

# EESTI TOIDUAINETEGA ISEVARUSTAMISE VÕIMALUSTE MODELLEERIMINE

Reet Põldaru, Jüri Roots  
Eesti Maaülikool

**ABSTRACT.** Environmental crises, warfare, trade disruptions and the supply shocks in the global food markets are all potential threats to national food security in developed countries. In order to cope with various crisis scenarios sufficient domestic food production capacity is particularly important. Using the mathematical programming model of food supply, we investigate the possibility for improving the food self-sufficiency in Estonia. The objective function of the linear programming model is to minimize the sown area of field crops. The problem can be formulated as follows: produce the necessary amount of agricultural commodities, food and feeding stuffs, given the constraints of calories and proteins consumption per day per capita per food item. The Estonia's food supply and demand system accommodates food commodity flows from various supply regions (farms) to final demand sectors (population of Estonia). The model consists of 161 variables and 176 constraints (equations). By using the mathematical programming model, we obtained the following results for the improvement strategies of food self-sufficiency of Estonia. The total optimal sown area of field crops equals to 337.6 thousand ha. There should be 85.4 thousand dairy cows and 387.2 thousand pigs. Numerical results show that Estonia's self-sufficiency could get to 100% if production of domestic products instead of import holds, given the constraints of calories and proteins consumption per day per capita per food item. MS Excel's Solver was used to solve the model.

**Keywords:** food security, food self-sufficiency, linear programming model, Estonian agriculture.

## Sissejuhatus

Käesoleva aja arenguid globaliseerivas maailmas iseloomustavad järgmised tendentsid:

- maakera elanikkond kasvab lähitulevikus sarnases tempos kui praegu;
- vajadus kvaliteetsete ja kõrgeväärtuslike toiduainete järele kasvab kiiremini kui elanike arv;
- nõudlus kvaliteetsete toiduainete järele kiiresti arenevates Aasia suurriikides – Hiinas ja Indias – kasvab oluliselt;
- kasutada oleva põllumaa (haritava maa) hulk jääb heal juhul muutumatuks, kuid tõenäoliselt väheneb;
- üks haritava maa hektar peab lähitulevikus ära toitma rohkem inimesi kui seni;
- kogu maailmas muutuvad üha aktuaalsemaks toiduainetega kindlustatuse (*food security*), sealhulgas isevarustatuse (*self-sufficiency*) probleemid.

Eesti põllumajandus ei saa jääda nende arengute taustal kõrvaltvaatajaks. Maailma teadusajakirjades on kasutu-

sel erinevad määratlused nii toiduainetega kindlustatuse kui ka nendega isevarustatuse kohta. Ajakirja 'Food Security' peatoimetaja Per Pinstrup-Andersen (Pinstrup-Andersen, 2009) juhib tähelepanu nende terminite erinevale kasutusele. Toiduga kindlustatuse probleeme on rohkem hakatud käsitlema pärast hiljutist majanduslangust ja toiduainete hindade tõusu maailmaturul (Naylor, 2011; Fullbrook, 2011; Pinstrup-Andersen, 2009). Eriti intensiivselt käsitletakse toiduga kindlustatuse ja isevarustatuse probleeme Hiinas (Simelton, 2011) ja Põhja-Aafrika riikides (Magnan *et al.*, 2011). Toiduainetega kindlustatust ajaloolises plaanis on käsitlenud Davis *et al.* (2001).

Kolm enamlevinud definitsiooni toiduainetega kindlustatuse kohta on pärit FAO-lt (FAO, 1996), USA Põllumajandusministeeriumilt (USDA, 2008) ja Maailmapangalt (Reutlinger *et al.*, 1986). Enamik toiduainetega kindlustatuse definitsioone on seotud arengumaa-des valitseva olukorraga. FAO andmetel on maailmas üle 850 miljoni alatoidetud inimese, kelle jaoks toiduga kindlustatus on väga aktuaalne.

Arenenud maades on olukord hoopis teine. Neis maades on toitu küllaldaselt ning valdav osa elanikkonnast võib endale lubada sellist toitu, mis neile meeldib. Selle tulemus on ülekaaluliste suur hulk ühiskonnas. FAO andmetel ületas 2006. aastal ülekaaluliste arv maailmas alatoidetute arvu. Arenenud maades on toiduga kindlustatuse probleemid seotud kriisiolukordadega (sõjaolukord, majanduskriisid, ökoloogilised kriisid – katastroofid aatomielektrijaamades, põllumajandusloomade haiguspuhangud jne).

Käesolevas artiklis mõistetakse toiduainetega kindlustatuse all olukorda, mida iseloomustab toiduainete olemasolu ja selle kättesaadavus igapäevase pikema perioodi kestel.

Toiduainetega kindlustatusega on tihedalt seotud toiduainetega isevarustatus. Isevarustatuse all mõistetakse olukorda, kus ei vajata ellujäämiseks väljaspoolset abi, toetust või muud vahelesegamist, st tegemist on nii personaalse kui kollektiivse autonoomiaga.

Kriisiaegadel toiduga kindlustatusega toimetulekuks töötatakse välja erinevad strateegiad, mille põhilised komponendid on:

- väliskaubanduspoliitika;
- elanikkonna toitumisharjumuste kujundamine;
- toiduainete varude ning põllumajanduslikus tootmiseks vajalike sisendite varude loomine;
- kodumaise põllumajandusliku tootmise ümberkorraldamine.

Oluline komponent nii toiduainetega kindlustatuse kui ka toiduga isevarustamisel on põllumajanduslik tootmine. Ratsionaalse põllumajandusliku tootmise korraldamisel on küllaltki laialdaselt kasutatud lineaarse planeerimise mudeleid. Ola Flateni koostatud mudeli

(Flaten, 2001) abil selgitati välja, kuidas Norras potentsiaalse kriisilukorra tekkimisel toiduainetega isevarustatuse taset oluliselt suurendada. Kui rahuajal (ühiskonna normaalse toimimise ajal) oli seal toiduainetega isevarustatuse tase 50%, siis väliskaubanduse mahu vähendamise ja kala (lõhe) tarbimise suurendamisel 80 kg-ni elaniku kohta aastas, osutus võimalikuks suurendada toiduainetega isevarustatuse tase ligikaudu 100%-liseks.

