooskrbe z žiti bi se povečala za 17 odstotnih točk.

Število govedi in prašičev bi naraslo. Stopnja samooskrbe z mesom prašičev bi znašala 70,8 %. Te živali se prehranjujejo predvsem s krmo, ki ima višji hektarski donos, kot sta zelena krma in koruza. Zmanjša se število krav molznic, piščancev in nesnic. Skupna stopnja samooskrbe z mesom in mesnimi izdelki bi bila sicer na podobni ravni, kot je sedaj (okoli 81 %). Z zmanjšanjem števila krav molznic se zmanjša stopnja samooskrbe z mlekom s 131 % na 102 %.

Model daje prednost pridelavi poljščin z najvišjim donosom na hektar, to so krompir, zelenjava, sadje in zelena krma z njiv. Med različnimi tehnologijami kmetijske pridelave je izbrana tista, ki za določeno poljščino daje največji hektarski donos. Za večino je to konvencionalna pridelava, razen za zelenjavo, ki jo lahko gojimo v rastlinjaki, kjer so hektarski pridelki višji. Za ekološko kmetovanje so značilni nižji hektarski pridelki, zato je tej vrsti pridelave namenjena le minimalna zahtevana kmetijska površina.



Emisije TGP se v scenariju 1 povečajo, prav tako poraba umetnih gnojil in bilančni presežek dušika. Ekonomski kazalec znaša okoli 95 M€/leto. Vrednost večkriterijske spremenljivke je 23,8 %, kar pomeni, da se za toliko izboljša skupna vrednost normiranih ključnih primerjalnih kazalnikov. Matematični model za ta scenarij je priložen v prilogi 8.2.

Scenarij 2 – znižanje porabe umetnih gnojil za 20 %

V tem scenariju je poraba umetnih gnojil omejena na maksimalno 80 % sedanje letne porabe, skladno s strategijo Od vil do vilic, zato je presežek dušika nižji kot v scenariju 1. Za pridelavo je uporabljena vsa razpoložljiva obdelovalna površina, saj se maksimira pridelava vse hrane in krme. Znatno delež površin (101 086 ha oz. 21 %) se dodeli pridelavi z ohranitvenim kmetijstvom, pri katerem je količina uporabljenih mineralnih gnojil prepolovljena, hektarski donosi pa le malo nižji kot pri konvencionalni pridelavi. Na ta način se prideluje večina žitaric in krompir. Povečajo se površine pašnikov, ki potrebujejo najmanj umetnih gnojil, posledično se poveča število krav molznic in pridelava mleka, čemur pripisujemo nekoliko višje emisije TGP.

Stopnja samooskrbe s hrano za ljudi znaša 102,9 % in je primerljiva s scenarijem 1. Izvažajo se krompir, zelenjava, sadje, mleko, meso govedi. Uvažajo se jajca, žita, svinjina, perutnina. Količina pridelanih kcal na prebivalca je nekoliko nižja kot v scenariju 1, kjer ni omejitve uporabe umetnih gnojil, a za 14 % višja kot v obstoječem stanju.

Scenarij 3 – 25 % obdelovalnih površin za ekološko pridelavo

V tem scenariju je postavljen pogoj, da mora biti vsaj 25 % obdelovalnih površin uporabljenih za ekološko pridelavo, kar predstavlja porast za 16 odstotnih točk v primerjavi z obstoječim stanjem. Skupna količina pridelane hrane in krme bi se zmanjšala za 7,4 % glede na optimiran scenarij 1, skupna stopnja samooskrbe s hrano za ljudi bi se znižala na 97,6 %. Na ekološki način bi se pridelovali zlasti žito (največ koruza) in grozdje. Največji padec je pri pridelavi žit in mleka. Površine travnikov in pašnikov se znižajo za 10,3 % oz. 24 030 ha. Zato bi se povečal uvoz in posledično zmanjšala pokritost uvoza z izvozom, ki bi znašala le okoli 26 %.

Glede okoljskih kazalcev je scenarij 3 ugodnejši od scenarija 1, saj ima emisije TGP nižje za okoli 6 % tako od scenarija 1 kot tudi od obstoječega stanja, znatno nižja je tudi poraba umetnih gnojil.

Scenarij 4 – spremembe prehranskih navad

Povprečen Slovenec zaužije dnevno 153 g rdečega mesa. Znižanje za 30 % bi pomenilo zaužitje 107 g/dan, kar je še vedno dvakrat toliko, kot priporoča Svetovna fundacija za raziskave raka (WCRF). Zato je v tem scenariju poraba rdečega mesa, tj. mesa govedi, prašičev in drobnice, zmanjšana za 30 % glede na sedanje vrednosti. Zaradi manjše porabe rdečega mesa bi se zmanjšale zlasti površine z zeleno krmo za govedo. Površine, sproščene zaradi manjše pridelave govejega mesa, se preusmerijo k pridelavi krme za živali, katerih produkt ni rdeče meso, zlasti koruze in stročnic za prašiče in perutnino. Glede na scenarij 1 se poveča število molznic, posledično je višja površina travnikov in pašnikov, poraste pridelava mleka. Okoli 10 % nižje emisije TGP pripisujemo znatno nižji pridelavi mesa govedi.

Stopnja samooskrbe s hrano za ljudi je najvišja med vsemi scenariji prve skupine, okoljski kazalci bi se izboljšali. Uvoz hrane bi se znižal, izvoz pa znatno zvišal, pokritost uvoza z izvozom bi znašala 129 %. Manjša poraba rdečega mesa bi zmanjšala potrebni dnevni kalorični vnos na prebivalca z 2177 kcal na 2067 kcal, medtem ko bi kalorična vrednost proizvedenih živil znašala 2032 kcal/dan na prebivalca, kar pomeni, da bi bila razlika med pridelanimi in porabljenimi kcal manjša.



Tabela 4: Rezultati prve skupine scenarijev

	Obstoječe**	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 4	Scenarij 5
Žita (t)*	656 838	789 441	618 326	640 934	794 918	768 581
Zelenjava (t)	118 310	315 260	315 260	315 260	315 260	306 594
Krompir (t)	71 505	174 227	174 227	174 227	174 227	168 259
Sadje (t)	107 407	352 869	352 869	352 869	352 869	350 225
Grozdje (t)	103 137	85 215	85 215	85 215	89 070	83 876
Meso (t)	147 730	158 029	158 029	158 029	176 719	153 330
Mleko (t)	630 804	482 843	513 007	419 949	525 940	510 586
Jajca (t)	24 680	17 653	17 653	17 653	17 653	17 081
Vsa hrana + krma (t)	5 072 615	5 332 628	5 280 330	4 936 377	5 097 473	5 302 565
SO žita (%)	79,3	96,73	75,37	79,39	97,48	96,19
SO krompir (%)	49,8	120,96	120,96	120,96	120,96	120,96
SO zelen (%)	44,1	120,96	120,96	120,96	120,96	120,96
SO sadje (%)	31,8	120,96	120,96	120,96	120,96	120,96
SO groz (%)	99,2	75,37	75,37	75,37	78,78	74,34
SO mleko (%)	131,3	102,08	108,45	88,78	111,19	108,39
SO jajca (%)	95,6	71,56	71,56	71,56	71,56	71,52
SO gov (%)	107,4	112,07	112,07	112,07	112,07	112,07
SO svin (%)	40,1	70,82	70,82	70,82	112,07	70,66
SO pišč (%)	110,6	71,67	71,67	71,67	112,07	71,51
SO drobn (%)	93,8	72,04	72,04	72,04	72,04	71,89
SO meso vse (%)	81,2	80,63	80,63	80,63	111,71	80,51
SO skupna za ljudi (%)	85,0	101,83	102,88	97,58	107,89	103,34
Krave molznice (število)	100 921	77 195	82 017	67 139	84 085	81 646
Kokoši nesnice (število)	1 733 750	1 237 470	1 237 470	1 237 470	1 237 470	1 197 916
Govedo (število zakol)	118 414	164 129	164 129	164 129	114 890	143 513
Svinje (število zakol)	321 955	606 446	606 446	606 446	633 422	589 282
Perutnina (število zakol)	39 229 000	27 992 339	27 992 339	27 992 339	42 985 166	27 199 763
A konvenc (ha)	431 913	431 880	330 794	349 105	431 880	432 032
A ekološka (ha)	40 856	35 445	35 445	118 219	35 445	35 445
A ohranitv (ha)	0	0	101 086	0	0	0
A rastlinjaki (ha)	108***	5 552	5 552	5 552	5 552	5 400
A za ljudi (ha)	59 839	81 578	82 492	92 775	82 141	79 522
A za živali (ha)	413 038	391 299	390 385	380 102	390 736	393 355
Uvoz vse (t)	1 452 780	209 002	325 549	344 930	156 581	202 764
Izvoz vse (t)	880 810	144 989	128 884	89 250	202 047	195 706
Ekonomski dobiček (€)	19 834 247	95 061 357	93 369 784	102 307 853	105 777 109	103 010 581
Emisije (t)	1 493 925	1 498 251	1 506 894	1 406 615	1 351 371	1 497 361
Dušik (t)	2 021	7 470	6 786	8 969	2 789	6 517
Umetna gnojila (t)	118 653	133 165	94 922	98 810	129 272	130 782
Večkrit. nam. funkcija	0	0,238	0,556	0,498	0,513	0,5040
kcal/dan/preb	1 717	1 972	1 955	1 893	2 032	1 943

* Skupna količina za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)

** Povprečje let 2018-2021 [13]

*** Povprečje let 2019 in 2022 (za pridelavo v zaščitenem prostoru) [26]



Tabela 5: Velikosti površin pri prvi skupini scenarijev (vse vrednosti v ha)

		Obstoječe	Scenarij 1	Scenarij 2	Scenarij 3	Scenarij 4	Scenarij 5
Žita*	Skupaj	93 559	110 927	98 186	124 347	110 481	107 755
	Konvencionalno	92 291	110 927	4 208	66 417	110 481	107 755
	Ekološko	1 268	0	0	57 930	0	0
	Ohranitveno	0	0	93 978	0	0	0
Pšenica	Skupaj	27 155	36 380	38 256	36 380	36 465	34 964
	Konvencionalno	26 479	36 380	0	36 380	36 465	34 964
	Ekološko	677	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	38 256	0	0	0
Koruza	Skupaj	39 299	47 434	31 318	57 633	49 061	46 460
	Konvencionalno	39 055	47 434	0	7 304	49 061	46 460
	Ekološko	244	0	0	50 330	0	0
	Ohranitveno	0	0	31 318	0	0	0
Zelenjadnice	Skupaj	6 221	5 552	5 552	5 552	5 552	5 400
	Konvencionalno	5 926	0	0	0	0	0
	Ekološko	187	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
	Rastlinjaki	108	5 552	5 552	5 552	5 552	5 400
Krompir	Skupaj	2 829	6 753	7 108	6 753	6 753	6 522
	Konvencionalno	2 713	6 753	0	6 753	6 753	6 522
	Ekološko	115	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	7 108	0	0	0
Sadje	Skupaj	11 432	21 130	21 130	21 130	21 130	20 972
	Konvencionalno	9 657	21 130	21 130	21 130	21 130	20 972
	Ekološko	1 775	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Grozdje	Skupaj	15 330	12 440	12 440	24 844	13 003	12 245
	Konvencionalno	14 784	12 440	12 440	0	13 003	12 245
	Ekološko	545	0	0	24 844	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Zelena krma	Skupaj	65 082	65 933	66 793	64 139	51 513	63 964
	Konvencionalno	63 653	65 933	66 793	64 139	51 513	63 964
	Ekološko	1 429	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Trava	Skupaj	277 527	232 177	243 702	208 147	239 651	238 848
	Konvencionalno	242 084	196 732	208 257	172 702	204 206	203 403
	Ekološko	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Stročnice	Skupaj	898	17 965	17 965	17 965	24 793	0
	Konvencionalno	804	17 965	17 965	17 965	24 793	17 172
	Ekološko	92	0	0	0	0	17 172
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Skupaj	Konvencionalno	431 913	431 880	330 794	349 105	431 880	432 032
	Ekološko	40 856	35 445	35 445	118 219	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0	101 086	0	0	0
	Rastlinjaki	108**	5 552	5 552	5 552	5 552	5 400
Skupaj vse		472 877	472 877	472 877	472 876	472 877	472 877

* Skupne površine za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)

** Povprečje let 2019 in 2022 (za pridelavo v zaščitenem prostoru) [26]



Scenarij 5 – zmanjšanje izgub hrane in odpadne hrane za 50 %

V tem scenariju se predpostavi, da so mase **užitnega dela izgub** hrane in odpadne hrane prepolovljene, kar pomeni letno količino **48,6 kg** na prebivalca namesto **62,7 kg kot v prvem scenariju oz. 60,7 kg v obstoječem stanju**.

Stopnja samooskrbe s hrano za ljudi bi znašala **103,3 %**, kar je znatno višje od obstoječega stanja in za odstotno točko višje kot v scenariju 1. **Ker je manj izgub in odpadne hrane, bi se zmanjšala domača potrošnja, medtem ko bi se pridelava hrane le malo znižala. Posledično bi se lahko zmanjšal uvoz hrane in povečal izvoz, pokritost uvoza z izvozom bi bila 96 %, medtem ko je v prvem scenariju 69 % in v obstoječem stanju okoli 60 %. Emisije TGP so za 890 tCO_{2eq} nižje kot v prvem scenariju. K znižanju emisij največ prispeva manjša prireja goveda, vendar pa se poveča pridelava mleka, ki je razlog, da znižanje emisij ni še večje glede na scenarij 1. Tudi vrednosti za bilanco dušika in porabo mineralnih gnojil so nižje kot v scenariju 1. Ekonomski izid je ugodnejši, večkriterijski kazalec pa znaša 50,4 % (23,8 % pri scenariju 1), kar kaže na pomemben prispevek nižanja izgub in odpadne hrane pri generiranju kompromisnih rešitev z večkriterijskim optimiranjem.**

3.3.2 Rezultati druge skupine scenarijev z diskusijo

V drugi skupini scenarijev smo posamično optimirali različne optimizacijske kriterije. Rezultate prikazuje tabela 6, z rdečo so označene vrednosti tistih kriterijev, ki se optimirajo v posameznem scenariju. Razporeditev površin med posamezne pridelke prikazuje tabela 7.

Scenarij 6 – minimiranje emisij TGP

Minimalno dosegljiva količina emisij TGP, določena v tem scenariju, znaša 976 892 tCO_{2ekv}/leto, kar je okoli 35 % manj, kot znašajo emisije v obstoječem stanju in v scenariju 1. Znatno se zniža poraba umetnih gnojil, dušikova bilanca je v ravnovesju. Delež površin z ekološko pridelavo bi narasel na okoli 217 000 ha oz. 45,9 % vseh površin. Delež površin z ohranitvenim kmetijstvom bi bil 17,6 %, površin s konvencionalno pridelavo bi bilo le 36,5 %, pridelave v rastlinjakih ni. Večina pridelave bi bila ekološka, na konvencionalni način bi se pridelovalo le travinje. Skupna stopnja samooskrbe je nizka (73,7 %), prav tako količina pridelanih kilokalorij. Zaradi minimiranja emisij bi se doma proizvedlo bistveno manj hrane kot v scenarijih prve skupine, zato bi se povečala odvisnost od uvoza, saj ne bi bili samozadostni niti v eni skupini pridelkov. Uvažati bi morali vse vrste hrane, izvoz pa bi bil nič. To kaže na problem čezmejnega premeščanja emisij CO₂ (angl. cross-border carbon leakage), saj emisije za uvoženo blago niso upoštevane v državi uvoznici ampak v državi izvoznici. To pa ni problem le pri prehranski oskrbovalni verigi, ampak tudi pri dobavnih verigah ostalih izdelkov in še ni zadovoljivo razrešen.

Ta scenarij nakazuje na močno nasprotje med okoljskimi in družbenimi kriteriji, saj ima težnja po znižanju emisij za posledico znatno nižjo stopnjo samooskrbe. Po drugi strani pa se ekonomski rezultat v tem scenariju ni bistveno poslabšal, kar kaže na šibko nasprotje med okoljskimi in ekonomskimi kriteriji.

Scenarij 7 – minimiranje uporabe umetnih gnojil

Minimalna količina umetnih gnojil, dosegljiva le s prerazporejanjem površin ob nespremenjenih hektarskih donosih, ki je bila izračunana v tem scenariju, znaša 28 427 t/leto, kar je le 24 % sedanje porabe. Zaradi zahteve po minimalni rabi umetnih gnojil bi površine z ekološko pridelavo v tem scenariju obsegale še nekoliko večji del kot v scenariju 6 z minimalnimi emisijami in sicer 232 595 ha (49,2 %), z ohranitvenim kmetijstvom 64 121 ha (13,6 %), površin s konvencionalno pridelavo bi bilo 36,5 % (172 702 ha), rastlinjakov pa 0,73 % (3460 ha). Na tradicionalni način bi se obdelovali le travniki in pašniki, vsi ostali



pridelki pa bi se pridobivali na ekološki ali ohranitveni način. Podobno kot pri minimiranju emisij je tudi pri tem scenariju skupna stopnja samooskrbe nizka (73,7 %), prav tako količina pridelanih kilokalorij, veliko hrane je potrebno uvoziti, izvoza pa ni.

Scenarij 8 – maksimiranje ekonomske vrednosti

Maksimalno dosegljiva vrednost dobička, ocenjena v tem scenariju, znaša 152,3 M€/leto, kar je za 60 % več kot v osnovnem optimiranem scenariju 1. Za pridelavo ni uporabljena vsa razpoložljiva površina, ampak 96,4 % vseh površin, od tega skoraj vse za konvencionalno pridelavo, le 8,3 % za ekološko travinje.

Skupna stopnja samooskrbe znaša 88,3 % in je primerljiva s sedanjim stanjem. Stopnje samooskrbe so višje od 100 % za pridelke z najvišjo razliko med prihodkom in stroški, to so krompir, zelenjava, jajca in meso perutnine, ki se izvažajo. Preostale vrste izdelkov se morajo uvažati, pokritost uvoza z izvozom je le 27 %. To kaže, da maksimiranje ekonomike ne more biti primarni kriterij pri optimizaciji prehranske verige z namenom povečanja doma pridelane hrane, saj niti ne izkoristi vseh obdelovalnih površin, ampak spodbuja uvoz zlasti pridelkov z nižjo dodano vrednostjo in s tem povečuje odvisnost od uvoza.

Glede na scenarij 1 se zniža število goveda in molznic, število prašičev ostane enako, zviša pa se število piščancev in nesnic, katerih izdelki so najbolj dobičkonosni. Poleg tega so pri piščancih in nesnicah konverzijski faktorji za pretvorbo krme v prehranske izdelke razmeroma nizki glede na druge vrste živali, zato so najprimernejši za maksimiranje ekonomske vrednosti. Poveča se površina za pridelavo pšenice (za 20 % glede na scenarij 1) in stročnic (za 46 %), s katerimi se v večji meri krmijo nesnice, in zmanjša površina za koruzo, travo in zeleno krmo.

Okoljski kriteriji so nižji kot v obstoječem stanju in optimiziranem scenariju 1, kar nakazuje, da ekonomski potencial v tem primeru ni v močnem konfliktu z okoljskimi vplivi, pač pa je v konfliktu z družbenim kazalcem skupne stopnje samooskrbe, ki je razmeroma nizka.

Scenarij 9 – maksimiranje stopnje samooskrbe s hrano za ljudi

Maksimalno dosegljiva stopnja samooskrbe s hrano za ljudi, določena v tem scenariju, znaša 115,7 %, kar je za 30,7 odstotnih točk več kot v obstoječem stanju in 13,9 odstotnih točk več kot v optimiranem scenariju 1. Uporabljena je vsa razpoložljiva obdelovalna površina, od tega 23 % neposredno za prehrano ljudi s pridelki rastlinskega izvora (sedaj 13 %).

Stopnje samooskrb so za veliko pridelkov blizu 100 % ali več kot 100 %, razen pri žitih, mesu govedu in drobnice, zato je izvoz visok, pokritost uvoza z izvozom je blizu 100 %. Zaradi manjše prireje goveda se zmanjšajo površine za zeleno krmo, povečajo pa za žitarice, grozdje in stročnice.

Ekonomski dobiček je razmeroma nizek, kar potrjuje ugotovitev iz scenarija 8 (maksimiranje ekonomske vrednosti), da visoka stopnja samooskrbe pomeni nižjo ekonomsko vrednost. So pa glede na predhodne scenarije druge skupine višje emisije, presežek dušika in uporaba umetnih gnojil.

Izvedena je bila še varianta tega scenarija s prepolovitvijo užitnega dela izgub hrane in odpadne hrane, tako da bi znašala količina odpadne hrane na prebivalca 48,6 kg (scenarij 9a v tabelah 6 in 7). Količina vse pridelane hrane je malo nižja kot v osnovnem scenariju 9. Zaradi manjše porabe se zniža uvoz in poviša izvoz hrane, pokritost znaša 120,9 % (98,9 % v varianti 9). Stopnja samooskrbe je 117,0 % in je malo višja od variante 9, kjer je 115,7 %. Pridelava mesa in mleka ter njunih izdelkov je višja kot v scenariju 9, od tod tudi za 1,4 % višje emisije TGP. Normirani kazalec se izboljša na 109,1 %, medtem ko je v osnovni varianti 9 znašal 84,8 %. Rezultat nakazuje, da ima zmanjšanje izgub odpadne hrane razmeroma majhen vpliv na količino doma pridelane hrane in stopnjo samooskrbe, pomembno pa prispeva pri večkriterijskem optimiranju, kot se je izkazalo že pri scenariju 5.



Scenarij 10 – maksimiranje energijske vrednosti pridelane hrane

Maksimalno dosegljiva energijska vrednost pridelane hrane, določena v tem scenariju, znaša 2496 kcal/dan/prebivalca, kar je za 45,4 % več kot v obstoječem stanju in za 26,6 % več kot v optimiranem scenariju 1.

Izračunana energijska vrednost, ki jo prebivalec dnevno potrebuje iz vrst hrane, ki so upoštevane v modelu, znaša 2 177 kcal/dan/prebivalca, kar pomeni, da energijska vrednost proizvedene hrane presega porabo za 14,6 %. Tudi proizvodnja makronutrientov presega porabo. Količina proizvedenih beljakovin znaša 109,7 g/dan/prebivalca in presega porabo za 11,0 g oz. za 11,2 %, količina proizvedenih ogljikovih hidratov znaša 333,7 g/dan/prebivalca in presega porabo za 20,0 %, količina proizvedenih maščob znaša 67,1 g/dan/prebivalca in presega porabo za 5,5 %.

Najbolj očitno se poveča prireja svinjskega mesa in pridelava jajc, saj vsebujejo največji delež maščob, ki največ prispevajo h kalorični vrednosti pridelane hrane. Zato se poveča poraba žitaric za živali in posledično zmanjša stopnja samooskrbe z žitaricami kljub večji pridelavi žit in površin, ki so jim namenjene. Poveča se tudi površina za stročnice, s katerimi se hranijo nesnice in piščanci, saj se prireja slednjih tudi poveča. Zmanjšajo se površine za travo in zeleno krmo, ker je nižje število molznic kot v scenariju 1.

Stopnja samooskrbe s hrano za ljudi je visoka (112,3 %), je pa ekonomski indikator najnižji med vsemi scenariji, neugodni so tudi okoljski kazalci.

Scenarij 11 – večkriterijsko optimiranje

V tem scenariju je maksimirana sestavljena večkriterijska namenska funkcija, ki hkrati optimira družbene, okoljske in ekonomske indikatorje. Maksimalna dosežena vrednost tega indikatorja je 140,5 %, kar predstavlja veliko izboljšanje glede na obstoječe stanje z vidika trajnosti optimalne rešitve. Vse razpoložljive obdelovalne površine se uporabijo za pridelavo, pri tem je največji delež izmed vseh scenarijev namenjen pridelavi hrane rastlinskega izvora za ljudi, tj. 28,7 % (135 748 ha). Ekološki pridelavi je dodeljenih 27,3 % površin (129 310 ha), ohranitveni pa 35,0 % (165 313 ha). Konvencionalna pridelava je na 36,5 % površin (172 702 ha), 1,2 % površin (5552 ha) je rastlinjakov.

Stopnje samooskrbe pri hrani rastlinskega izvora so višje od 100 % razen pri žitih. Stopnje samooskrbe pri hrani živalskega izvora so vse nižje od 100 %. Na ta način so dosežene razmeroma ugodne vrednosti emisij TGP, porabe umetnih gnojil in presežnega dušika. Ugodna je tudi ekonomska vrednost in skupna stopnja samooskrbe s hrano za ljudi, ki znaša 107,9 %.



Tabela 6: Rezultati druge skupine scenarijev

	Scenarij 6	Scenarij 7	Scenarij 8	Scenarij 9	Scenarij 9a	Scenarij 10	Scenarij 11
Žita (t)*	540 124	540 124	762 353	791 011	783 871	850 842	673 987
Zelenjava (t)	196 446	196 446	315 260	315 260	306 594	315 260	315 260
Krompir (t)	108 565	108 565	174 227	174 227	168 259	174 227	174 227
Sadje (t)	219 881	219 881	237 806	352 869	350 225	352 869	352 869
Grozdje (t)	85 215	85 215	85 215	136 754	136 482	136 754	136 754
Meso (t)	138 743	138 743	167 031	198 656	198 891	218 825	143 852
Mleko (t)	338 104	338 104	338 104	525 940	534 646	440 717	448 155
Jajca (t)	17 653	17 653	27 461	22 358	27 127	27 461	17 653
Vsa hrana + krma (t)	3 533 211	3 533 211	4 015 435	4 694 068	4 688 437	4 879 160	4 209 153
SO žita (%)	75,37	75,37	99,18	88,31	87,20	87,26	91,03
SO krompir (%)	75,37	75,37	120,96	120,96	120,96	120,96	120,96
SO zelen (%)	75,37	75,37	120,96	120,96	120,96	120,96	120,96
SO sadje (%)	75,37	75,37	81,52	120,96	120,96	120,96	120,96
SO groz (%)	75,37	75,37	75,37	120,96	120,96	120,96	120,96
SO mleko (%)	71,48	71,48	71,48	111,19	113,50	93,17	94,74
SO jajca (%)	71,56	71,56	111,31	90,63	113,59	111,31	71,56
SO gov (%)	69,33	69,33	69,33	69,33	71,89	112,07	69,33
SO svin (%)	70,82	70,82	70,82	110,95	114,17	112,07	72,04
SO pišč (%)	71,67	71,67	112,07	112,07	114,17	112,07	77,58
SO drobn (%)	72,04	72,04	72,04	72,04	114,17	72,04	72,04
SO meso vse (%)	70,79	70,79	85,23	101,36	104,43	111,65	73,40
SO skupna za ljudi (%)	73,76	73,76	88,34	115,72	117,01	112,31	107,91
Krave molznice (število)	54 054	54 054	54 054	84 085	85 494	70 460	71 649
Kokoši nesnice (število)	1 237 470	1 237 470	1 924 954	1 567 238	1 902 533	1 924 954	1 237 470
Govedo (število zakol)	115 440	115 440	115 440	115 440	102 509	164 129	115 440
Svinje (število zakol)	606 446	606 446	606 446	814 400	897 732	904 889	581 714
Perutnina (število zakol)	27 992 339	27 992 339	42 985 166	42 985 166	42 644 668	42 985 166	29 758 961
A konvenc (ha)	172 702	172 702	391 350	431 880	432 091	431 880	172 702
A ekološka (ha)	216 935	232 595	35 445	35 445	35 445	35 445	129 310
A ohranitv (ha)	83 241	64 121	0	0	0	0	165 313
A rastlinjaki (ha)	0	3 460	0	5 552	5 341	5 552	5 552
A za ljudi (ha)	115 303	107 808	87 395	108 759	106 927	108 759	135 748
A za živali (ha)	357 574	365 069	339 400	364 118	365 950	364 118	337 129
Uvoz vse (t)	653 480	653 480	385 404	199 114	194 942	239 078	274 995
Izvoz vse (t)	0	0	103 973	196 878	235 723	152 952	178 830
Ekonomski dobiček (€)	101 232 116	101 232 116	152 303 009	87 644 359	93 185 459	74 396 304	101 166 184
Emisije (t)	976 892	983 920	1 065 352	1 302 191	1 320 072	1 464 679	1 134 116
Dušik (t)	0	556	2 773	5 427	6 393	13 717	2 949
Umetna gnojila (t)	40 135	28 427	119 251	129 501	128 837	137 211	53 825
Večkrit. nam. funkcija	0,861	0,955	0,441	0,848	1,091	0,63	1,405
kcal/dan/preb	1 604	1 604	1 825	2 488	2 469	2 496	2 291

* Skupna količina za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



Tabela 7: Velikosti površin pri drugi skupini scenarijev (vse vrednosti v ha)

		Scenarij 6	Scenarij 7	Scenarij 8	Scenarij 9	Scenarij 9a	Scenarij 10	Scenarij 11
Žita*	Skupaj	110 120	161 227	112 950	121 494	120 425	130 059	155 699
	Konvencionalno	0	0	112 950	121 494	120 425	130 059	0
	Ekološko	49 396	157 217	0	0	0	0	93 865
	Ohranitveno	60 725	4 011	0	0	0	0	61 834
Pšenica	Skupaj	38 256	72 759	43 534	57 197	56 757	58 196	77 332
	Konvencionalno	0	0	43 534	57 197	56 757	58 196	0
	Ekološko	0	72 759	0	0	0	0	39 223
	Ohranitveno	38 256	0	0	0	0	0	38 109
Koruza	Skupaj	49 587	49 759	39 242	35 439	35 083	38 975	54 642
	Konvencionalno	0	0	39 242	35 439	35 083	38 975	0
	Ekološko	49 396	49 759	0	0	0	0	54 642
	Ohranitveno	192	0	0	0	0	0	0
Zelenjadnice	Skupaj	20 766	3 460	16 654	5 552	5 517	5 552	5 552
	Konvencionalno	0	0	16 654	0	176	0	0
	Ekološko	20 766	0	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0	0
	Rastlinjaki	0	3 460	0	5 552	5 341	5 552	5 552
Krompir	Skupaj	8 416	8 416	6 753	6 753	6 522	6 753	7 108
	Konvencionalno	0	0	6 753	6 753	6 522	6 753	0
	Ekološko	8 416	8 416	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0	7 108
Sadje	Skupaj	23 113	13 855	14 240	21 130	20 972	21 130	22 235
	Konvencionalno	0	0	14 240	21 130	20 972	21 130	0
	Ekološko	19 538	0	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	3 575	13 855	0	0	0	0	22 235
Grozdje	Skupaj	24 844	13 090	12 440	19 964	19 924	19 964	21 007
	Konvencionalno	0	0	12 440	19 964	19 924	19 964	0
	Ekološko	24 844	0	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	13 090	0	0	0	0	21 007
Zelena krma	Skupaj	58 530	45 741	29 276	33 018	32 899	45 215	33 129
	Konvencionalno	0	0	29 276	33 018	32 899	45 215	0
	Ekološko	58 530	31 517	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	14 224	0	0	0	0	33 129
Trava	Skupaj	208 147	208 147	208 147	237 866	239 174	216 082	208 147
	Konvencionalno	172 702	172 702	172 702	202 421	203 729	180 637	172 702
	Ekološko	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0	0
Stročnice	Skupaj	18 941	18 941	26 334	27 100	27 445	28 122	20 000
	Konvencionalno	0	0	26 334	27 100	27 445	28 122	0
	Ekološko	0	0	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	18 941	18 941	0	0	0	0	20 000
Skupaj	Konvencionalno	172 702	172 702	391 350	431 880	432 091	431 880	172 702
	Ekološko	216 935	232 595	35 445	35 445	35 445	35 445	129 310
	Ohranitveno	83 241	64 121	0	0	0	0	165 313
	Rastlinjaki	0	3 460	0	5 552	5 341	5 552	5 552
Skupaj vse		472 877	472 877	426 794	472 877	472 877	472 877	472 877

*Skupne površine za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



3.4 Rezultati optimiranja z omejitvami naročnika

Rezultati ciljnega modela nakazujejo potenciale in možne usmeritve za razvoj prehranske oskrbovalne verige glede na postavljene prioritete, vendar ni nujno, da so v celoti izvedljivi v praksi. Izpostavljenih je bilo nekaj kritičnih, sicer optimalnih, rezultatov ciljnega modela:

- previsoka dodeljena obdelovalna površina za rastlinjake (tudi preko 5000 ha),
- nerealno visoko povečanje števila nekaterih živali, npr. prašičev (tudi čez 900 000),
- razmeroma nizka proizvodnja nekaterih vrst pridelkov, ki se tradicionalno izvažajo, npr. mleko, goveje meso (stopnje samooskrbe v nekaterih scenarijih le okoli 70 %),
- pokritost uvoza z izvozom, ki v realnosti znaša okoli 60 % [27], medtem ko je v scenarijih ciljnega modela od 0 % pa vse do 129 %.