Yoshii ja Oyama (2011) avaldasid uurimistulemused Jaapanis toiduainete isevarustatuse taseme suurendamise võimalustest, kuna see oli viimastel aastatel pidevalt vähenenud. Kui 1965. aastal oli isevarustatuse tase 73%, siis aastatel 2002–2004 oli see üksnes 40%. Modelleerimise tulemusena suudeti viia see näitaja 50%-ni, kusjuures riisil oli isevarustatuse tase 100% ning ülejäänud toodetel kokku 48%.

Hollandis läbi viidud uurimuse (Acs *et al.*, 2007) eesmärk oli suurendada mahepõllumajandustoodete osakaalu kogu põllumajanduslikus toodangus, mille modelleerimiseks kasutati dünaamilise lineaarse planeerimise mudelit. Lineaarse planeerimise mudeleid on Hollandis kasutatud ka erinevate toiduohutuse kontrollimeetmete kasutamise optimeerimisel (Valeeva *et al.*, 2007).

Saksa teadlased (Fritzch *et al.*, 2011) on kasutanud lineaarse planeerimise mudeleid kolme riigi (Poola, Rumeenia ja Bulgaaria) elatustalude toodangu maksimeerimiseks, eeldades, et toiduainetega kindlustatus ja isevarustatus ei halveneks.

Käesoleva artikli eesmärk on tutvustada lineaarse planeerimise mudelit põhiliste toiduainete optimaalseks tootmiseks Eestis, mis kindlustaks 100% isevarustatuse taseme, ning analüüsida sellele vastavat tootmisstruktuuri (kasvupinnad, loomade arvud jne), tarbitavate toiduainete struktuuri kalorite ja valgusisalduse lõikes. Lineaarse planeerimise mudeli optimeerimiskriteerium on kõikide kultuuride (toiduainete – teraviljatoodete, toidukartuli ja omatoodetud loomasöötade) kasvupinna minimeerimine.

### Mudeli kirjeldus

Toiduga isevarustatuse mudel on lineaarse planeerimise mudel, mis oma olemuselt on staatiline tasakaalumudel, milles samal ajal optimeeritakse ressursside loomist (optimaalne tootmine) ja toodetud ressursside optimaalset kasutamist (tarbimist).

Lineaarse planeerimise mudel on esitatav järgmise süsteemina:

$$\begin{aligned} Ax &\leq b \\ F &= \sum cx \rightarrow \min \\ x &\geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

kus  $A$  on tehnilis-majanduslike koefitsientide maatriks;  $x$  – muutujate vektor;  $b$  – vabaliikme vektor;  $F$  – sihi-funktsioon;  $c$  – sihi-funktsiooni kordajate vektor (Hazell, Norton, 1986).

Toiduainetega isevarustatuse mudeliga modelleeritakse põhiliste toiduainete (veise-, sea-, broileriliha, kanamunade, joogipiima, juustu, või, teraviljatoodete ning kartuli) tootmine ja tarbimine. Mudelis eeldatakse, et nende toiduainete tootmine ja tarbimine on tasakaalus, st kõik Eestis toodetud looma- ja taimekasvatussaadused tarbitakse Eestis ja ülejäägid eksporditakse.

Mudel on koostatud MS Exceli keskkonnas ning lahendamiseks on kasutatud MS Exceli lisandmoodulit Solver.

Tasakaalumudeli tarbimise (nõudluse) lähtealus on Eesti elanikkond, mis on jaotatud kümnesse soo- ja vanuserühma (tabel 1), arvestades vastavate vanuserühmade energia- (kcal) ja valguvajadust (g) ööpäevas.

**Tabel 1.** Eesti elanike arv erinevates soo- ja vanuserühmades 2009. aastal (ESA, 2009)

**Table 1.** Population in Estonia by sex and age in 2009

Soo ja vanuserühmad / Sex and age groups	Elanike arv (tuhandetes)/ Population (thousands)
Tüdrukud kuni 4 a. vanuses / Girls until to 4 years	34.7
Poisid kuni 4 a. vanuses / Boys until to 4 years	36.9
Tüdrukud 5 kuni 9 a. vanuses / Girls 5–9 years	30.1
Poisid 5 kuni 9 a. vanuses / Boys 5–9 years	32.0
Tüdrukud 10 kuni 14 a. vanuses / Girls 10–14 years	31.6
Poisid 10 kuni 14 a. vanuses / Boys 10–14 years	33.4
Tüdrukud 15 kuni 19 a. vanuses / Girls 15–19 years	47.4
Poisid 15 kuni 19 a. vanuses / Boys 15–19 years	49.9
Naised vanema kui 19 aastat / Females older than 19 years	579.6
Mehed vanemad kui 19 aastat / Males older than 19 years	465.3
Kokku / Total	1340.9

Lisaks elanike arvule iseloomustab tarbimist põhiliste toiduainete tarbimise struktuur ja tarbimisharjumused. Mudelis on ette antud erinevate toiduainete miinimumkogused (tabel 2), mis võimaldavad juhtida lahenduskaiku, et tagada Eestis väljakujunenud elanike tarbimisharjumustele vastav toiduainete tarbimise struktuur.

Toiduga isevarustatuse mudelis on 161 muutujat, mis jagunevad 7 rühma:

- elanike arv soo- ja vanuserühmade lõikes (tuh) – 11 muutujat;
- toiduainete kogutarbimine ja -toodang (tonnides) – 23 muutujat;
- loomade arv (peades) – 11 muutujat;
- kultuuride kasvupinnad (tuh ha) – 15 muutujat;
- söötade tootmine loomaliikide lõikes (tuh ha) – 65 muutujat;
- kulude muutujad (tuh eurodes) – 33 muutujat;
- abimuutujad – 3 muutujat.

Nimetatud muutujate rühmadest on kõige mahukam söötade tootmise rühm (10 loomaliiki). Iga loomaliigi söötamiseks on ette nähtud küllaltki erinev valik söötasid. Nii on lehmade, tiinete mullikate ja nuumveiste söötamiseks välja pakutud 12 erinevat sööta (kaer, oder, põldhein, kuivsilu, põhk, põldhein haljassöödana, kultuurkarjamaa, üheaastane hein, kartul, söödapeet, märgsilu, sojasrott/rapnikook). Kõikide loomaliikide söödad on põhiliste söödaparametrite (energia ja proteiin) osas tasakaalus. Söödatootmise plokk koosneb 65 erinevast muutujast (söödast) erinevate loomaliikide söötamiseks. Kõikide loomaliikide söötamiseks on põhiliselt kasutatud omatootetud (Eestimaal toodetud) söötasid. Mudeli esimeses variandis olid kõik söödad Eestimaal toodetud. Analüüs näitas, et sellisel juhul on tegemist söötade olulise ülekuluga, sest söötade kasutamisel osutus piiravaks seeduv proteiin. Teiste sõnadega, juhul kui proteiinivajadus on omatootetud söötadega rahuldatud, siis energiat jääb üle. Seetõttu mudeli hilisemates variantides on lisaks omatootetud söötadele kasutatud importitud proteiinirikast sojasrotti või rapnikooki.

Toiduga isevarustatuse mudelis on 176 kitsendust, mis on jaotatud 6 rühma:

- rahvastiku toidunõudluse kitsendused – 11;
- toiduainete tootmise kitsendused – 17;
- loomade arv ja loomakasvatuse struktuuri kujundavad kitsendused – 13;
- söötade tootmise kitsendused – 105;
- eksporttoodete kitsendused – 8;
- kulude kitsendused – 22.

Mudelis on tegemist kolme erineva tasakaalusituatsiooniga. Esimeses tasakaalusituatsioonis kindlustatakse kõigi üheksa peamise toiduaine tarbimise ja tootmise tasakaal, st kõikide toiduainete tootmiseks määratakse kindlaks vajalik loomade arv ning toiduteravilja ja -kartuli kasvupind. Tarbimise mahtudest tulenev tapaloomade (nuummullikad, -sead, broilerid), piimaloomade ja munevate kanade arv kindlustab tasakaalu mudeli tootmise ehk pakkumise poolel.

Toiduainete tootmise poole lähteandmed on ühelt tapaloomalt saadav lihakogus, loomade produktiivsus (piimatoodang lehma kohta, munade toodang ühe kana kohta) ja taimekasvatussaaduste (toiduteravilja – rukis ja nisu – ning kartuli) saagikus.

Teises tasakaalusituatsioonis on tapetud ja toodangut andvate loomade (lehmad, kanad) arv nõudluse ehk tarbimise poolel ning see on omakorda tasakaalus vastavate loomaliikide taastootmise ahela poolt toodetud loomade arvuga (pakkumine). Seega on produktiivloomade arv esimeses tasakaalusituatsioonis tootev ja taastootmise ahela suhtes tarbiv pool.

Kolmandas tasakaalusituatsioonis on tasakaalus loomade söödavajadus kõikide loomaliikide lõikes ja söötade tootmine. See on mudeli keerulisem osa.

Piimatoodete modelleerimisel jaotatakse piim kolmeks põhikomponendiks: toorpiim, piimavalk ja -rasv. Toodetud toorpiim (piima kogutoodang) jaotatakse joogipiimaks, ümbertöödeldavaks piimaks ning vasikatele ja põrsastele söödaks kuluvaks piimaks. Põhiliste toodete (juust, või, lõssipulber ja täispiimapulber) modelleerimise (tootmise, tarbimise ja ekspordi) alus on ümbertöödeldavast piimast saadav piimavalk ja -rasv. Taolist lähenemist on kasutatud ka Eesti piimandussektori makromajandusliku mudeli koostamisel (Põldaru *et al.*, 2006). Selline käsitlus lähendab oluliselt piimatoodete tootmise ja tarbimise modelleerimist tegelikkusele.

### Tulemused ja arutelu

Mudeli optimaalsest lahendist järeldub, et eestlased on võimalik hästi ära toita (tabel 2). Päevane planeeritav energiakogus ühe inimese kohta on 2,167 kcal, mis on vastavuses toiduainete tarbimishormidega ning millele lisandub veel suhkrut, kalatoodete, toiduõlide ja puuviljade tarbimine. Valgu planeeritav tarbimise tase on 86.2 grammi ühe inimese kohta ööpäevas.

Toiduainete tarbimise analüüs näitab, et enamiku põhitoiduainete vajadus täidetakse etteantud miinimumtasemel. Joogipiima ja või planeeritav tarbimine ühe inimese kohta ületab etteantud tarbimise miinimumtaseme.

Tarbimise struktuuri analüüs tarbitud kalorite järgi näitab, et kõigi elanike normaalseks toitumiseks on vaja toota  $1,06 \times 10^{12}$  kilokalorit. Kõige enam energiat (49.8%) saadakse teraviljatoodetest, teisel kohal on joogipiim (11.5%) ning kolmandal kohal või (9.9%). Suurim valkude allikas on samuti teravili (38.1%), teisel kohal jällegi joogipiim (15.0%) ning kolmandal kohal sealiha (10.8%).

Planeeritavate toiduainete tootmiseks vajalike kasvupindade analüüsist selgub, et eestimaalaste toitumiseks on vaja harida 337,618 hektarit maad (põldu) (tabel 2). Kõige rohkem maad kulub sealiha tootmiseks vajaliku sööda (peamiselt teravili) tootmiseks – 79.3 tuhat hektarit ehk 23.5% kogu kultuuride kasvupinnast. Toiduteravilja tootmiseks kulub 16.3% kultuuride kasvupinnast ja joogipiima tootmiseks kulub 12.3% kasvupinnast.