Zaradi tega je bilo potrebno v model vključiti dodatne pogoje, da bi se približali praktični izvedljivosti rezultatov. Za doseg tega cilja smo po posvetovanju z naročnikom vključili omejitve za stopnje samooskrbe za nekatere vrste pridelkov, tako da smo definirali spodnjo in zgornjo mejo, med katerima je lahko optimalna rešitev (drugi in tretji stolpec v tabeli 8). Prvi stolpec v tabeli 8 prikazuje povprečne vrednosti stopenj samooskrbe med letoma 2018 in 2021.

Tabela 8: Spodnje in zgornje meje samooskrbe za nekatere pridelke

	Aktualna vrednost (%)*	Spodnja meja samooskrbe (%)	Zgornja meja samooskrbe (%)
Žitarice	79,3	84	86
Krompir	49,8	60	100
Zelenjava	44,1	60	100
Sadje	31,8	50	100
Grozdje	99,2	95	100
Govedo	107,4	105	115
Prašiči	40,1	50	100
Perutnina	110,6	105	120
Drobnica	93,8	94	100
Jajca	95,6	97	100
Mleko	131,3	105	140

*povprečne vrednosti med letoma 2018-2021 [13]

Nadalje smo omejili maksimalno površino za pridelavo v rastlinjaki na 200 ha. Za pokritost uvoza z izvozom smo določili, naj bo med 55 % in 65 %. Travnikov ne sme biti manj kot 75 % sedanje površine, vsi ekološki travniki naj se ohranijo.

Rezultate prikazuje tabeli 9 in 10 za naslednje situacije:

- primer A - brez izvoza hrane: ob zgoraj navedenih omejitvah smo izvedli optimizacijo ob predpostavki, da hrane ne izvažamo, da bi ugotovili, kakšno stopnjo samooskrbe lahko dosežemo, če se vsa pridelana hrana porabi izključno doma,
- primer B - pokritost uvoza z izvozom je 55 %,
- primer C - pokritost uvoza z izvozom je 65 %.

Glede na aktualna prizadevanja za povečanje obsega ekološkega kmetijstva na 18 % do leta 2027 [28], smo izvedli še dve optimizaciji s tem pogojem, pri čemer mora biti pokritost uvoza z izvozom med 55 % in 65 %:

- primer D - maksimiranje vse pridelane hrane, delež ekoloških površin je 18 %
- primer E - večkriterijsko optimiranje, delež ekoloških površin je 18 %.



Zaradi dodatnih omejitev so dobljeni rezultati v številnih vidikih slabši od rezultatov ciljnega modela, vendar je njihova prednost ta, da so potencialno dosegljivi v krajšem ali srednjeročnem obdobju.

Model z omejitvami v primeru A pokaže, da bi bilo brez izvažanja hrane mogoče doseči 90,8 % stopnja samooskrbe s hrano za ljudi, vendar v tem primeru maksimalno dosegljiva stopnja samooskrbe za noben pridelek ne more presegati 100 %. Samooskrbni bi bili pri krompirju, mleku, govejem in piščančjem mesu, blizu pa pri grozdju (95 %) in jajcih (97 %). Večja odvisnost od uvoza bi bila pri žitih (84 % samooskrbnost), zelenjavi (82,9 %) in sadju (82,9 %) ter mesu prašičev (77,8 %). Glede na sedanje stanje bi morali povečati površine za žitarice, zlasti pšenico, ter za zelenjadnice, krompir in sadje. Vinogradi bi ostali na približno istem nivoju, zmanjšala bi se površina za zeleno krmo, travnike in pašnike.

Če je dovoljen izvoz hrane (primer B v primerjavi z A), se količina pridelane hrane poveča, stopnja samooskrbe bi narasla na 98,8 %, ob tem se povečajo tudi okoljski vplivi. Stopnje samooskrbe za mleko, piščance in govedo so višje od 100 %. Nižje od 100 % so le samooskrbe za žito, svinjino in drobnico. Glede na primer A je v primeru B večje število govedi in molznic ter piščancev in nesnic, zato je v primeru B večja površina namenjena zeleni krmi in koruzi kot v primeru A. Večje so tudi površine za sadje in zelenjavo.

Ob višji pokritosti uvoza z izvozom (primer C v primerjavi z B) se poveča proizvodnja žit in stopnja samooskrbe je na zgornji postavljeni meji za žita, to je 86 %, samooskrba s hrano za ljudi naraste na 100,7 %. Število živali v reji se poveča in s tem stopnja samooskrbe s hrano živalskega izvora. Nekoliko večje kot v primeru B so površine za pridelke, ki se uporabljajo za krmo za živali (pšenica, koruza, trava, stročnice). Kljub večji pridelavi žit kot v primeru B pa je stopnja samooskrbe z žiti na enaki ravni kot v primeru B, saj je v primeru C več živali. Skupni uvoz je višji za 12,7 %, izvoz pa za 33,1 %. Ob višji pokritosti uvoza z izvozom je ekonomski indikator v primeru C nekoliko višji kot v primeru B.

Zahteva po 18 % (85 118 ha) ekoloških površin (primer D v primerjavi s C) izboljša ekonomski rezultat, zmanjšajo se okoljski vplivi, nižja pa je skupna stopnja samooskrbe, ki znaša 96,9 %. Ekološka pridelava je dodeljena delu koruze (9562 ha), tritikali (7150 ha), grozdju (32 961 ha) in pašnikom (35 445 ha).

Če namesto maksimiranja vse proizvedene hrane izvedemo večkriterijsko optimizacijo (primer E), dosežemo soliden ekonomski rezultat, stopnja samooskrbe je 97,6 %, okoljski indikatorji so večinoma nižji kot v scenarijih B, C in D. Površina za žita se poveča na 134 114 ha oz. za 18 % glede na primer D. Ekološka pridelava je dodeljena koruzi in travinju, uporabi pa se tudi pridelava z ohranitveno obdelavo tal za žitarice in zeleno krmo.



Tabela 9: Rezultati optimiranja z omejitvami

	Obstoječe**	Primer A (brez izvoza)	Primer B (izvoz/uvoz = 55 %)	Primer C (izvoz/uvoz = 65 %)	Primer D (ekol. povr. 18 %)	Primer E (ekol. povr. 18 %)
Žita (t)*	656 838	711 317	739 086	766 737	728 377	728 578
Zelenjava (t)	118 310	215 982	260 626	260 626	260 626	260 626
Krompir (t)	71 505	144 033	144 033	144 033	144 033	144 033
Sadje (t)	107 407	241 748	291 717	291 717	291 717	291 717
Grozdje (t)	103 137	107 402	113 055	113 055	113 055	113 055
Meso (t)	147 730	178 344	184 502	194 782	179 275	179 343
Mleko (t)	630 804	473 015	525 940	544 076	496 665	496 665
Jajca (t)	24 680	23 930	24 670	24 670	23 930	23 930
Vsa hrana + krma (t)	5 072 615	4 670 658	5 060 739	4 859 338	4 639 624	4 507 479
SO žita (%)	79,3	84,00	86,00	86,00	86,00	86,00
SO krompir (%)	49,8	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
SO zelen (%)	44,1	82,87	100,00	100,00	100,00	100,00
SO sadje (%)	31,8	82,87	100,00	100,00	100,00	100,00
SO groz (%)	99,2	95,00	100,00	100,00	100,00	100,00
SO mleko (%)	131,3	100,00	111,19	115,02	105,00	105,00
SO jajca (%)	95,6	97,00	100,00	100,00	97,00	97,00
SO gov (%)	107,4	100,00	105,00	105,00	105,00	105,00
SO svin (%)	40,1	77,77	72,00	81,61	71,64	71,73
SO pišč (%)	110,6	100,00	112,07	115,93	105,00	105,00
SO drobn (%)	93,8	94,00	94,00	94,00	94	94,00
SO meso vse (%)	81,2	91,00	94,14	99,39	91,47	91,51
SO skupna za ljudi (%)	85,0	90,77	98,80	100,67	96,96	97,66
Krave molzn. (število)	100 921	75 623	84 085	86 984	79 405	79 405
Kokoši nesnice (število)	1 733 750	1 677 465	1 729 346	1 729 346	1 677 465	1 677 465
Govedo (število zakol)	118 414	146 457	164 129	169 789	167 859	167 859
Svinje (število zakol)	321 955	665 955	616 537	698 845	613 515	614 247
Perutn. (število zakol)	39 229 000	38 356 781	42 985 166	44 467 413	41 011 006	40 274 620
A konvenc (ha)	431 913	437 232	437 232	437 232	387 559	283 375
A ekološka (ha)	40 856	35 445	35 445	35 445	85 118	85 118
A ohranitv (ha)	0	0	0	0	0	104 185
A rastlinjaki (ha)	108***	200	200	200	200	200
A za ljudi (ha)	59 839	84 674	87 419	88 217	104 403	91 373
A za živali (ha)	413 038	388 203	385 458	384 660	368 474	381 504
Uvoz vse (t)	1 452 780	354 039	412 929	465 396	485 569	485 504
Izvoz vse (t)	880 810	0	227 111	302 507	267 063	267 027
Razm. izvoz/uvoz (%)	60,63	0,00	55,00	65,00	55,00	55,00
Ekonomski dobiček (€)	19 834 247	59 706 331	84 389 207	87 516 425	91 264 905	90 998 718
Emisije (t)	1 493 925	1 382 586	1 479 406	1 481 092	1 411 699	1 386 912
Dušik (t)	2 021	6 254	8 888	9 971	9 975	9 980
Umetna gnojila (t)	118 653	125 055	129 606	128 030	115 290	76 255
Večkrit. nam. funkcija	0	0,223	0,246	0,312	0,382	0,758
kcal/dan/preb	1 717	1 933	1 968	2 022	1946,1	1 985

* Skupna količina za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)

** Povprečje let 2018-2021 [13]

*** Povprečje let 2019 in 2022 (za pridelavo v zaščitenem prostoru) [26]



Tabela 10: Velikosti površin pri optimiranju z omejitvami (vse vrednosti v ha)

		Obstoječe	Primer A (brez izvoza)	Primer B (izvoz/uvoz = 55 %)	Primer C (izvoz/uvoz = 65 %)	Primer D (ekol. površ. 18 %)	Primer E (ekol. površ. 18 %)
Žita*	Skupaj	93 559	106 338	106 149	110 460	113 605	134 114
	Konvencionalno	92 291	106 338	106 149	110 460	96 893	3 587
	Ekološko	1 268	0	0	0	16 712	49 673
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	80 854
Pšenica	Skupaj	27 155	41 418	37 750	38 733	38 178	40 149
	Konvencionalno	26 479	41 418	37 750	38 733	38 178	0
	Ekološko	677	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	40 149
Koruza	Skupaj	39 299	35 547	41 764	43 017	45 191	66 064
	Konvencionalno	39 055	35 547	41 764	43 017	35 629	0
	Ekološko	244	0	0	0	9 562	49 673
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	16 391
Zelenjadnice	Skupaj	6 221	11 010	13 368	13 368	13 368	13 368
	Konvencionalno	5 926	10 810	13 168	13 168	13 168	13 168
	Ekološko	187	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
	Rastlinjaki	108	200	200	200	200	200
Krompir	Skupaj	2 829	5 583	5 583	5 583	5 583	5 877
	Konvencionalno	2 713	5 583	5 583	5 583	5 583	0
	Ekološko	115	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	5 877
Sadje	Skupaj	11 432	14 476	17 468	17 468	17 468	17 468
	Konvencionalno	9 657	14 476	17 468	17 468	17 468	17 468
	Ekološko	1 775	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Grozdje	Skupaj	15 330	15 679	16 504	16 504	32 961	16 504
	Konvencionalno	14 784	15 679	16 504	16 504	0	16 504
	Ekološko	545	0	0	0	32 961	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Zelena krma	Skupaj	65 082	46 779	58 478	46 759	46 169	41 820
	Konvencionalno	63 653	46 779	58 478	46 759	46 169	24 366
	Ekološko	1 429	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	17 454
Trava	Skupaj	277 527	246 603	231 286	237 729	220 885	220 885
	Konvencionalno	242 084	211 158	195 841	202 284	185 440	185 440
	Ekološko	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Stročnice	Skupaj	898	26 410	24 041	25 006	22 838	22 842
	Konvencionalno	804	26 410	24 041	25 006	22 838	22 842
	Ekološko	92	0	0	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	0
Skupaj	Konvencionalno	431 913	437 232	437 232	437 232	387 559	283 375
	Ekološko	40 856	35 445	35 445	35 445	85 118	85 118
	Ohranitveno	0	0	0	0	0	104 185
	Rastlinjaki	108**	200	200	200	200	200
Skupaj vse		472 877	472 877	472 877	472 877	472 877	472 878

*Skupne površine za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



3.5 Rezultati optimiranja z vključitvijo negotovosti

V tem delu smo najprej preučili vpliv spremenljivih hektarskih donosov na glavne kazalce kmetijske pridelave. Nato smo izvedli deterministično optimizacijo za upoštevanje negotovosti hektarskih donosov in nazadnje še stohastično optimizacijo. Pri tem smo za študije negotovosti uporabili ciljni model, diskutiran v poglavju 3.3.

Tabela 11 prikazuje minimalne, povprečne in maksimalne vrednosti hektarskih donosov med letoma 2018 in 2021 za konvencionalni način pridelave.

Tabela 11: Vrednosti hektarskih donosov (t/ha) za konvencionalni način pridelave

	minimalni donos	povprečni donos	maksimalni donos
Pšenica	4,40	5,30	5,80
Koruza	9,30	9,75	10,80
Ječmen	4,20	4,98	5,50
Tritikala	4,20	4,75	5,10
Krompir	23,40	25,80	30,30
Stročnice	2,11	2,33	2,45
Zelena krma	22,70	25,35	27,10
Trava	5,50	5,80	6,10
Zelenjava	18,50	18,93	19,40
Sadje	6,60	16,70	25,00
Grozdje	5,70	6,85	8,10

Za ekološki način pridelave je bilo predpostavljeno, da so vse tri vrednosti hektarskih donosov (minimalne, povprečne in maksimalne) enake 50 % vrednosti pri konvencionalni pridelavi.

Za ohranitveni način pridelave je bilo predpostavljeno, da so vse vrednosti hektarskih donosov 95 % vrednosti pri konvencionalni pridelavi.

Za pridelavo v rastlinjakih je bilo predpostavljeno, da se v njih lahko prideluje le zelenjava z naslednjimi donosi: minimalni 55,80 t/ha, povprečni 56,78 t/ha in maksimalni 58,20 t/ha.

3.5.1 Analiza občutljivosti oz. vplivov spremenljivih hektarskih donosov

Tabela 12 prikazuje rezultate za minimalne, povprečne in maksimalne vrednosti hektarskih donosov. Iz tabele je razvidno, da se vsi rezultati pomembno razlikujejo, kar nakazuje na potrebo po optimizaciji prehranske verige z upoštevanjem negotovosti pri hektarskih donosih. Prav tako opozarjamo na dejstvo, da so velikosti obdelovalnih površin v vsakem scenariju različne (tabela 13), kar pa ne ustreza dejanski situaciji, ko je namreč potrebno določiti obdelovalne površine za posamezne pridelke ob setvi, torej preden vemo, kakšni bodo dejansko hektarski donosi.