Analüüsides ühelt hektarilt toodetud energia (kalorite) kogust, selgub, et kõige rohkem energiat saadakse ühelt kartulipõllu hektarilt – 11.6 tuhat kcal ja kõige vähem saadakse kasvupinna hektarilt, mis toodab sealiha – ainult 0.88 tuhat kcal. Seejuures sealiha tarbimise korral saadakse ühelt hektarilt 13.1 korda vähem energiat kui kartuli tarbimise korral. Teisel kohal energiatootmise seisukohalt on teravilja hektar – 9.6 tuhat kcal.

**Tabel 2.** Planeeritav toiduainete tarbimine aastas**Table 2.** Planned consumption of foodstuffs per year

Toiduaine / Foodstuff	Kokku / Total	Ühe inimese kohta / Per capita	Etteantud miinimum / Specified minimum	Kalorid kokku / Calories million kcal / million kcal	Kalorite osakaal / Percentage of calories	Valgud kokku / Protein thousand kg / thousand	Valgu osakaal / Percentage of protein	Pindala / Area	Pindala osakaal / Percentage of area
	t	kg	kg	kcal	%	kg	%	ha	%
Veiseliha / Beef	10727	8.0	8.0	19846	1.9	2145	5.1	15583	4.6
Sealiha / Pork	26819	20.0	20.0	69997	6.6	4559	10.8	79333	23.5
Linnuliha / Poultry meat	22796	17.0	17.0	31914	3.0	2804	6.6	21127	6.3
Munad (tuhat muna) / Eggs (thousand pcs)	328529	245.0	245.0	40081	3.8	3680	8.7	28560	8.5
Joogipiim jne / Milk	191387	142.7	130.0	122487	11.5	6316	15.0	41363	12.3
Juust / Cheese	12739	9.5	9.5	42293	4.0	3567	8.5	20266	6.0
Või / Butter	14397	10.7	5.5	105244	9.9	432	1.0	35437	10.5
Toiduteraviljatooted / Cereal products	160912	120.0	120.0	527792	49.8	16091	38.1	55151	16.3
Toidukartul / Potatoes	174322	130.0	130.0	101106	9.5	2615	6.2	8716	2.6
Kokku / Total	x	x	x	1060760	100.0	42209	100.0	337618	100.0
Ühe inimese kohta aastas (tuhat kcal, kg) / Per capita (thousand kcal, kg)	x	x	x	791	x	31	x	x	x

Analoogiline analüüs valgutootmise seisukohalt näitab, et kõige rohkem valku saadakse samuti kartuli-põllu hektarilt – 300.0 kg. Teisel kohal on teraviljatoodete tootmiseks kasutatud kasvupinna hektar, millelt saadakse 291.9 kg valku ja kolmandal kohal juustu tootmiseks kasutatud kasvupinna hektar. Sellelt saadakse 176.0 kg valku.

Kultuuride planeeritav kasvupind on 337,618 hektarit, millest teravilja kasvupind moodustab 61.2% (tabel 3). Kultuuride tegelik kasvupind Eestis oli 2011. aastal 585.5 tuhat ha, millest teravilja kasvatati 297.2 tuhat ha. See moodustas kogu kasvupinnast 50.8% (ESA, 2012a). Seega, planeeritavad ja tegelikud teravilja kasvupinna osakaalud erinevad oluliselt. Samal ajal planeeritav teravilja kasvupind – 206.7 tuhat ha ja tegelik kasvupind – 297.2 tuhat ha erinevad samuti oluliselt. Kasvupindade planeeritava ja tegeliku osakaalu erinevuse tingib asjaolu, et tegeliku kasvupinna struktuuris moodustab olulise osa tehniliste kultuuride (rapsi) kasvupind, mida arvestab riiklik statistika, tabelis 3 aga rapsi kasvupind ei kajastu. Seega, tabelis 3 esitatud struktuurinäitajad ja riikliku statistika näitajad ei ole omavahel võrreldavad. Samuti kajastab tegelik kasvupind teraviljade ja rapsi seda osa, mis eksporditakse Eestist väljapoole. Modelleerimise tulemusena planeeritakse toiduteravilja kasvupinnaks 55,151 ha, mis moodustab kogu kasvupinnast 16.3% ja teravilja kasvupinnast 26.7%. Taliviljade (rukki ja nisu) tegelik kasvupind 2011. aastal oli 71,000 ha, mis moodustab teraviljade kasvupinnast 23.9% (ESA, 2012a). Seega, erinevused planeeritavate teravilja kasvupindade ja vastavate tegelike näitajate vahel ei ole suured.

**Tabel 3.** Planeeritavad kultuuride kasvupinnad ja struktuur**Table 3.** Planned area and structure of field crops

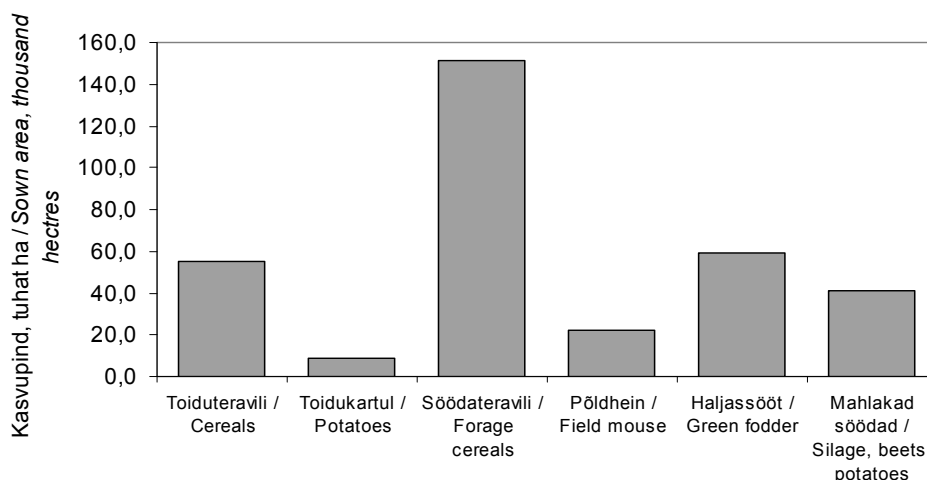
Kultuur / FieldCrop	Pindala, ha / Area, hectares	Osakaal, % / Percentage, %
Teravili / Cereals	206702	61.2
sh toiduks / including for eats	55151	16.3
Söödakultuurid / Forage crops	122200	36.2
põldhein (hein, kuivsilu) / multiannual forage crops	21927	6.5
haljassööt / green fodder	59372	17.6
karjamaa / pasture	51620	15.3
üheaastane hein / annual forage crops	7751,9	2.3
mahlakad söödad / succulent feed	40901	12.1
sh silokultuurid / silage crops	19886	5.9
kartul / potatoes	14188	4.2
söödapeet / beets	6828	2.0
Toidukartul / Potatoes for eats	8716	2.6
Kokku / Total	337618	100.0

Huvitav on märkida, et planeeritav toidukartuli kasvupind (tabel 3) ja 2011. aasta kartuli tegelik kasvupind erinevad suhteliselt vähe: planeeritav kasvupind – 8.7 tuhat hektarit ja tegelik 9.3 tuhat hektarit (ESA, 2012a). Sellisel juhul on kartuli saagikuseks planeeritud (20,000 kg/ha) ja ühe elaniku kohta tarbitavaks kartuli koguseks 130 kg aastas.

Kasvupindade planeeritav jaotus erinevate kõlvikute lõikes on esitatud joonisel 1. Suurim on söödateravilja kasvupind (151.6 tuhat ha), millele järgneb haljassööt (59.4 tuhat ha), edasi toiduteravilja (55.2 tuhat ha), mahlakate söötade (40.9 tuhat ha), põldheina (21.9 tuhat ha) ja toidukartuli kasvupind (8.7 tuhat ha). Söödateravilja suur kasvupind on tingitud asjaolust, et see moo-

dustab olulise osa sigade, broilerkanade, munakanade ja tibude söödaratsioonist. Toiduteravilja ja -kartuli kasvupinna määravad ära vastavate kultuuride saagikused ja ette antud tarbimine ühe elaniku kohta. Põldheina, hal-

jassööda ja mahlakate söötade kasvupindadelt saadud toodang on põhiliselt ette nähtud veiste (lehmade, tiinete mullikate, nuummullikate ja vasikate) söötade tootmiseks.



**Joonis 1.** Planeeritav kasvupindade jaotus erinevate kõlvikute lõikes  
**Figure 1.** Planned sowing areas for different field crops

Planeeritavast loomade arvust loomaliigiti, kultuuride kasvupindadest söötade tootmiseks ning energia ja proteiini kogustest annab ülevaate tabel 4.

Veisekasvatust iseloomustavate näitajate kujunemisel on alus piima kogutoodang. Piima kogutoodangu mahu määravad kindlaks piimatoodete tootmiseks vajaliku ning põllumajanduse sisetarbeks kuluva piima kogus. Piima kogutoodang on tasakaalus nii nõudluse (tarbimise) kui ka tootmise (pakkumise) seisukohalt. Lähtudes etteantud produktiivsusest (antud juhul 7,000 kg lehma kohta) ja vajalikust piima kogutoodangust, kujuneb lehmade arv ja teised lehmade taastootmist iseloomustavad näitajad. Ülejäänud veisekasvatust iseloomustavad näitajad on otseses sõltuvuses lehmade arvust ja kujutavad endast lehmade taastootmise ahelat (moodustavad lehmade arvu tasakaalu pakkumise poole).

Lehmadega seotud näitajate analüüs näitab, et vajaliku koguse piima saamiseks (piimatoodete tootmiseks ning vasikatele jootmiseks ja põrsastele söötmiseks) piisab 85.4 tuhandest lehmas. Sellise lehmade arvu juures on planeeritav piimatoodete tarbimine ja tootmine tasakaalus. Toorpiima planeeritav kogutoodang on 597.6 tuhat tonni. Analüüs näitab, et 579.1 tuhat tonni piima läheb ümbertöötlemisele piimatoodete saamiseks ja ülejäänud piim läheb söödaks vasikatele ja põrsastele. Riikliku statistika andmetel oli Eestis 2011. aastal 97.4 tuhat lehma ning toodeti 694.2 tuhat tonni piima, keskmine piimatoodang oli 7136 kg lehma kohta (ESA, 2012b).

Planeeritava 85.4 tuhande lehma söötmiseks tuleb üles harida 109.7 tuhat hektarit maad, mis moodustab söödakultuuride kasvupinnast (273.8 tuhat hektarit) 40.1%. Sellelt kasvupinnalt planeeritavate söötade koguenergia on  $4,157 \times 10^6$  MJ, seega ühe lehma kohta saadakse aastas 48.7 tuhat MJ energiat. Planeeritav energiakogus vastab normatiivsele energiavajadusele. Siit järeldub, et olemasolevate söötadega söötes on energia- ja proteiinivajaduse normatiivid täidetud ning söötade ülekulu ei esine.

Nuumveiste arvu määrab kindlaks veiselihha tarbimine, mis moodustub kahest osast: väljaprakeeritud lehmade lihast (selle koguse alus on lehmade arv, millest üks neljandik prakeeritakse) ja nuummullikatelt saadud lihast. Nuummullikad on kirjeldatud kolme erineva nuummullikate arvu abil. Esiteks, potentsiaalne nuummullikate arv, mis sõltub eelmisel aastal saadud vasikate arvust (teatud kaoprotsendiga) ning mullikate arvust. Teiseks, tegelik nuumveiste arv, keda nuumatakse (söödetakse) ja kelle jaoks toodetakse sööta (tabel 4). Kolmandaks, nn kasutamata mullikate arv, mis kujutab endast kahe eespool toodud näitaja vahet. Viimane muutuja on vajalik selleks, et juhtida veiselihha tootmist. Kui kõik potentsiaalsed mullikad nuumata veiselihha saamiseks, siis veiselihha tootmine ei sõltu nõudlusest, vaid lehmade arvust. See muutuja võimaldab modelleerida erinevatele tarbimisharjumustele vastavat lihatootmist. Analüüsitud lahendivariandi korral jäi kasutamata 27.2 tuhat mullikat (nende jaoks söötade tootmist ei ole planeeritud).