Tabela 12: Vpliv hektarskih donosov na ključne parametre kmetijske pridelave

	minimalni donos	povprečni donos	maksimalni donos
Žita (t)*	675 604	789 441	925 057
Zelenjava (t)	315 260	315 260	315 260
Krompir (t)	174 227	174 227	174 227
Sadje (t)	219 881	352 869	352 869
Grozdje (t)	85 215	85 215	85 215
Meso (t)	158 029	158 029	198 712
Mleko (t)	394 169	482 843	525 940
Jajca (t)	17 653	17 653	17 653
Vsa hrana + krma (t)	4 736 516	5 332 628	5 687 225
SO žita (%)	84,06	96,73	97,89
SO krompir (%)	120,96	120,96	120,96
SO zelen (%)	120,96	120,96	120,96
SO sadje (%)	75,37	120,96	120,96
SO groz (%)	75,37	75,37	75,37
SO mleko (%)	83,33	102,08	111,19
SO jajca (%)	71,56	71,56	71,56
SO gov (%)	112,07	112,07	112,07
SO svin (%)	70,82	70,82	112,07
SO pišč (%)	71,67	71,67	83,34
SO drobn (%)	72,04	72,04	72,04
SO meso vse (%)	80,63	80,63	101,39
SO skupna za ljudi (%)	88,55	101,83	106,60
Krave molznice (število)	63 018	77 195	84 085
Kokoši nesnice (število)	1 237 470	1 237 470	1 237 470
Govedo (število zakol)	164 129	164 129	164 129
Svinje (število zakol)	606 446	606 446	904 889
Perutnina (število zakol)	27 992 339	27 992 339	32 552 555
A konvenc (ha)	431 782	431 880	432 015
A ekološka (ha)	35 445	35 445	35 445
A ohranitv (ha)	0	0	0
A rastlinjaki (ha)	5 650	5 552	5 417
A za ljudi (ha)	102 595	81 578	68 389
A za živali (ha)	370 282	391 299	404 488
Uvoz vse (t)	422 905	209 002	186 631
Izvoz vse (t)	53 963	144 989	207 018
Ekonomski dobiček (€)	108 413 408	95 061 357	81 642 076
Emisije (t)	1 375 255	1 498 251	1 601 949
Dušik (t)	7 828	7 470	11 685
Umetna gnojila (t)	135 868	133 165	133 764
Večkrit. nam. funkcija	0,046	0,238	0,291
kcal/dan/preb	1 785	1 972	2 114

* Skupna količina za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



Tabela 13: Velikosti površin pri različnih donosih (vse vrednosti v ha)

		Površine za minimalni donos	Površine za povprečni donos	Površine za maksimalni donos
Žita*	Skupaj	112 726	110 927	116 392
	Konvencionalno	112 726	110 927	116 392
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Pšenica	Skupaj	43 821	36 380	33 666
	Konvencionalno	43 821	36 380	33 666
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Koruza	Skupaj	37 920	47 434	52 272
	Konvencionalno	37 920	47 434	52 272
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Zelenjadnice	Skupaj	5 650	5 552	5 417
	Konvencionalno	0	0	0
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
	Rastlinjaki	5 650	5 552	5 417
Krompir	Skupaj	7 446	6 753	5 750
	Konvencionalno	7 446	6 753	5 750
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Sadje	Skupaj	33 315	21 130	14 115
	Konvencionalno	33 315	21 130	14 115
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Grozdje	Skupaj	14 950	12 440	10 520
	Konvencionalno	14 950	12 440	10 520
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Zelena krma	Skupaj	70 805	65 933	62 825
	Konvencionalno	70 805	65 933	62 825
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Trava	Skupaj	208 147	232 177	237 286
	Konvencionalno	172 702	196 732	201 841
	Ekološko	35 445	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0	0
Stročnice	Skupaj	19 838	17 965	20 571
	Konvencionalno	19 838	17 965	20 571
	Ekološko	0	0	0
	Ohranitveno	0	0	0
Skupaj	Konvencionalno	431 782	431 880	432 015
	Ekološko	35 445	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0	0
	Rastlinjaki	5 650	5 552	5 417
Skupaj vse		472 877	472 877	472 877

*Skupne površine za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



3.5.2 Deterministični pristop za upoštevanje spremenljivih hektarskih donosov

Pri determinističnem pristopu smo najprej izvedli optimizacijo modela pri povprečnih vrednostih hektarskih donosov. Dobljeno porazdelitev obdelovalnih površin smo nato v modelu fiksirali in ponovili optimizacijo še za minimalne in maksimalne vrednosti hektarskih donosov. Rezultate prikazuje tabela 14, v kateri je razvidno, da so vrednosti obdelovalnih površin za vse scenarije iste. Zadnji stolpec prikazuje pričakovane vrednosti vseh spremenljivk. Če predpostavimo, da so verjetnosti vseh treh vrednosti hektarskih donosov enake $\frac{1}{3}$, se pričakovane vrednosti izračunajo kot aritmetično povprečje vrednosti vseh treh scenarijev.

3.5.3 Stohastični pristop za upoštevanje spremenljivih hektarskih donosov

Pri stohastičnem pristopu smo model predelali tako, da upošteva vse tri scenarije hkrati. To smo dosegli tako, da smo v model uvedli dodatni set za scenarije in vse drugostopenjske spremenljivke, ki so odvisne od hektarskih donosov, dimenzionirali po setu scenarijev. Prvostopenjske spremenljivke, to so obdelovalne površine posameznih pridelkov, pa so za vse scenarije enake. Tabela 15 prikazuje pričakovane vrednosti vseh spremenljivk za deterministični in stohastični pristop.

Iz tabele je razvidno, da daje stohastični pristop višjo pričakovano vrednost vse pridelane hrane in skupne stopnje samooskrbe s hrano za ljudi, ki sta glavna kriterija tega optimiranja. Nekoliko nižji je pričakovani ekonomski dobiček, višji pa so pričakovani okoljski vplivi.

Tabela 16 prikazuje primerjavo velikosti površin med obema pristopoma.



Tabela 14: Rezultati determinističnega pristopa

	minimalni donos	povprečni donos	maksimalni donos	pričakovane vrednosti
Žita (t)*	715 082	789 441	839 264	781 262
Zelenjava (t)	309 819	315 260	315 260	313 446
Krompir (t)	158 020	174 227	174 227	168 825
Sadje (t)	139 457	352 869	352 869	281 732
Grozdje (t)	70 909	85 215	100 765	85 630
Meso (t)	207 327	158 029	165 185	176 847
Mleko (t)	525 940	482 843	511 876	506 886
Jajca (t)	23 138	17 653	17 653	19 481
Vsa hrana + krma (t)	4 863 771	5 332 628	5 521 673	5 239 357
SO žita (%)	75,78	96,73	100,13	90,88
SO krompir (%)	109,71	120,96	120,96	117,21
SO zelen (%)	118,88	120,96	120,96	120,27
SO sadje (%)	47,81	120,96	120,96	96,58
SO groz (%)	62,72	75,37	89,13	75,74
SO mleko (%)	111,19	102,08	108,22	107,16
SO jajca (%)	93,79	71,56	71,56	78,97
SO gov (%)	112,07	112,07	112,07	112,07
SO svin (%)	100,38	70,82	76,04	82,41
SO pišč (%)	107,64	71,67	76,02	85,11
SO drobn (%)	112,07	72,04	72,04	85,38
SO meso vse (%)	105,79	80,63	84,28	90,23
SO skupna za ljudi (%)	91,47	101,83	105,70	99,67
Krave molznice (število)	84 085	77 195	81 836	81 039
Kokoši nesnice (število)	1 621 905	1 237 470	1 237 470	1 365 615
Govedo (število zakol)	164 129	164 129	164 129	164 129
Svinje (število zakol)	810 494	606 446	613 956	676 965
Perutnina (število zakol)	41 288 897	27 992 339	29 156 974	32 812 737
A konvenc (ha)	431 880	431 880	431 880	431 880
A ekološka (ha)	35 445	35 445	35 445	35 445
A ohranitv (ha)	0	0	0	0
A rastlinjaki (ha)	5 552	5 552	5 552	5 552
A za ljudi (ha)	81 578	81 578	81 578	81 578
A za živali (ha)	391 299	391 299	391 299	391 299
Uvoz vse (t)	475 319	209 002	164 689	283 003
Izvoz vse (t)	93 180	144 989	175 819	137 996
Ekonomski dobiček (€)	97 009 780	95 061 348	83 962 586	92 011 238
Emisije (t)	1 521 877	1 498 251	1 542 844	1 520 991
Dušik (t)	12 557	7 470	8 496	9 508
Umetna gnojila (t)	133 165	133 165	133 165	133 165
Večkriter. nam. funkcija	0,042	0,238	0,306	0,195
kcal/dan/preb	1 855	1 972	2 077	1 968

* Skupna količina za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



Tabela 15: Rezultati stohastičnega pristopa (primerjalno z determinističnim)

	Pričakovane vrednosti determinističnega pristopa	Pričakovane vrednosti stohastičnega pristopa
Žita (t)*	781 262	898 248
Zelenjava (t)	313 446	315 257
Krompir (t)	168 825	174 225
Sadje (t)	281 732	281 729
Grozdje (t)	85 630	85 629
Meso (t)	176 847	209 935
Mleko (t)	506 886	490 604
Jajca (t)	19 481	23 585
Vsa hrana + krma (t)	5 239 357	5 296 014
SO žita (%)	90,88	93,22
SO krompir (%)	117,21	120,96
SO zelen (%)	120,27	120,96
SO sadje (%)	96,58	96,58
SO groz (%)	75,74	75,74
SO mleko (%)	107,16	103,72
SO jajca (%)	78,97	95,60
SO gov (%)	112,07	112,07
SO svin (%)	82,41	112,07
SO pišč (%)	85,11	98,60
SO drobn (%)	85,38	98,72
SO meso vse (%)	90,23	107,12
SO skupna za ljudi (%)	99,67	101,15
Krave molznice (število)	81 039	78 436
Kokoši nesnice (število)	1 365 615	1 653 258
Govedo (število zakol)	164 129	164 128
Svinje (število zakol)	676 965	904 880
Perutnina (število zakol)	32 812 737	37 987 177
A konvenc (ha)	431 880	431 782
A ekološka (ha)	35 445	35 445
A ohranitv (ha)	0	0
A rastlinjaki (ha)	5 552	5 650
A za ljudi (ha)	81 578	82 057
A za živali (ha)	391 299	390 820
Uvoz vse (t)	283 003	293 632
Izvoz vse (t)	137 996	187 129
Ekonomski dobiček (€)	92 011 238	90 228 739
Emisije (t)	1 520 991	1 546 210
Dušik (t)	9 508	14 435
Umetna gnojila (t)	133 165	142 278
Večkriter. nam. funkcija	0,195	0,163
kcal/dan/preb	1 968	2 052

* Skupna količina za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



Tabela 16: Površine pri determinističnem in stohastičnem pristopu (vse vrednosti v ha)

		Površine determinističnega pristopa	Površine stohastičnega pristopa
Žita*	Skupaj	110 927	124 632
	Konvencionalno	110 927	124 632
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Pšenica	Skupaj	36 380	36 842
	Konvencionalno	36 380	36 842
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Koruza	Skupaj	47 434	55 291
	Konvencionalno	47 434	55 291
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Zelenjadnice	Skupaj	5 552	5 650
	Konvencionalno	0	0
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
	Rastlinjaki	5 552	5 650
Krompir	Skupaj	6 753	7 446
	Konvencionalno	6 753	7 446
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Sadje	Skupaj	21 130	21 130
	Konvencionalno	21 130	21 130
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Grozdje	Skupaj	12 440	12 440
	Konvencionalno	12 440	12 440
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Zelena krma	Skupaj	65 933	73 680
	Konvencionalno	65 933	73 680
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Trava	Skupaj	232 177	208 147
	Konvencionalno	196 732	172 702
	Ekološko	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0
Stročnice	Skupaj	17 965	19 753
	Konvencionalno	17 965	19 753
	Ekološko	0	0
	Ohranitveno	0	0
Skupaj	Konvencionalno	431 880	431 782
	Ekološko	35 445	35 445
	Ohranitveno	0	0
	Rastlinjaki	5 552	5 650
Skupaj vse		472 877	472 877

*Skupne površine za žitarice (pšenico, koruzo, ječmen, tritikalo)



4 Diskusija rezultatov

Na podlagi rezultatov projekta lahko povzamemo naslednje zaključke in usmeritve za razvoj verige oskrbe s hrano.

Splošni trendi. S celovito optimizacijo prehranske oskrbovalne verige je mogoče izboljšati stanje tega kompleksnega sistema tudi ob predpostavki rasti prebivalstva. Maksimiranje domače proizvodnje hrane brez upoštevanja ekonomike daje prednost pridelavi pridelkov, ki imajo visoke hektarske donose. Če je mogoče, se izbere vrsta kmetijske pridelave z največjim hektarskim donosom. Spremembe prehranjevalnih navad v smeri bolj uravnotežene prehrane in posledično zmanjšanje uživanja predvsem rdečega mesa bi povečale pridelavo večine živil in stopnjo samooskrbe ter zmanjšali neugodne okoljske vplive. Če je cilj, da se doma pridelajo čim več hrane in krme, se spodbuja pridelava v rastlinjakih; izračunana optimalna pridelovalna površina za rastlinjake bi bila več kot 50-krat večja, kot jo imamo danes.

Kompromisi v verigi preskrbe s hrano. V verigi preskrbe s hrano obstajajo jasna nasprotja med ekonomskim dobičkom in družbenimi kazalniki, kot sta stopnja samooskrbe s hrano za ljudi in količina proizvedenih kilokalorij. Če ta družbena kriterija maksimiramo, je ekonomski indikator nizek, kar kaže na velik pomen vzpostavljanja ravnovesja med ekonomskimi in družbenimi vidiki v verigi preskrbe s hrano. Obstajajo tudi jasna nasprotja med okoljskimi in socialnimi kazalniki, saj ob minimiranju okoljskih spremenljivk družbene spremenljivke dosegajo najslabše vrednosti. Nasprotja med ekološkimi in ekonomskimi indikatorji niso tako očitna, saj je v vseh scenarijih, kjer je eden od obeh indikatorjev optimiran, vrednost drugega še vedno ugodna.

Ekonomski vidiki. Ekonomska optimizacija daje prednost pridelavi pridelkov z največjo razliko med ceno in proizvodnimi stroški na enoto proizvoda. Posledično model minimira proizvodnjo izdelkov z nizkimi ali negativnimi razlikami med prihodki in proizvodnimi stroški, favorizira pa proizvodnjo visoko donosnih pridelkov. Ta del raziskave je nakazal pomembnost oblikovanja ustreznega sistema subvencij za spodbujanje pridelave nizko donosnih pridelkov, ki so strateški za prehransko varnost države. Omeniti velja, da je bil ekonomski kriterij v tem projektu ocenjen na poenostavljen način in v tej fazi služi za primerjavo rezultatov modela, vendar pa bi bilo za točnejše rezultate potrebno zbiranju preciznejših ekonomskih ocen posvetiti dodatno pozornost.

Okoljski vidiki. Minimiranje emisij toplogrednih plinov spodbuja uvoz hrane in zmanjšuje stopnjo samooskrbe s hrano. Ker so emisije toplogrednih plinov globalni problem, ti rezultati kažejo, da bi morali uvoženi živilski izdelki prevzeti del okoljskega bremena, ki ga povzroča njihova proizvodnja v tujini. Poleg tega bi lahko model razširili, da bi upošteval emisije iz transporta hrane, ki so lahko precejšnje, zlasti pri transportu hrane iz oddaljenih območij. Ugotovljeno tveganje čezmejnega premeščanja emisij CO₂ poudarja potrebo po optimizaciji celotne globalne verige preskrbe s hrano. Takšna optimizacija bi bila ob vključitvi različnih političnih instrumentov, ki bi preprečili čezmejne premestitve emisij ogljika, zelo zahteven optimizacijski problem.