**Tabel 4.** Planeeritav loomade arv ja söötade tootmine  
**Table 4.** Planned livestock and poultry and planned fodder production

Looma liik	Arv / Number	Pindala / Area	Osakaal / Percentage	Energia / Energy	Osakaal / Percentage	Proteiin / Protein	Osakaal / Percentage	Energia looma kohta / Energy per animal	Proteiin looma kohta / Protein per animal	Energia ülekulu / Surplus spending of energy
		ha	%	10 <sup>6</sup> MJ	%	kg	%	tuh MJ / thousand MJ	G/	
Lehmad / Dairy cows	85367	109665	40.1	4157	38.5	44391	43.4	48.7	520	1.0
Tiined mullikad / In-calf heifers	21342	14331	5.2	751	7.0	8195	8.0	35.2	384	1.1
Nuumveised / Feeders	26960	10 434	3.8	755	7.0	6921	6.8	28.0	257	1.0
Vasikad / Calves	80885	10300	3.8	351	3.3	2750	2.7	4.3	34	1.4
Nuumsead / Porkers	387175	55997	20.5	2168	20.1	18197	17.8	5.6	47	1.4
Emised / Sows	21949	19478	7.1	768	7.1	7441	7.3	35.0	339	1.5
Pörsad / Piglets	395077	3858	1.4	139	1.3	1027	1.0	0.4	3	1.4
Broilerid / Broilers	18997	17076	6.2	582	5.4	4559	4.5	30.6	240	1.9
Munakanad / Laying hens	1335	24509	9.0	836	7.7	6544	6.4	625.6	4900	1.8
Tibud / Breeding hens	401	8103	3.0	276	2.6	2163	2.1	689.5	5400	1.7
Kokku / Total	x	273751	100.0	10784	100.0	102188	100.0	x	x	x

Seakasvatust iseloomustavate näitajate kujunemisel on primaarne sealiha kogutoodang. See kujuneb kahest osast: nuumsigadelt ja väljapraagitud emistest saadud lihast. Sealiha kogutoodangu alusel määratakse vastavate normatiivide (ühelt nuumikult saadav sealiha kogus – 67 kg, ühe emise kohta saadakse aastas keskmiselt 40 kg liha) abil kindlaks aasta jooksul tapetavate nuumsigade arv. Nuumsigade arvu alusel määratakse kindlaks vajalik pörsaste arv ning pörsaste arvu alusel vajalik emiste arv.

Vajaliku sealiha koguse tootmiseks tuleb üles kasvatada 387.2 tuhat nuumikut. See nuumikute arv ületab käesoleval ajal Eestis üles kasvatatavate nuumikute arvu. Riikliku statistika andmetel tapeti Eestis 2011. aastal 356.9 tuhat nuumikut (ESA; 2012c). Seega, planeeritav nuumikute arv ületab 2011. aasta taset 1.08 korda. Planeeritavate nuumsigade söötamiseks nähakse ette söötade kasvupinnaks 56.0 tuhat ha, mis moodustab söötade kogupinnast 20.5%. Lisaks planeeritud kasvupinnalt saadud söötadele söödetakse nuumsigadele veel proteiinirikast sojasrotti.

Analüüs näitab, et Eestis toodetavad söödad on eespool välja pakutud tarbimisharjumuste jaoks suhteliselt proteiinivaesed. Söötade ratsionaalsema kasutamise

huvides on otstarbekas mudelis välja pakutud söötade valikut mitmekesistada, st eelkõige suurendada proteiinirikaste söötade – sojasroti või rapsikoogi – osakaalu. Analüüsime, kuidas mõjub söötade tootmisele (kasvupinna struktuurile) sojakoogi koguse suurendamine. Tabelis 5 on toodud planeeritavad taimekasvatuse kasvupinnad ja struktuur (100% kokku annavad kaldkirjas kultuuride protsendid). Sojasroti koguse suurendamisel kultuuride kasvupind väheneb ja selle struktuur muutub. Kui esimeses variandis (sojasroti kogus – 12,000 tonni) on kogu kasvupind 337.6 tuhat ha, siis viimases variandis (sojasroti kogus – 85,000 tonni), on kasvupind 253.4 tuhat ha, st kogu kasvupind väheneb 1.33 korda. Seega, elanikkonna toitmiseks on vaja harida tunduvalt vähem maad ning vabanenud maad on võimalik kasutada muuks otstarbeks.

Tabelis 5 esitatud kultuuride kasvupindasid tuleb vaadelda kui arvutuslikke minimaalseid kasvupindu, mis võimaldavad Eesti elanikke ära toita, kui söödaraatsioonidesse lisada vastav kogus sojasrotti. Tegelikult elus erinevad kasvupinnad tabelis toodust, kuna osa toiduainete toodangust eksporditakse, osa imporditakse ning põllumajanduslik tootmine ei toimu 100% optimaalsel režiimil.

**Tabel 5.** Planeeritavad taimekasvatuse kasvupinnad ja struktuur erinevate sojasroti koguste korral  
**Table 5.** Planned field crops areas and structure for different use of soy meal

Sojasroti kogus, t / Soy meal t	12000		15000		20000		45000		85000	
	Kasvu- pind / Area	Osa-kaal / Perce- ntage	Kasvu- pind / Area	Osa-kaal / Perce- ntage	Kasvu- pind / Area	Osa- kaal / Perce- n-tage	Kasvu- pind / Area	Osa-kaal / Perce- ntage	Kasvu- pind / Area	Osa- kaal / Perce- ntage
Mõõtühik / Unit	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Teravili / Cereals	206702	61.2	205707		200899	61.8	164289	56.9	139851	55.2
sh toiduks / including for eats	55151	16.3	55151	16.6	55151	17.0	55151	19.1	55151	21.8
Söödakultuurid / Forage crops	122200	36.2	118185	35.5	115581	35.5	115581	40.1	104825	41.4
Teravili / Cereals	21927	6.5	21927	6.6	21927	6.7	21927	7.6	19132	7.6
haljassööt / green fodder	59372	17.6	59372	17.9	59372	18.3	59372	20.6	56464	22.3
karjamaa / pasture	51620	15.3	51620	15.5	51620	15.9	50152	17.4	41711	16.5
üheaastane hein / annual forage crops	7752	2.3	7752	2.3	7752	2.4	7752	2.7	12268	4.8
mahlakad söödad/ succulent feed	40901	12.1	36886	11.1	34282	10.5	34282	11.9	29229	11.5
sh silokultuurid / silage crops	19886	5.9	19886	6.0	19886	6.1	19886	6.9	0	0.0
kartul, söödapeet / potatoes, beets	21016	4.2	17000	5.1	14396	4.4	14396	5.0	29229	11.5
Toidukartul / Potatoes for eats	8716	2.6	8716	2.6	8716	2.7	8716	3.0	8716	3.4
Kokku / Total	337618	100	332608	100	325196	100	288586	100	253391	100

Eespool oli märgitud, et arenenud riikides on toiduainetega isevarustamise küsimused aktuaalsed kriisiolukordades. Tabelis 5 toodud kasvupinnad tõsise kriisi olukorras (sõjaolukord, kui import-eksport on oluliselt häiritud jne) ei ole kasutatavad, sest nendelt kasvupindadelt toodetud toidukogused eeldavad küllaltki kõrgeid saake (saagikusi), mis põhinevad küllaltki suurte väetisekoguste kasutamisel. Ekspordi-impordi häirituse korral ei pruugi need väetised kättesaadavad olla ja tuleb leppida madalamate kultuuride saagikustega. Sellisel juhul elanikkonna toitumiseks vajalikud kasvupinnad on hoopiski suuremad. Võimalik, et kriisolukorras tuleb leppida ka toidusedeli muutmisega, vähendades kõrgekaliteediliste liha ja piimatoodete osakaalu ning suurendades teraviljatoodete ja kartuli osakaalu.

### Kokkuvõte

Viimasel ajal on globaliseerivas maailmas pööratud üha enam tähelepanu toiduainetega kindlustatuse ja toiduainete isevarustatuse probleemidele, mis on eriti intensiivistunud pärast viimast majanduskriisi. Lineaarse planeerimise mudelite kasutamine võimaldab toiduainetega isevarustatuse probleeme edukalt lahendada. Käesolevas artiklis antakse ülevaade lineaarse planeerimise mudeli koostamisest põhiliste toiduainete optimaalseks tootmiseks Eestis, mis kindlustaks 100% isevarustatuse taseme. Lineaarse planeerimise ülesande sihifunktsioon on toiduainete tootmiseks vajaliku kasvupinna minimeerimine. Lineaarse planeerimise mudeli lähteandmeteks on:

- Eestimaa elanike arv soo ja vanuserühmade lõikes, ning nende vanuserühmade toiduainete kalori- ja valgusvajadus;

- toitumisharjumisi iseloomustavad näitajad (lihatoodete, piimatoodete, teravilja ja kartuli aastas tarbitavad miinimumkogused – kokku 9 erinevat toiduainet);
- põhitoiduainete (9 erinevat toiduainet) energiasisaldus (kcal) ja valgusisaldus (grammi);
- taimekasvatuse (12 erinevat kultuuri) saagikused (kg/ha), igalt hektarilt saadav energia (MJ) ja proteiini (kg) kogus,
- loomade produktiivsust iseloomustavad näitajad (piimatoodang lehma kohta, nuumveiste ja sigade tapakaal, broileritelt saadav lihatoodang ning munatoodang kana kohta aastas);
- loomade taastootmist iseloomustavad näitajad (aastas prakeeritud lehmade osakaal, ühe lehma kohta saadavate vasikate arv, ühelt emiselt saadavate põrsaste arv aastas);
- erinevate loomaliikide (veised, sead, linnud – kokku 10 loomaliiki) energia- (MJ) ja proteiinivajadus (kg) aastas;
- erinevate loomaliikide (10 loomaliiki) söötmiseks välja pakutavate söötade ühelt hektarilt saadava toodangu (sööda) energia- (MJ) ja proteiinisaldus (kg). Lehmadele on välja pakkuda 12 erinevat sööta, broileritele ja munakanadele 3 erinevat sööta.

Mudelit on lahendatud erinevates variantides (erineva rahvastikustruktuuri, erineva toitumisharjumuste, erinevate kultuuride saagikuste, erineva lehmade piimatoodangu, erineva mudeli kasutusulatus jne korral). Käesolevas artiklis on analüüsitud üht konkreetset lahendusvarianti. Elanike vanuseline struktuur vastab 2009. a andmetele, Eesti elanikkonna ajalooliselt kujunenud tarbimisharjumustele vastavad toiduainete miinimumkogused, kaasaja tasemele vastavad suhteliselt kõrgeid

saagikuse näitajad (teravili – 3,000 kg/ha, kartul – 20,000 kg/ha, piimatoodang – 7,000 kg lehma kohta).

Lahendusvariandi analüüsimisel on lähtutud eeldusest, et tegemist on konkreetse olukorraga, mida iseloomustab sihifunktsiooni väärtus, ning sellele vastavad tundmatute väärtused. Analüüsitava lahendusvariandi korral on sihifunktsiooni väärtus 337.6 tuhat ha põllumaad, millelt saadav toodang ja söödad kindlustavad kogu elanikkonna toitmise soovitud koguses ja nomenklatuuris.

Lahendustulemustest järeldub, et lahendamiseks ette antud kitsenduste korral saavad eestimaalased väga hästi toidetud. Planeeritav päevane energiatarbimine – 2167 kcal inimese kohta – on vastavuses toiduainete tarbimismuutudega ning valgu tarbimine – 86.2 grammi inimese kohta ööpäevas – ületab vastavaid tarbimismuutusi.

Toiduainete ja söötade tootmiseks vajalikust kasvupinnast (337.6 tuhat ha) kõige suurema osa moodustab teraviljade kasvupind – 206.7 tuhat ha (osakaal kogu kasvupinnast 61.2%), seejärel söötade tootmiseks (välja arvatud söödateravili) minev kasvupind – 122.2 tuhat ha (36.2% kasvupinnast). Otseselt taimse päritoluga toiduainete (toiduteravili ja kartul) kasvupind on 63.9 tuhat ha, mis moodustab kogu planeeritavast kasvupinnast 18.9%.