Poleg emisij je dodaten okoljski problem presežek hranil, ki je pogosto posledica prekomerne uporabe gnojil. Z omejevanjem vnosa mineralnih gnojil smo v modelu implicitno obravnavali problem te vrste onesnaževanja. Model upošteva tudi bilanco dušika, ki nakazuje, da bi bilo v prihodnje v raziskave smiselno vključiti alternativne načine pridelave, kot je precizno kmetijstvo, s čemer bi neposredno naslovili problem onesnaževanja zaradi prekomerne uporabe gnojil.



Ekološko kmetijstvo. Spodbujanje ekološkega kmetijstva nekoliko zniža vrednost dosegljive stopnje samooskrbe. Z zahtevami po povečanju deleža ekološke pridelave se na ta način pridelujejo pridelki z nižjimi donosi, medtem ko se na preostalih površinah spodbujajo pridelki z višjimi donosi. To kaže, da je potrebno promovirati kvalitetne ekološke proizvode, ki bi na trgu lahko dosegli višjo ceno kot konvencionalno pridelani izdelki. Tudi zmanjšanje porabe hrane v smislu bolj zdrave prehrane bi povečalo privlačnost ekološkega kmetovanja. V prihodnjih raziskavah bi bilo smiselno zbrati in vključiti v model preciznejše podatke o dejanski rabi zemljišč, kar bi omogočilo spodbujanje ekološke pridelave na območjih z omejenimi možnostmi, kjer uporaba gnojil in pesticidov na splošno ni dovoljena.

Izgube hrane in odpadna hrana. Prerazporeditev kmetijskih zemljišč ne vpliva bistveno na količino izgubljene in zavržene hrane. Odpadno hrano lahko uporabimo za proizvodnjo energije, ki bi teoretično lahko pokrila en odstotek energetskih potreb slovenskih gospodinjstev (Drofenik, in dr., 2022). To ni veliko, zato je bolj pomembno potrošnike spodbuditi k spremembi načinov ravnanja s hrano, s čemer bi zmanjšali količino užitne hrane, ki konča med odpadki in povečali učinkovitost v verigi preskrbe s hrano. Ker pa so izgube hrane v določenem deležu neizogibne, bi jo lahko uporabili za proizvodnjo bioplina. **Poleg energetske izrabe bi veljalo preučiti tudi možnosti za predelavo stranskih proizvodov in presežkov iz prehranske verige v krmo za živali, s čemer se spodbuja cilje trajnostnega razvoja in krožnega gospodarstva.**

Uvoz in izvoz hrane. Na rezultate optimizacije močno vpliva obseg dovoljenega uvoza in izvoza hrane. Ko se ta dva dejavnika povečata, postane spodbujanje proizvodnje hrane oz. krme z višjimi hektarskimi donosi še bolj očitno. Posledično se izboljšajo vrednosti večine pomembnih primerjalnih kazalnikov, vključno s stopnjami samooskrbe. Hipoteza, da izvažanje hrane poslabšuje stopnjo samooskrbe, se ni potrdila. Z ustreznim uravnavanjem razmerja med uvozom in izvozom hrane je mogoče ugodno vplivati na stanje prehranske verige. Vplivi izvoza in uvoza hrane ter njunega razmerja na ključne kazalce v prehranski verigi so zapleteni in spodbujajo k dodatnim raziskavam.

Večkriterijska optimizacija. S hkratnim upoštevanjem več pomembnih kriterijev pri optimizaciji se pridobijo uravnoteženi rezultati, ki izražajo kompromise med glavnimi nasprotujočimi si dejavniki verige oskrbe s hrano. V tem projektu so bile za vse kriterije izbrane enake uteži. To je mogoče enostavno spremeniti, če želimo posameznemu kriteriju ali skupini kriterijev dati večji pomen. Ta del kaže potrjuje potrebo po večkriterijski optimizaciji verig oskrbe s hrano, kar odpira nadaljnje možnosti za raziskave.

Omejevanje v modelu. Z omejevanjem intervalov vrednosti, ki jih morajo doseči stopnje samooskrbe za posamezne pridelke in z omejitvijo površine rastlinjakov na 200 ha smo dosegli rezultate, pri katerih so stopnje samooskrbe s hrano za ljudi višje od 90 %. Če bi dosegli 65 % pokritost uvoza z izvozom, bi bila lahko samooskrba okoli 100 %. Glavni izvozni pridelki so v tem primeru meso in mesni izdelki goveda in piščancev, pri rastlinski hrani pa krompir, zelenjava, sadje. **Model z omejitvami nakazuje, da bi bilo treba za povečanje doma pridelane hrane glede na obstoječe stanje povečati površine, namenjene pridelavi žitaric, zelenjadnic, krompirja in sadja, in za ta namen nekoliko zmanjšati površine za pridelavo zelene krme, travnikov in pašnikov.** Tudi v tem segmentu raziskave je bil očitni vpliv razmerja uvoz-izvoz na indikatorje prehranske verige, pri tem pa pomembno vlogo odigra tudi točnost podatkov o tržnih cenah in stroških pridelave. Zato vidimo na tem področju veliko potenciala za nadaljnje raziskovanje.

Upoštevanje negotovosti. V raziskavi smo prikazali koncept za vključevanje negotovih vhodnih podatkov v študije optimizacije prehranske verige. Rezultati nakazujejo, da ima negotovost hektarskih donosov velik vpliv na kazalnike prehranske verige, zato je uporaba



stohastičnega optimiranja z upoštevanjem verjetnosti posameznih scenarijev smiselna. Področje odpira številne možnosti za nadaljnje raziskovalno delo, saj publikacij na temo stohastičnega optimiranja prehranskih verig ni veliko.



5 Zaključek

Glavni cilj projekta je bil izdelati matematični model za optimizacijo celotne prehranske verige v Sloveniji z namenom, da se preučijo možnosti za povečanje prehranske varnosti oz. lokalno pridelane hrane. Cilj je bil v celoti izpolnjen.

Izhajali smo iz podrobne analize obstoječega stanja v prehranski oskrbovalni verigi, ki je temeljila na pridobivanju, analiziranju, agregiranju in preračunavanju množice podatkov za uporabo v modelu. Ta analiza je dala podatke za obstoječe stanje prehranske verige, ki so bili uporabljeni v modelu in za primerjavo rezultatov modela. Nato so bile zapisane pogojne enačbe in neenačbe matematičnega modela, ki definirajo masne bilance pridelave in porabe hrane ter optimizacijske kriterije. Model je bil najprej preizkušen kot ciljni model, to pomeni brez posebnih omejitev, da so bile testirane osnovne relacije med najpomembnejšimi indikatorji prehranske verige. Slednji so bili razdeljeni v tri stebre trajnostnega razvoja: družbeni (npr. količina pridelane hrane za ljudi, stopnja samooskrbe), okoljski (npr. emisije TGP, bilanca presežnega dušika, raba umetnih gnojil) in ekonomski (enostavni dobiček na ravni celotne verige). S tem modelom so bila razkrita nasprotja med družbenimi in okoljskimi kriteriji (več pridelane hrane pomeni večje okoljske vplive) in šibkejša nasprotja med okoljskimi in ekonomskimi kriteriji: večji dobiček ne pomeni nujno velikega povečanja emisij, kar je tudi posledica čezmejnega prestavljanja emisij v primeru uvožene hrane. Zaradi številnih nasprotij in sinergij v prehranski verigi je bil ciljni model optimiran tudi z večkriterijsko optimizacijo, v kateri so bili enakovredno upoštevani najpomembnejši indikatorji prehranske verige. Večkriterijska optimizacija daje rešitve, ki predstavljajo kompromise med glavnimi indikatorji prehranske verige, zato je priporočena za nadaljnjo uporabo.

Ciljni model je pokazal osnovna razmerja v prehranski verigi, a se je izkazalo, da nekateri rezultati realno ne bi bili izvedljivi v praksi, zato je bil predelan v model z omejitvami – zlasti za intervale vrednosti, v katerih naj bodo stopnje samooskrbe posameznih pridelkov, in omejitve površin za pridelavo v rastlinjakih. Variante tega modela so pokazale, da je stopnjo samooskrbe s hrano za ljudi tudi ob omejitvah možno povečati na preko 90 % oz. se v določenih primerih približati 100 %. Za doseg tega cilja model nakaže, bi bilo treba povečati površine za žitarice, krompir in sadje, zelenjadnice v čim večji meri pridelovati v rastlinjakih, za to pa sprostiti nekaj površin, zdaj namenjenih pridelavi zelene krme, travnikom in pašnikom.

Razviti ciljni matematični model je bil razširjen tudi za izvedbo stohastičnega optimiranja v primeru negotovih vrednosti hektarskih donosov, kar nakazuje velik potencial za nadaljnje izboljšave modela.

Poseben poudarek je bil namenjen analiziranju in modeliranju izgub hrane in odpadne hrane, kjer smo izvedli oceno količin in sestave odpadne hrane v vseh stopnjah prehranske verige. Na tej osnovi je bil določen energijski potencial odpadne hrane in izdelan konceptualni načrt za njeno pretvorbo v bioplin in nato v električno energijo in toploto. Ta potencial sicer ni velik, a lahko prispeva k znižanju rabe fosilnih goriv.

Optimizacijski model je ob zaključku projekta V2-2009 v takšni fazi razvoja, da so upoštevani vsi glavni dejavniki, ki določajo optimalne masne bilance celotne prehranske verige v Sloveniji. S tem omogoča hitre ocene optimalnih količin pridelkov in števila živali ter količine uvožene in izvožene hrane, ob tem pa oceni ekonomske, okoljske in družbene kazalce prehranske verige.

Za nadaljnji razvoj modela so možna številna področja izboljšav, kot npr. zbiranje in priprava preciznejših vhodnih podatkov, točnejše modeliranje ekonomskih indikatorjev vključno s sistemom subvencij, vključitev dodatnih načinov kmetijske pridelave, točnejše definiranje



obdelovalnih površin, ki so primerne za posamezne skupine pridelkov, vpliv uvoza in izvoza hrane na samooskrbo itd.

Natančnejši podatki o strukturi kmetijskih gospodarstev, kot npr. lokacije in vrste pridelave hrane, bi omogočili bolj natančno analizo in izračune masnih bilanc za posamezne vrste pridelane zelenjave oz. žit. Natančnejši podatki o lokacijah in velikosti OMD bi omogočili bolj ciljno analizo možnosti uporabe teh površin za ekološko kmetijstvo, kar bi imelo neposreden vpliv na ostale izračune. Točnejši ekonomski podatki, npr. višje cene ekoloških pridelkov od konvencionalnih, bi povečali zanesljivost rezultatov in izračune vplivov finančnih spodbud za posamezne vrste hrane z najnižjim deležem dodane vrednosti. Omeniti velja še možnost združevanja določenih podatkov, kajti če se je v postavljanju modela uporabilo združevanje podatkov zaradi lažjega obvladovanja modela, bi v nadaljevanju lahko razčlenili določene pridelke po vrstah, npr. posamezne vrste sadja in zelenjave, in s tem povečali točnost rezultatov.

Na osnovi raziskav, izvedenih v tem projektu, lahko povzamemo naslednje usmeritve za zagotavljanje večjega deleža trajnostno pridelane lokalne hrane:

- Optimizacijski model v tej fazi razvoja daje ciljne vrednosti, ki kažejo možne usmeritve za oblikovanje politike. Za konkretno uporabo rezultatov v praksi ga je potrebno nadgraditi s preciznejšimi podatki o velikosti in strukturi obdelovalnih površin, s podatki o lokacijah površin OMD in s točnejšimi ekonomskimi podatki.
- Najbolj primerna je uporaba optimizacijskega modela za večkriterijsko optimiranje verige preskrbe s hrano, ker na ta način dosežemo kompromisne rešitve med količinami pridelane hrane, okoljskimi vplivi kmetijstva in ekonomsko učinkovitostjo. V tem primeru model favorizira pridelavo hrane rastlinskega izvora z visokimi hektarskimi donosi (krompir, zelenjavo in sadje), manj pa forsira pridelavo hrane živalskega izvora.
- **Dobre rezultate z vidika prehranske varnosti daje maksimiranje stopnje samooskrbe s hrano za ljudi, so pa v tem primeru okoljski vplivi višji.**
- **Za pridelavo več lokalno pridelane hrane model z omejitvami nakazuje, da bi lahko površine za pridelavo zelene krme in trave deloma preusmerili v pridelavo žitaric, krompirja, sadja in zelenjave.**
- Za pridelavo več lokalno pridelane trajnostne hrane model nakazuje, da bi bilo potrebno povečati pridelavo zelenjave v rastlinjakih, kolikor je možno v Sloveniji.
- Za čimbolj trajnostno kmetijstvo model nakazuje, da bi bilo treba usmerjati ljudi k spremembi prehranskih navad v smeri manjšega zaužitja rdečega mesa, pri čemer smo 30 % nad povprečjem EU. Sproščene površine za krmo živali bi lahko zasedli travniki in pašniki za pridelavo kvalitetnega mleka in mlečnih izdelkov ter mesa in mesnih izdelkov.
- Prebivalce je potrebno spodbujati k odgovornemu ravnanju s hrano. Potrebno jih je ozavestiti, da npr. 1 kg užitnega odpadnega govejega mesa dodatno povzroči tudi izgubo 35 kg krme, ki je zasedala površine, ki bi lahko bile uporabljene za pridelavo rastlinske hrane za ljudi. Zmanjšanje izgub poveča stopnjo samooskrbe.
- Za večji delež trajnostno pridelane lokalne hrane model nakazuje, da bi bilo potrebno identificirati pridelke z nižjimi hektarskimi donosi in nižjo dodano vrednostjo ter z ustreznim sistemom podpor spodbujati po eni strani velike pridelovalce strateških pridelkov in po drugi strani majhne pridelovalce, ki skrbijo za ohranjanje obdelovalnih površin in biotske raznovrstnosti.
- Pomembno je spodbujati raziskave drugih načinov pridelave, kot so precizno, ohranitveno in ekološko kmetijstvo, ki lahko prispevajo k učinkoviti pridelavi kvalitetnejše hrane z manjšim okoljskim odtisom.



6 Literatura

- [1] European Union, "European Green Deal - Delivering on our targets," 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_3688. [Accessed 24 10 2022].
- [2] B. Czyżewski in Ł. Kryszak, „Impact of different models of agriculture on greenhouse gases (GHG) emissions: A sectoral approach,” *Outlook Agric.*, Izv. 47, št. 1, pp. 68-76, 2018.
- [3] European Union, "Farm to Fork Strategy - For a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System," 2020.
- [4] Food and Agriculture Organization of the United Nations, „Hunger and food insecurity,” [Elektronski]. Available: <https://www.fao.org/hunger/en/>. [Poskus dostopa 3 5 2023].
- [5] R. Põldaru, A.-H. Viira and J. Roots, "Optimization of arable land use to guarantee food security in Estonia," *Agronomy Research*, vol. 16, no. 4, pp. 1837-1853, 2018.
- [6] G. Sali, F. Monaco, C. Mazzochi and S. Corsi, "Exploring land use scenarios in metropolitan areas: food balance in a local agricultural system by using a multi-objective optimization model," *Agric. Agric. Sci. Procedia*, vol. 8, pp. 211 - 221, 2016.
- [7] X. Qi, Y. Fu, R. Yu Wang, C. N. Ng, H. Dang and Y. He, "Improving the sustainability of agricultural land use: An integrated framework for the conflict between food security and environmental deterioration," *Appl. Geogr.*, vol. 90, pp. 214-223, 2018.
- [8] J. D. Ward, P. J. Ward, E. Mantzouris and C. Saint, "Optimising diet decisions and urban agriculture using linear programming," *Food Sec.*, vol. 6, pp. 701-718, 2014.
- [9] H. R. J. Van Kernebeek, S. J. Oosting, M. K. Van Ittersum, P. Bikker and I. J. M. De Boer, "Saving land to feed a growing population: consequences for consumption of crop and livestock products," *Int J Life Cycle Assess*, vol. 21, pp. 677 - 687, 2016.
- [10] L. Reina-Usuga, C. Parra-Lopez, T. de Haro-Gimenez and C.-T. Carmen, "Sustainability assessment of Territorial Short Food Supply Chains versus Large-Scale Food Distribution: The case of Colombia and Spain," *Land Use Policy*, vol. 126, p. 106529, 2023.
- [11] J. Drofenik, B. Pahor, Z. Kravanja in Z. Novak Pintarič, „Multi-objective scenario optimization of the food supply chain – Slovenian case study,” *Comput. Chem. Eng.*, Izv. 172, p. 108197, 2023.
- [12] World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research, "World Cancer Research Fund International," May 2018. [Online]. Available: <https://www.wcrf.org/diet-activity-and-cancer/>. [Accessed 15 April 2022].
- [13] B. Zagorc, B. Moljk, J. Brečko, A. Hiti Dvoršak and S. Bele, "Kmetijski inštitut Slovenije," 6 9 2022. [Online]. Available: https://www.kis.si/f/docs/Porocila_o_stanju_v_kmetijstvu/ZP_2021_trgi_6.9.2022.. [Accessed 15 4 2023].
- [14] J. Verbič, D. Babnik, M. Bedrač, J. Bergant, J. Glad, V. Jejčič, J. Jeretina in in drugi, „Zaključno poročilo o izvedbi raziskovalnega projekta CRP "Zagotovimo.si hrano za



- jutri": Zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov in amonijaka na kmetijskih gospodarstvih," Ljubljana, 2021.
- [15] Statistični urad Republike Slovenije, „SiStat,“ [Elektronski]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1529210S.px/table/tableViewLayout2/>. [Poskus dostopa 15 4 2021].
- [16] A. Robič, „Rezultati pitanja prašičev v kmečkih rejah,“ Diplomsko delo. Maribor : Univerza v Mariboru., 2017.
- [17] Y. Martínez in M. Valdivié, „Efficiency of Ross 308 broilers under different nutritional requirements,“ *J. Appl. Poult. Res.*, Izv. 30, št. 2, p. 100140, 2021.
- [18] K. Šekoranja, Prehrana kokoši nesnic v manjših rejah, Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani., 2019.
- [19] T. Kep, Analiza upravičenosti investicije v izgradnjo hleva glede na scenarije različnih razmerij med številom lastnih živali in dokupljenih, Diplomsko delo. Maribor : Univerza v Mariboru., 2018.
- [20] Food and Agriculture Organization of the United Nations, „SAVE FOOD: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction,“ [Elektronski]. Available: <https://www.fao.org/save-food/regional/europeanunion/en/>. [Poskus dostopa 25 4 2023].
- [21] M. Žitnik, P. Petric, K. Kalin in M. Hotić, „Stat.si,“ 27 9 2021. [Elektronski]. Available: <https://www.stat.si/StatWeb/en/News/Index/9865>. [Poskus dostopa 19 3 2022].
- [22] C. Caldeira, V. De Laurentiis, S. Corrado, F. van Holsteijn in S. Sala, „Quantification of food waste per product group along the food supply chain in the European Union: a mass flow analysis,“ *Resour. Conserv. Recycl.*, Izv. 149, pp. 479-488, 2019.
- [23] J. Drofenik, D. Urbancl, B. Pahor, D. Goričanec, Z. Kravanja and Z. Novak Pintarič, „Potential for Production of Energy and Valuable Products from Food Loss and Waste in Slovenia,“ *Chemical Engineering Transactions*, vol. 94, pp. 1063-1068, 2022.
- [24] D. Goričanec, „Method and Apparatus for Increasing the Efficiency of the Cogeneration Power Plant by the Heat Pump Principle Utilization for Increasing the Coolant Inlet Temperature“. United States of America Patent 20200326077, 15 10 2020.
- [25] J. Drofenik, D. Urbancl, D. Goričanec, Z. Kravanja in Z. Novak Pintarič, „Food Waste to Energy through Innovative Coupling of CHP and Heat Pump,“ *Energies*, Izv. 16, št. 8, p. 3344, 2023.
- [26] Statistični urad Republike Slovenije, „SiStat,“ [Elektronski]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/15P6003S.px/table/tableViewLayout2/>. [Poskus dostopa 12 6 2023].
- [27] S. Bele in A. Hiti Dvoršak, „ARSO Okolje: Kazalci okolja,“ Kmetijski inštitut Slovenije, 11 11 2022. [Elektronski]. Available: <https://kos.arso.gov.si/sl/content/pokritost-uvozahrane-z-izvozom-0>. [Poskus dostopa 15 4 2023].
- [28] Agrobiznis, „Agrobiznis,“ Finance, 21 2 2023. [Elektronski]. Available: <https://agrobiznis.finance.si/9008831/Agroizziv-bomo-povecali-obseg-ekoloskega-kmetijstva-kot-smo-si-nalozili>. [Poskus dostopa 10 5 2023].



[29] „SiStat,“ 1 5 2022. [Elektronski]. Available:
<https://pxweb.stat.si/SiStatData/pxweb/sl/Data/-/1573801S.px/table/tableViewLayout2/>.
[Poskus dostopa 17 9 2022].



7 Seznam publikacij, ki so nastale v okviru projekta

1.01 Izvirni znanstveni članek

1. DROFENIK, Jan, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Multi-objective scenario optimization of the food supply chain – Slovenian case study. *Computers & chemical engineering*. [Print ed.]. April 2023, 108197, vol. 172, 15 str. ISSN 0098-1354. DOI: [10.1016/j.compchemeng.2023.108197](https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108197). [COBISS.SI-ID [143343875](#)], [JCR, SNIP, WoS, Scopus]
2. DROFENIK, Jan, URBANCL, Danijela, GORIČANEC, Darko, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Food Waste to Energy through Innovative Coupling of CHP and Heat Pump. *Energies*. 2023, iss. 8, 3344, 18 str., ilustr. ISSN 1996-1073. DOI: [10.3390/en16083344](https://doi.org/10.3390/en16083344). [COBISS.SI-ID [148403203](#)], [JCR, SNIP]
3. DROFENIK, Jan, URBANCL, Danijela, PAHOR, Bojan, GORIČANEC, Darko, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Potential for production of energy and valuable products from food loss and waste in Slovenia. *Chemical engineering transactions*. [Online ed.]. 2022, vol. 94, str. 1063-1068. ISSN 2283-9216. DOI: [10.3303/CET2294177](https://doi.org/10.3303/CET2294177). [COBISS.SI-ID [121090307](#)], [SNIP, Scopus do 28. 3. 2023: št. citatov (TC): 1, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0,00] nagrada: MDPI-Energies first place: 100 % discount of special issue from PRES'22
4. DROFENIK, Jan, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Scenario analysis of changes in the food supply chain. *Chemical engineering transactions*. [Online ed.]. 2021, vol. 88, str. 721-726. ISSN 2283-9216. <https://www.cetjournal.it/index.php/cet/article/view/CET2188120>, DOI: [10.3303/CET2188120](https://doi.org/10.3303/CET2188120). [COBISS.SI-ID [87349507](#)], [SNIP, Scopus do 6. 4. 2023: št. citatov (TC): 5, čistih citatov (CI): 3, čistih citatov na avtorja (CIAu): 0,75]

1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

5. DROFENIK, Jan, ZIRNGAST, Klavdija, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Multi-objective optimization of the food chain as a support for the development of agricultural sector. V: MONTASTRUC, Ludovic (ur.), NEGNY, Stephane (ur.). *Proceedings of the 32nd European Symposium on computer aided process engineering : ESCAPE-32 [Toulouse, France, June 12 – 15, 2022]*. Amsterdam [etc.]: Elsevier, cop. 2022. Str. 487-492. Computer-aided chemical engineering, 51. ISBN 978-0-32-395879-0. ISSN 1570-7946. <https://www.elsevier.com/books/32nd-european-symposium-on-computer-aided-process-engineering/montastruc/978-0-323-95879-0>, DOI: [10.1016/B978-0-323-95879-0.50082-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95879-0.50082-5). [COBISS.SI-ID [115942915](#)], [SNIP]

1.12 Objavljeni povzetek znanstvenega prispevka na konferenci

6. DROFENIK, Jan, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Mathematical optimization of the food supply chain in Slovenia. V: RASPOR, Peter (ur.), et al. *11th Central European Congress on Food and Nutrition : food, technology and nutrition for healthy people in a healthy environment : CEFood congress book : [September 27-30, 2022], Čatež ob Savi, Slovenia*. Ljubljana: European Declaration on Food, Technology and Nutrition Network, 2022. Str. 270. ISBN 978-961-95942-0-9. [COBISS.SI-ID [150351875](#)]
7. NOVAK-PINTARIČ, Zorka, DROFENIK, Jan, KRAVANJA, Zdravko, PAHOR, Bojan. Using the process systems approach (mathematical programming/optimization) for 'non-process' applications. V: *CLES-CE 2022: 1st International scientific conference on cleaner energy and chemical engineering for sustainable circular economy*. 1st International scientific conference on cleaner energy and chemical engineering for sustainable circular economy, 28th August – 31st August, 2022, Sofia, Bulgaria. [S. l.: s. n., 2022]. Str. 34. ISBN 978-619-188-882-5, ISBN 978-619-188-881-8. http://prise-know.science/CLESCE2022/wp-content/uploads/2022/09/Book-of-abstracts_CLES-CE-2022_16_08_2022.pdf. [COBISS.SI-ID [120164099](#)]



8. DROFENIK, Jan, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. Assessing the impact of organic farming and conservation agriculture on the environment and food self-sufficiency. V: *Tehnologije in poslovni modeli za krožno gospodarstvo = Technologies and Business Models for Circular Economy, 13. – 15. september 2021, Portorož, Slovenia : TBMCE 2021 : book of abstracts*. [Maribor: s. n., 2021]. Str. 29-30. http://tbmce.um.si/wp-content/uploads/2021/09/02_TBMCE2021_Book_of_Abstracts.pdf. [COBISS.SI-ID [76892675](#)]
9. NOVAK PINTARIČ, Zorka, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko. The systems approach to sustainable food production and higher share of locally produced food. V: *Book of abstracts. 3rd International Conference Technologies and Business Models for Circular Economy (online conference), TBMCE 2020, 15 December 2020*. [S. l.: s. n., 2020]. Str. 45-46. [COBISS.SI-ID [44107267](#)]

3.15 Prispevek na konferenci brez natisa

10. DROFENIK, Jan, PAHOR, Bojan, KRAVANJA, Zdravko, NOVAK-PINTARIČ, Zorka. *Scenario analysis of changes in the food supply chain : lecture at the 24th Conference on Process Integration for Energy Saving and Pollution Reduction – PRES'21, 31. 10.-3. 11. 2021, Brno, Czech Republic*. [COBISS.SI-ID [88179971](#)]

3.25 Druga izvedena dela

11. DROFENIK, Jan, NOVAK-PINTARIČ, Zorka, PAHOR, Bojan. *Oblikovanje scenarijev za trajnostno pridelavo hrane in zdravo prehranjevanje : predavanje na spletnem dogodku Spoznajmo vzroke in zavržimo manj hrane -skupni strokovni posvet projektov s področja odpadne hrane in trajnostne pridelave hrane, 10. junij 2021*. [COBISS.SI-ID [73889795](#)]



8 Priloge

8.1 Izhodiščna tabela za oceno izgub hrane in odpadne hrane

Table 1
Food available in the EU, and food waste calculated for each food group and FSC stage for 2011.

Food groups	EU available (Mt)	Food Waste (Mt)					Total FW
		Primary Production	Processing & Manufacturing	Retail & Distribution	Consumption		
					Households	Food services	
Meat	61.7	0.5	2.9	1.7	7.3	1.7	14.2
Fish	8.2	0.0	3.1	0.2	0.5	0.3	4.2
Dairy	150.2	0.5	1.1	0.4	4.2	0.6	6.8
Eggs	6.2	0.3	0.1	0.1	1.1	0.3	1.8
Cereals	78.2	1.2	2.5	1.7	8.0	2.2	15.6
Fruit	67.9	11.1	6.1	0.8	8.6	1.5	28.1
Vegetables	68.5	13.4	2.6	0.9	12.2	2.2	31.3
Potatoes	42.8	1.2	2.1	0.3	4.9	0.8	9.4
Sugar beets	118.7	3.1	0.0	0.4	1.3	0.3	5.1
Oil Crops	35.4	0.9	10.0	0.1	1.4	0.3	12.7
TOTAL	637.8	32.2	30.6	6.7	49.6	10.3	129.2

Vir: Caldeira in dr., 2019 [22]

8.2 Optimizacijski model za scenarij 1

```

set i "vsi pridelki" /psen1, psen2, korul, koru2, krom1, zkrm2, jecm1, jecm2, trav2, trit2,
stro2, zele1, sadjl, grozl/
rastl(i) "rastlinska hrana za ljudi" /psen1, korul, krom1, jecm1, zele1, sadjl, grozl/
rastz(i) "rastlinska hrana za zivali" /psen2, koru2, zkrm2, jecm2, trav2, trit2, stro2/
rastui(i) "rastlinska hrana za izvoz uvoz" /psen1, psen2, korul, koru2, krom1, jecm1,
jecm2,zele1, sadjl, grozl/
set j "hrana zivalskega izvora" /gov, svin, pisc, drob, mleko, jajce/
set k vrsta kmetijstva /konv, ekol, ohra, rast;/
set m izvor zivih zivali /zakol, uvoz, izvoz;/
set p nutrienti /protein, carb, fat, alc;/
set r ekonomski podatki /cenaSLO, cenaEU, strosek;/
set s stopnje prehranske verige /pip, dit, gis, gosp;/

```

```

table don(i,k) hektarski pridelek t na ha
      konv      ekol      ohra      rast
psen1  5.30      2.65      5.04      0
korul   9.75      4.88      9.26      0
krom1  25.80     12.90     24.51      0
psen2   5.30      2.65      5.04      0
koru2   9.75      4.88      9.26      0
zkrm2  25.35     12.68     24.08      0
jecm1   4.98      2.49      4.73      0
jecm2   4.98      2.49      4.73      0
trav2   5.80      2.90      0          0
trit2   4.75      2.38      4.51      0
stro2   2.33      1.16      2.21      0
zele1  18.93      9.46     17.98     56.78
sadjl  16.70      8.35     15.87      0
grozl   6.85      3.43      6.51      0 ;

```

```

parameter TGPr(i,k) emisije za rastlinsko pridelavo t CO2 na t;
TGPr(i,'konv')=0.1;
TGPr(i,'ekol')=0.08;
TGPr(i,'ohra')=0.09;
TGPr(i,'rast')=0.1;

```

```

parameter TGPm(j) emisije za prirejo mesa t CO2 na t;
TGPm('gov')=10.63;
TGPm('svin')=1.22;
TGPm('pisc')=0.232;
TGPm('drob')=11.35;
TGPm('mleko')=0.816;
TGPm('jajce')=0.283;

```




```
parameter Npreb stevilo prebivalcev ;  
Npreb=2252987;  
scalar faktoruv največji delež uvoza /0.4/, faktoriz največji delež izvoza /0.1/;
```

```
parameter Nmineral delež dusika v mineralnem gnojilu ;  
Nmineral = 0.159;
```

```
parameter porabar(rastl) kg rastlinske hrane na osebo na leto;  
porabar('psen1')=74.20/0.739;  
porabar('korul')=8.03/0.701;  
porabar('krom1')=63.93;  
porabar('jecm1')=0.73/0.756;  
porabar('zele1')=115.68;  
porabar('sadj1')=129.48;  
porabar('groz1')=50.18;
```

```
parameter porabam(j) poraba mesa kg mesa na osebo na leto;  
porabam('gov')=20.03;  
porabam('svin')=34.98;  
porabam('pisc')=31.08;  
porabam('drob')=0.90;  
porabam('mleko')=209.95;  
porabam('jajce')=10.95;
```

```
parameter porabavse;  
porabavse=sum(rastl,porabar(rastl))+sum(j,porabam(j));  
display porabavse;  
display porabam;
```

```
table trup(j,m)  
      zakol      uvoz      izvoz  
gov    0.3055    0.14714    0.32195  
svin   0.09677    0.02210    0.08487  
pisc   0.00181    0.00005    0.00179  
drob   0.01433     0         0  
mleko  6.25050     0         0  
jajce  0.01424     0         0 ;
```

```
table konvfakt(rastz,j)  
      gov      svin      pisc      drob      mleko      Jajce  
psen2  0        0.10     0        0         0         1.36  
koru2  2.52     2.18    1.23     0         0.08     0.40  
zkrm2  24.23     0        0        0         0.67     0  
jecm2  1.59     0.76     0        0         0.06     0  
trav2  4.30     0        0        9.02     2.94     0  
trit2  0         0.43     0        0         0         0  
stro2  0         0.17     0.71     0         0         0.59;
```

```
table ekonr (i,r)  
      cenaSLO      cenaEU      strosek  
psen1  194.69      214.16      169.66  
psen2  0           0           169.66  
korul  179.38      197.32      167.70  
koru2  0           0           167.70  
krom1  300.62      330.68      213.06  
zkrm2  0           0           53.73  
jecm1  170.31      187.34      170.18  
jecm2  0           0           170.18  
trav2  0           0           61.39  
trit2  0           0           167.60  
stro2  0           0           480.00  
zele1  965.16      1061.67     569.34  
sadj1  530.59      583.65      485.82  
groz1  568.00      624.80      979.11;
```

```
table ekonm (j,r)  
      cenaSLO      cenaEU      strosek  
gov    3301.68      3682.25     4241.05  
svin   1680.33      1535.60     1704.25  
pisc   2153.28      1895.73     1222.44  
drob   5523.43      5772.95     10439.42  
mleko  343.60       311.30      371.43  
jajce  1933.33      2126.67     1630.73;
```

```
parameter ATOT skupna površina ha /472877/;
```



table uporgnoj(i,k) kolicina uporabljenih gnojil tona na hektar

	konv	ekol	ohra	rast
psen1	0.692	0	0.346	0
psen2	0.692	0	0.346	0
koru1	0.677	0	0.338	0
koru2	0.677	0	0.338	0
krom1	0.486	0	0.243	0
zkrm2	0.421	0	0.210	0
jecm1	0.461	0	0.231	0
jecm2	0.461	0	0.231	0
trav2	0.116	0	0	0
trit2	0.401	0	0.200	0
stro2	0.159	0	0.079	0
zele1	0.302	0	0.150	0.302
sadj1	0.159	0	0.079	0
groz1	0.149	0	0.074	0;

table vredN(i,k) letni odvzem dusika (t na ha)

	konv	ekol	ohra	rast
psen1	0.119	0.009	0.064	0
psen2	0.119	0.009	0.064	0
koru1	0.116	0.009	0.062	0
koru2	0.116	0.009	0.062	0
krom1	0.090	0.013	0.051	0
zkrm2	0.121	0.054	0.088	0
jecm1	0.079	0.006	0.043	0
jecm2	0.079	0.006	0.043	0
trav2	0.124	0.106	0.115	0
trit2	0.069	0.005	0.037	0
stro2	0.087	0.062	0.075	0
zele1	0.048	0	0.024	0.048
sadj1	0.055	0.030	0.042	0
groz1	0.024	0	0.012	0;

parameter N(j) letna kolicina izlocenega dusika na kg pridelka (kg N na kg pridelka) ;
N('gov')=0.409;
N('svin')=0.110;
N('pisc')=0.036;
N('drob')=0.941;
N('mleko')=0.016;
N('jajce')=0.03;

parameter kcal (p) kaloricna vrednost makronutrientov (kcal na g makronutrienta) ;
kcal('protein')=4;
kcal('carb')=4;
kcal('fat')=9;
kcal('alc')=7;

table nutrirastl(rastl,p) kilogram makronutrienta na kilogram rastlinske hrane

	protein	carb	fat	alc
psen1	0.0813	0.5614	0.0074	0
koru1	0.0559	0.5312	0.0280	0
jecm1	0.0752	0.5640	0.0150	0
krom1	0.0200	0.1700	0.0001	0
zele1	0.0100	0.0400	0	0
sadj1	0	0.1400	0	0
groz1	0	0.0259	0	0.1020;

table nutriziv(j,p) kilogram makronutrienta na kilogram zivalske hrane

	protein	carb	fat	alc
gov	0.190	0	0.170	0
svin	0.170	0	0.200	0
pisc	0.220	0	0.07	0
drob	0.200	0	0.08	0
mleko	0.031	0.017	0.040	0
jajce	0.130	0.010	0.100	0;

table odpr(rastl,s) kilogram odpadne in zavrzene hrane na kilogram rastlinske hrane

	pip	dit	gis	gosp
psen1	0.0079	0.0156	0.0399	0.0483
koru1	0.0079	0.0156	0.0399	0.0483



jecm1	0.0079	0.0156	0.0399	0.0483
krom1	0.0327	0.0127	0.0469	0.0893
zele1	0.0091	0.0084	0.0404	0.0745
sadj1	0.0039	0.0021	0.0113	0.0230
groz1	0.0039	0.0006	0.0031	0.0063;

table odpm(j,s) kilogram odpadne in zavrzene hrane na kilogram zivalske hrane

	pip	dit	gis	gosp
gov	0.0086	0.0202	0.0399	0.0570
svin	0.0086	0.0202	0.0399	0.0570
pisc	0.0086	0.0202	0.0399	0.0570
drob	0.0086	0.0202	0.0399	0.0570
mleko	0.0007	0.0015	0.0058	0.0134
jajce	0.0018	0.0096	0.0567	0.0691;

parameter uzit(s) delež uzitne odpadne hrane po stopnjah prehranske verige;

```
uzit('pip')=0.50;  
uzit('dit')=0.65;  
uzit('gis')=0.48;  
uzit('gosp')=0.33;
```

scalar

```
prihodki0 ekonomski prihodki sedaj /1567977438/,  
odhodki0 ekonomski odhodki sedaj /1548143191/,  
emisija0 emisije TPG sedaj /1493925/,  
SSLjudje0 samooskrba za ljudi sedaj /0.850/,  
kol_um_gnoj0 kolicina umetnih gnojil sedaj /118653/,  
kcal_danproiz0 kolicina proizvedenih kilokalorij sedaj /1716.94/,  
ozhran_skup_preb0 odpadna hrana sedaj /60.6888351/;
```

positive variables

```
A(i,k) površine za pridelavo rastlinske hrane in krme ha  
proizvr(i,k) proizvodnja rastlinske hrane in krme t na a  
uvozr(i) uvoz rastlinske hrane in krme t na a  
izvozt(i) izvoz rastlinske hrane in krme t na a  
uvozm(j) uvoz mesa mleka jajc t na a  
izvozm(j) izvoz mesa mleka jajc t na a  
NZ(j,m) stevilo zivali mlekaric in kokosi  
domprireja(j) domaca prireja meso mleka jajc t na a  
vsepridmeso(j) zakol domacih in uvozenih zivali  
potrosr(i) letna potrosnja rastlinske hrane za ljudi in zivali t na a  
domporaba(j) letna potrosnja mesa mleka jajc t na a  
nutri_danproiz(p) kolicina proizvedenih makrohranil na prebivalca na dan  
nutri_danpotros(p) kolicina porabljenih makrohranil na prebivalca na dan  
ozhranr(rastl) kolicina odpadne in zavrzene hrane rastlinskega izvora  
ozhranm(j) kolicina odpadne in zavrzene hrane zivalskega izvora  
ozhranr_uzit(rastl) kolicina uzitne odpadne in zavrzene hrane rastlinskega izvora  
ozhranm_uzit(j) kolicina uzitne odpadne in zavrzene hrane zivalskega izvora;
```

```
binary variables yuvozr(i), yizvozt(i), yuvozm(j), yizvozm(j), yNZuvoz(j), yNZizvoz(j);  
SCALAR MBIG /1e8/;
```

variable Z proizvodnja v t na a

```
emisija emisija TGP v t na a  
dodvred ekonomika  
prihodki prihodki dodana vrednost  
odhodki odhodki dodana vrednost  
dusik letna bilanca dusika v t  
SSLjudje stopnja samooskrbe za ljudi  
multinorm  
multinorm_novo  
kcal_danproiz kolicina proizvedenih kilokalorij na prebivalca na dan  
kcal_danpotros kolicina porabljenih kilokalorij na prebivalca na dan  
nutri vsota proizvedenih makrohranil  
ozhran_skup skupna kolicina odpadne hrane  
ozhran_skup_uzit skupna kolicina uzitne odpadne hrane  
ozhran_skup_preb kolicina odpadne hrane na prebivalca  
kol_um_gnoj skupna letna poraba umetnih gnojil t na a;
```

EQUATIONS

```
e1,e2,e3,e4,e5,e5a,e6,e7,e8a,e8b,e8,e9,e10,e11,e12,e13,e14,e15,e19,e20,e21,e22,e23,e24,e25,e26  
,e27,e28,e28a,e29,e29a,e30,e30a,e31,eobj,multi_n;  
EQUATIONS logi1,logi2,logi3,logi4,logi5,logi6,logi7,logi8,logi9,logi10,logi11;  
*EQUATIONS e17,e18,e18a,e18b,e18c,e18d,e18e,e18f,e18g,e18h;
```



```
e1..          sum((i,k), A(i,k)) =l= ATOT;
e2(i,k)..    proizvr(i,k) =e= A(i,k)*don(i,k);
e3(i)..      sum(k,proizvr(i,k))+uvozr(i)=e=potrosr(i)+izvozr(i)+
            sum(rastl,odpr(rastl,'pip'))*sum(k,proizvr(i,k));
e4(rastz)..  potrosr(rastz) =e= sum(j, domprireja(j)*konvfakt(rastz,j));
e5a(j)..     vsepridmeso(j) =e= NZ(j,'zakol')*trup(j,'zakol');
e5(j)..      domprireja(j) + NZ(j,'uvoz')*trup(j,'uvoz') =e= vsepridmeso(j) +
            NZ(j,'izvoz')*trup(j,'izvoz') +
            odpm(j,'pip')*(NZ(j,'zakol')*trup(j,'zakol')+NZ(j,'izvoz')*trup(j,'izvoz')-
            NZ(j,'uvoz')*trup(j,'uvoz'));
e6(j)..      domporaba(j) =e= vsepridmeso(j) + uvozm(j) - izvozm(j);
e7..         emisija =e= sum((i,k), proizvr(i,k)*TGPr(i,k))+sum(j,domprireja(j)*TGPm(j));
e8a..        prihodki =e= sum(rastl, potrosr(rastl)*ekonr(rastl,'cenaSLO')) + sum(j,
            domporaba(j)*ekonm(j,'cenaSLO')) + sum(rastl, izvozr(rastl)*ekonr(rastl,'cenaEU')) + sum(j,
            (NZ(j,'izvoz')*trup(j,'izvoz') + izvozm(j))*ekonm(j,'cenaEU'));
e8b..        odhodki =e= sum((rastl,k), proizvr(rastl,k)*ekonr(rastl,'strosek')) +
            sum(j,domprireja(j)*ekonm(j,'strosek')) + sum(rastl, uvozr(rastl)*0.8*ekonr(rastl,'cenaEU')) +
            sum(j, (NZ(j,'uvoz')*trup(j,'uvoz') + uvozm(j))*0.8*ekonm(j,'cenaEU'));
e8..         dodvred =e= sum(rastl, potrosr(rastl)*ekonr(rastl,'cenaSLO')) - sum((rastl,k),
            proizvr(rastl,k)*ekonr(rastl,'strosek'))+sum(j, domporaba(j)*ekonm(j,'cenaSLO')) -
            sum(j,domprireja(j)*ekonm(j,'strosek')) + sum(rastl, izvozr(rastl)*ekonr(rastl,'cenaEU')) +
            sum(j, (NZ(j,'izvoz')*trup(j,'izvoz') + izvozm(j))*ekonm(j,'cenaEU')) -
            sum(rastl, uvozr(rastl)*0.8*ekonr(rastl,'cenaEU')) - sum(j,
            (NZ(j,'uvoz')*trup(j,'uvoz') + uvozm(j))*0.8*ekonm(j,'cenaEU'));
e9..         kol_um_gnoj =e= sum((i,k),A(i,k)*uporgnoj(i,k));
e10..        dusik =e= sum(j, domprireja(j)*N(j)) + kol_um_gnoj*Nmineral -
            sum((i,k),A(i,k)*vredN(i,k));
e11(j)..     NZ(j,'izvoz')*trup(j,'izvoz') + izvozm(j) =l= faktoriz*vsepridmeso(j);
e12(j)..     NZ(j,'uvoz')*trup(j,'uvoz') + uvozm(j) =l= faktoruv*vsepridmeso(j);
e13(i)..     izvozr(i) =l= faktoriz*sum(k,proizvr(i,k));
e14(i)..     uvozr(i) =l= faktoruv*sum(k,proizvr(i,k));
e15..        SSLjudje * (sum(rastl,Npreb*porabar(rastl))/1000 + sum(j,Npreb*porabam(j))/1000)
=e=
            sum((rastl,k), proizvr(rastl,k))+ sum(j, domprireja(j));
*e16..       sum(i, A(i,'ekol')) =g= 0.25* ATOT;
*e16..       sum(i, A(i,'rast')) =l= 200;

e19..        NZ('gov','uvoz')=l=0.25*NZ('gov','zakol');
e20..        NZ('svin','uvoz')=l=0.25*NZ('svin','zakol');
e21..        NZ('pisc','uvoz')=l=0.65*NZ('pisc','zakol');
e22..        sum(k, A('trav2',k)) =g= 0.75*277529;
*e22..       sum(k, A('trav2',k) + A('sadj1',k)) =g= 0.9*(246131+31624+9761+1003);
e23(p)..     nutri_danproiz(p) =e= (sum((rastl,k),
            nutrirastl(rastl,p)*proizvr(rastl,k))+sum(j,
            nutriziv(j,p)*domprireja(j)))*1000000/(365.25*Npreb);
e24(p)..     nutri_danpotros(p) =e= (sum(rastl, nutrirastl(rastl,p)*potrosr(rastl))+sum(j,
            nutriziv(j,p)*domporaba(j)))*1000000/(365.25*Npreb);
e25..        kcal_danproiz =e= sum(p, nutri_danproiz(p)*kcal(p));
e26..        kcal_danpotros =e= sum(p, nutri_danpotros(p)*kcal(p));
e27..        nutri =e= sum(p,nutri_danproiz(p));
e28(rastl).. ozhranr(rastl) =e=
            (sum(k,proizvr(rastl,k)*odpr(rastl,'pip'))+potrosr(rastl)*odpr(rastl,'dit')+potrosr(rastl)*odp
            r(rastl,'gis')+potrosr(rastl)*odpr(rastl,'gosp'));
e28a(rastl).. ozhranr_uzit(rastl) =e=
            (sum(k,proizvr(rastl,k)*odpr(rastl,'pip'))*uzit('pip')+potrosr(rastl)*odpr(rastl,'dit')*uzit('
            dit')+potrosr(rastl)*odpr(rastl,'gis')*uzit('gis')+potrosr(rastl)*odpr(rastl,'gosp')*uzit('gos
            p'));
e29(j)..     ozhranm(j)=e=
            (domprireja(j)*odpm(j,'pip')+domporaba(j)*odpm(j,'dit')+domporaba(j)*odpm(j,'gis')+domporaba(j)
            )*odpm(j,'gosp'));
e29a(j)..    ozhranm_uzit(j)=e=
            (domprireja(j)*odpm(j,'pip')*uzit('pip')+domporaba(j)*odpm(j,'dit')*uzit('dit')+domporaba(j)*o
            dpm(j,'gis')*uzit('gis')+domporaba(j)*odpm(j,'gosp')*uzit('gosp'));
e30..        ozhran_skup =e= sum(rastl,ozhranr(rastl))+sum(j,ozhranm(j));
e30a..       ozhran_skup_uzit =e= sum(rastl,ozhranr_uzit(rastl))+sum(j,ozhranm_uzit(j));
e31..        ozhran_skup_preb =e= ozhran_skup*1000/Npreb;

logi1(i)..   uvozr(i) =l= MBIG*yuvozr(i);
logi2(i)..   izvozr(i) =l= MBIG*yizvozr(i);
logi3(j)..   uvozm(j) =l= MBIG*yuvozm(j);
logi4(j)..   izvozm(j) =l= MBIG*yizvozm(j);
logi5(j)..   NZ(j,'uvoz') =l= MBIG*yNZuvoz(j);
logi6(j)..   NZ(j,'izvoz') =l= MBIG*yNZizvoz(j);
logi7(i)..   yuvozr(i) + yizvozr(i) =l= 2;
```



```
logi8(j).. yuvozm(j) + yizvozm(j) =1= 2;
logi9(j).. yNZuvoz(j) + yNZizvoz(j) =1= 2;
logi10(j).. yuvozm(j) + yNZizvoz(j) =1= 2;
logi11(j).. yNZuvoz(j) + yizvozm(j) =1= 2;

multi_n.. multinorm_novo =e= (prihodki-prihodki0)/prihodki0 - (odhodki-odhodki0)/odhodki0 -
(emisija-emisija0)/emisija0 + (SSLjudje-SSLjudje0)/SSLjudje0 -
(kol_um_gnoj-kol_um_gnoj0)/kol_um_gnoj0 + (kcal_danproiz-
kcal_danproiz0)/kcal_danproiz0-(ozhran_skup_preb-ozhran_skup_preb0)/ozhran_skup_preb0;

eobj.. z =e= sum(j, domprireja(j) ) + sum((i,k), proizvr(i,k)) ;

*povrsina in izvoz trave se neujemata
izvozt.fx('trav2')=0;
*uvozt.fx('trav2')=0;
izvozt.fx('zkrm2')=0;
*izvozt.fx(i)=0;
*izvozm.fx(j)=0;

*letna potrosnja rastlinske hrane za ljudi je fiksirana
potrosr.fx(rastl)=Npreb*porabar(rastl)/1000;

* letna potrosnja mesa za ljudi je fiksirana
domporaba.fx(j)=Npreb*porabam(j)/1000;

NZ.l('gov','zakol')=114925;
NZ.l('svin','zakol')=321955;
NZ.l('pisc','zakol')=36709051;
NZ.l('drob','zakol')=121046;
NZ.l('mleko','zakol')=106816;
NZ.l('jajce','zakol')=1662167;

NZ.fx('drob','uvoz')=0;
NZ.fx('mleko','uvoz')=0;
NZ.fx('jajce','uvoz')=0;
NZ.fx('drob','izvoz')=0;
NZ.fx('mleko','izvoz')=0;
NZ.fx('jajce','izvoz')=0;

* to vklopi za max dod vrednost
A.fx(i,'ekol')=0;

A.fx('psen1','rast')=0;
A.fx('korul','rast')=0;
A.fx('kroml','rast')=0;
A.fx('psen2','rast')=0;
A.fx('koru2','rast')=0;
A.fx('zkrm2','rast')=0;
A.fx('jecm1','rast')=0;
A.fx('jecm2','rast')=0;
A.fx('trav2','ekol')=35445;
A.fx('trav2','ohra')=0;
A.fx('trav2','rast')=0;
A.fx('trit2','rast')=0;
A.fx('stro2','rast')=0;
A.fx('sadjl','rast')=0;
A.fx('groz1','rast')=0;

*kol_um_gnoj.up=118653*0.8;
dusik.lo=0;

model CRP1 /all/;

solve CRP1 using MIP maximizing Z;
*solve CRP1 using MIP minimizing Z;
*multinorm_novo.lo=1.40;
*solve CRP1 using MIP maximizing multinorm_novo;
*solve CRP1 using MIP minimizing emisija;
*solve CRP1 using MIP minimizing kol_um_gnoj;
*solve CRP1 using MIP maximizing dodvred;
*SSLjudje.lo=1.157;
*solve CRP1 using MIP maximizing SSLjudje;
*solve CRP1 using MIP maximizing kcal_danproiz;
*nutri.lo=560
*ozhran_skup.up=138470;
```




```
*solve CRP1 using MIP minimizing ozhran_skup_preb;
*solve CRP1 using MIP maximizing nutri;
*solve CRP1 using MIP minimizing dusik;

* proizvodnja hrane
parameter
proizvzita,proizvzelen,proizvkromp,proizvgroz,proizvsad,proizvmeso,proizvmleko,proizvjajca,sku
pajrasthrana,skupajzivhrana,vsahrana,hranainkrma;
proizvzita=sum(k,
proizvr.l('psen1',k)+proizvr.l('psen2',k)+proizvr.l('korul',k)+proizvr.l('koru2',k)+proizvr.l(
'jecm1',k)+proizvr.l('jecm2',k)+proizvr.l('trit2',k));
proizvzelen = sum(k, proizvr.l('zele1',k));
proizvkromp = sum(k, proizvr.l('krom1',k)) ;
proizvgroz = sum(k, proizvr.l('groz1',k)) ;
proizvsad = sum(k, proizvr.l('sadj1',k));
proizvmeso =
(domprireja.l('gov')+domprireja.l('svin')+domprireja.l('pisc')+domprireja.l('drob'));
proizvmleko = domprireja.l('mleko');
proizvjajca = domprireja.l('jajce');
skupajrasthrana =
proizvzita+proizvzelen+proizvkromp+proizvgroz+proizvsad+sum(k,proizvr.l('stro2',k));
skupajzivhrana = proizvmeso+proizvmleko+proizvjajca;
vsahrana= skupajrasthrana+skupajzivhrana;
hranainkrma=vsahrana+ sum(k, proizvr.l('zkrm2',k)) +sum(k, proizvr.l('trav2',k));
* stopnje samooskrbe
parameter
SOzita,SOzelen,SOkromp,SOgroz,SOsadje,SOmleko,SOjajca,SOgov,SOsvin,SOpisc,SOdrob,SOvsemeso,SOL
judjevse;
SOzita =
100*proizvzita/(potrosr.l('psen1')+potrosr.l('psen2')+potrosr.l('korul')+potrosr.l('koru2')+po
trosr.l('jecm1')+potrosr.l('jecm2')+potrosr.l('trit2'));
SOzelen = 100*proizvzelen/potrosr.l('zele1');
SOkromp = 100*proizvkromp/potrosr.l('krom1');
SOgroz = 100*proizvgroz/potrosr.l('groz1');
SOsadje = 100*proizvsad/potrosr.l('sadj1');
SOmleko = 100*proizvmleko/dompوراba.l('mleko');
SOjajca = 100*proizvjajca/dompوراba.l('jajce');
SOgov = 100*domprireja.l('gov')/dompوراba.l('gov');
SOsvin = 100*domprireja.l('svin')/dompوراba.l('svin');
SOpisc = 100*domprireja.l('pisc')/dompوراba.l('pisc');
SOdrob = 100*domprireja.l('drob')/dompوراba.l('drob');
SOvsemeso =
100*proizvmeso/(dompوراba.l('gov')+dompوراba.l('svin')+dompوراba.l('pisc')+dompوراba.l('drob')
);
SOLjudjevse = 100*(sum((rastl,k), proizvr.l(rastl,k))+ sum(j, domprireja.l(j)))/(sum(rastl,
potrosr.l(rastl))+sum(j, domporaba.l(j)));

*stevilo glav zivali
parameter NZmolz, NZnesn,NZgov,NZsvin,NZperut;
NZmolz=NZ.l('mleko','zakol');
NZnesn=NZ.l('jajce','zakol');
NZgov= NZ.l('gov','zakol');
NZsvin= NZ.l('svin','zakol');
NZperut= NZ.l('pisc','zakol');

* površine
parameter Akonv,Aekol,Aohra,Arast,A_ljudje,A_zivali;
Akonv = sum(i, A.l(i,'konv'));
Aekol = sum(i, A.l(i,'ekol'));
Aohra = sum(i, A.l(i,'ohra'));
Arast = sum(i, A.l(i,'rast'));
A_ljudje= sum((rastl,k), A.l(rastl,k));
A_zivali= sum((rastz,k), A.l(rastz,k));

* uvoz, izvoz
parameter uvozvse,izvozvse;
uvozvse=sum(j, NZ.l(j,'uvoz')*trup(j,'uvoz') + uvozm.l(j))+sum(rastui,uvozs.l(rastui));
izvozvse=sum(j, NZ.l(j,'izvoz')*trup(j,'izvoz') + izvozm.l(j))+sum(rastui,izvozs.l(rastui));

FILE CRPrezultarg /CRPrezultarg.txt;/

put CRPrezultarg/;

put proizvodnja:10:0 /;
```



```
put proizvzelen:10:0 /;  
put proizvzkomp:10:0 /;  
put proizvvsad:10:0 /;  
put proizvgroz:10:0 /;  
put proizvmeso:10:0 /;  
put proizvmleko:10:0 /;  
put proizvjajca:10:0 /;  
put skupajrasthrana:10:0 /;  
put skupajzivhrana:10:0 /;  
put vsahrana:10:0/;  
put hranainkrma:10:0/;
```

```
put SOzita:7:2 /;  
put SOkromp:7:2 /;  
put SOzelen:7:2 /;  
put SOSadje:7:2 /;  
put SOgroz:7:2 /;  
put SOMleko:7:2 /;  
put SOjajca:7:2 /;  
put SOgov:7:2 /;  
put OSvin:7:2 /;  
put OPisc:7:2 /;  
put Odrob:7:2 /;  
put OVsemeso:7:2 /;  
put OLjudjevse:7:2/;
```

```
put NZmolz:10:0 /;  
put NZnesn:10:0/;  
put NZgov:10:0/;  
put NZsvin:10:0/;  
put NZperut:10:0/;
```

```
put Akonv:6:0/;  
put Aekol:6:0/;  
put Aohra:6:0/;  
put Arast:6:0/;  
put A_ljudje:6:0/;  
put A_zivali:6:0/;
```

```
put uvozvse:7:0/;  
put izvozvse:7:0/;
```

```
put dodvred.l:10:0 /;  
put emisija.l:10:0/;  
put dusik.l:10:0/;  
put kol_um_gnoj.l:10:0/;  
put multinorm_novo.l:7:3/;
```

```
put faktoruv:7:3/;  
put faktoriz:7:3/;
```

```
put kcal_danproiz.l:7:1/;
```

*****POVRŠINE*****

```
parameters Azitakonv, Azitaekol, Azitaohra, Azitavse;  
Azitakonv= A.l('psen1', 'konv')+ A.l('psen2', 'konv')+A.l('koru1', 'konv')+  
A.l('koru2', 'konv')+A.l('jecm1', 'konv')+ A.l('jecm2', 'konv')+ A.l('trit2', 'konv');  
Azitaekol= A.l('psen1', 'ekol')+ A.l('psen2', 'ekol')+A.l('koru1', 'ekol')+  
A.l('koru2', 'ekol')+A.l('jecm1', 'ekol')+ A.l('jecm2', 'ekol')+ A.l('trit2', 'ekol');  
Azitaohra= A.l('psen1', 'ohra')+ A.l('psen2', 'ohra')+A.l('koru1', 'ohra')+  
A.l('koru2', 'ohra')+A.l('jecm1', 'ohra')+ A.l('jecm2', 'ohra')+ A.l('trit2', 'ohra');  
Azitavse= Azitakonv+Azitaekol+Azitaohra;
```

```
parameters Apsenkonv, Apsenekol, Apsenohra, Akorukonv, Akoruekol, Akoruohra, Apsenvse, Akoruvse;  
Apsenkonv=A.l('psen1', 'konv')+ A.l('psen2', 'konv');  
Apsenekol=A.l('psen1', 'ekol')+ A.l('psen2', 'ekol');  
Apsenohra=A.l('psen1', 'ohra')+ A.l('psen2', 'ohra');  
Akorukonv=A.l('koru1', 'konv')+ A.l('koru2', 'konv');  
Akoruekol=A.l('koru1', 'ekol')+ A.l('koru2', 'ekol');  
Akoruohra=A.l('koru1', 'ohra')+ A.l('koru2', 'ohra');  
Apsenvse=Apsenkonv+Apsenekol+Apsenohra;  
Akoruvse=Akorukonv+Akoruekol+Akoruohra;
```

```
parameters Azelekonv, Azelekol, Azeleohra, Azelerast, Azelevse;  
Azelekonv=A.l('zele1', 'konv');
```



```
Azeleekol=A.l('zele1','ekol');
Azeleohra=A.l('zele1','ohra');
Azelerast=A.l('zele1','rast');
Azelevse=Azelekonv+Azeleekol+Azeleohra+Azelerast;

parameters Akromkonv, Akromekol, Akromohra, Akromvse;
Akromkonv=A.l('krom1','konv');
Akromekol=A.l('krom1','ekol');
Akromohra=A.l('krom1','ohra');
Akromvse=Akromkonv+Akromekol+Akromohra;

parameters Asadjkonv, Asadjekol, Asadjohra, Asadjvse;
Asadjkonv=A.l('sadj1','konv');
Asadjekol=A.l('sadj1','ekol');
Asadjohra=A.l('sadj1','ohra');
Asadjvse=Asadjkonv+Asadjekol+Asadjohra;

parameters Agrozkonv, Agrozekol, Agrozohra, Agrozvse;
Agrozkonv=A.l('groz1','konv');
Agrozekol=A.l('groz1','ekol');
Agrozohra=A.l('groz1','ohra');
Agrozvse=Agrozkonv+Agrozekol+Agrozohra;

parameters Azkrmkonv, Azkrmekol, Azkrmohra, Azkrmvse;
Azkrmkonv=A.l('zkrm2','konv');
Azkrmekol=A.l('zkrm2','ekol');
Azkrmohra=A.l('zkrm2','ohra');
Azkrmvse=Azkrmkonv+Azkrmekol+Azkrmohra;

parameters Atravkonv, Atravekol, Atravohra, Atravvse;
Atravkonv=A.l('trav2','konv');
Atravekol=A.l('trav2','ekol');
Atravohra=A.l('trav2','ohra');
Atravvse=Atravkonv+Atravekol+Atravohra;

parameters Astrokonv, Astroekol, Astroohra, Astrovse;
Astrokonv=A.l('stro2','konv');
Astroekol=A.l('stro2','ekol');
Astroohra=A.l('stro2','ohra');
Astrovse=Astrokonv+Astroekol+Astroohra;

parameter kontrolaA;
kontrolaA= Azitavse+Azelevse+Akromvse+Asadjvse+Agrozvse+Azkrmvse+Atravvse+Astrovse;
display kontrolaA;

FILE CRPpovrsine /CRPpovrsine.txt;/
put CRPpovrsine/;

put Azitavse:6:0 /;
put Azitakonv:6:0 /;
put Azitaekol:6:0 /;
put Azitaohra:6:0 /;
put Apsenvse:6:0 /;
put Apsenkonv:6:0 /;
put Apsenekol:6:0 /;
put Apsenohra:6:0 /;
put Akoruvse:6:0 /;
put Akorukonv:6:0 /;
put Akoruekol:6:0 /;
put Akoruohra:6:0 /;
put Azelevse:6:0 /;
put Azelekonv:6:0 /;
put Azeleekol:6:0 /;
put Azeleohra:6:0 /;
put Azelerast:6:0 /;
put Akromvse:6:0 /;
put Akromkonv:6:0 /;
put Akromekol:6:0 /;
put Akromohra:6:0 /;
put Asadjvse:6:0 /;
put Asadjkonv:6:0 /;
put Asadjekol:6:0 /;
put Asadjohra:6:0 /;
put Agrozvse:6:0 /;
put Agrozkonv:6:0 /;
```



```
put Agrozokol:6:0 /;  
put Agrozohra:6:0 /;  
put Azkrmvse:6:0 /;  
put Azkrmkonv:6:0 /;  
put Azkrmekol:6:0 /;  
put Azkrmohra:6:0 /;  
put Atravvse:6:0 /;  
put Atravkonv:6:0 /;  
put Atravekol:6:0 /;  
put Atravohra:6:0 /;  
put Astrovse:6:0 /;  
put Astrokonv:6:0 /;  
put Astroekol:6:0 /;  
put Astroohra:6:0 /;
```