Vajaliku koguse piima saamiseks (piimatoodete tootmiseks ning vasikatele jootmiseks ja põrsastele söötmiseks) piisab 85.4 tuhandest lehmast. Selle lehmade arvu korral on planeeritav piimatoodete tarbimine ja tootmine tasakaalus.

Koostatud mudel võimaldab suhteliselt väikeste muudatuste (etteantud toiduainete miinimumkogused, saagikused taimekasvatustes) abil leida konkreetsetele oludele vastava toiduainetega isevarustatuse režiimi.

### Kirjandus

- Acs, S., Berentsen, P. B. M., Huirne, R. B. M. 2007. Conversion to organic arable farming in the Netherlands: A dynamic linear programming analysis. – *Agricultural Systems*, 94, p. 405–415.
- ESA. 2009. Rahvastik, 1. jaanuar – Sugu, Aasta ning Vanuserühm, <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>. (12.01.2012).
- ESA. 2012a. Põllukultuuride kasvupind – Põllukultuur ning Aasta, <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>. (12.01.2012).
- ESA. 2012b. Piima- ja munatoodang – Aasta, Näitaja, Maakond ning Kvartal, <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>. (12.01.2012).
- ESA. 2012c. Sigade kokkuost – Aasta, Kuu ning Näitaja, <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/Saveshow.asp>. (12.01.2012).
- FAO. 1996. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome Declaration on World Food Security. Resource document. World Food Summit: Rome, Italy, November 13–17 1996. <http://www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM>. 12.01.2011.
- FAO. (2003a). Trade reforms and food security – conceptualizing the linkages chapter two. Rome, food and agriculture organization. <http://www.fao.org/docrep/005/y4671e/y4671e06.htm#fn31>. (30.09.2009).
- FAO. 2003. FAO Practical Guide: Basic Concepts of Food Security. <http://www.fao.org/docrep/013/al936e/al936e00.pdf>. (12.01.2012).
- Fullbrook, D. 2010. Food as security. – *Food Security*, 2, p. 5–20.
- Hazell, P. B. R., Norton, R. D. *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*. Macmillan Publishing Company, New York, 376 p.
- Reutlinger, S., Pellekaan, H., Van, J. 1986. Poverty and hunger: Issues and options for food security in developing countries. World Bank Policy Study, Washington DC.
- Davis, C.G., Thomas, C.Y., Amponsah, W.A. 2001. Globalization and Poverty: Lessons from the Theory and Practice of Food Security. – *Amer. J. Agr. Econ.* 83(3) (August), p. 714–721.
- Flaten, O. 2001. Food security and international trade: The Norwegian case. – *77th EAAE Seminar / NJF Seminar No. 325, August 17–18, 2001*. Helsinki.
- Fritzsch, J., Wegener, S., Buchenrieder, G. Curtiss, J., Gomez y Paloma, S. 2011. Is there a future for semi-subsistence farm households in Central and southeastern Europe? A multiobjective linear programming approach. – *Journal of Policy Modeling*, 33, p. 70–91.
- Yoshii, K., Oyama, T. 2011. Applying Mathematical Programming Food Supply Model for Improving Japan's Food Self-Sufficiency Ratio. – *The Tenth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA 2011) Dunhuang, August 28–31 2011*. China, p. 28–50.
- Magnan, N., Lybbert, T. J., McCalla, A. F., Lampietti, J. A. 2011. Modeling the limitations and implicit costs of cereal self-sufficiency: the case of Morocco. – *Food Security*, 3, Suppl 1, S49–S60.
- Naylor, R. 2011. Expanding the boundaries of agricultural development. – *Food Security*, 3, p. 233–251.
- Pinstrup-Andersen, P. 2009. Food security: definition and measurement. – *Food Security*, 1, p. 5–7.
- Põldaru, R., Roots, J., Viira, A.-H., Värnik, R. 2006. A Macroeconomic (Simultaneous Equation) Model Of The Estonian Dairy Sector. *Proceedings of the 4th World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources, July 24–26, 2006, Orlando, Florida USA*, pp. 775–780. Published by American Society of Agricultural and Biological Engineers: ASABE Publication 701P0606. Library of Congress Card number (LCCN) 2006929870. International Standard Book Number (ISBN) 1-892769-55-7.
- Simelton, E. 2011. Food self-sufficiency and natural hazards in China. – *Food Security*. 2011, 3, p. 35–52.
- USDA. 2008. Food Security in the United States: Measuring Household Food Security. <http://www.ers.usda.gov/Briefing/FoodSecurity/measurement.htm>. (23.02.2008).
- Valeeva, N. I., Huirne, R. B. M. Meuwissen, M. P. M., Lamsink, A. O. 2007. Modeling farm-level strategies for improving food safety in the dairy chain. – *Agricultural Systems*, 94, p. 528–540.



## USING MODELLING TO ANALYSE OPTIONS FOR SAFEGUARDING FOOD SELF-SUFFICIENCY IN ESTONIA

Reet Põldaru, Jüri Roots

### Summary

During the last few years more attention has been paid to global food security and national food self-sufficiency problems that intensified after the latest economic crisis. Linear programming models can be used successfully to analyse food self-sufficiency-related problems. This paper gives an overview about the linear programming model that is used for analysing the optimal production of the main foodstuffs that would safeguard 100% food self-sufficiency level in Estonia. The objective function of the linear programming problem is minimization of the agricultural area that is needed for production of main agricultural commodities and food and feeding stuffs. The basic data that is used in the linear programming model are:

- the population of Estonia divided in gender and age groups and within these population groups the required consumption of calories and protein that are obtained from foodstuffs;
- indicators of eating habits (annual per capita minimum consumption of meat and dairy products, cereals and potatoes – altogether 9 different items);
- energy (kcal) and protein (g) content of the main foodstuffs (9 items);
- yields (kg/ha), energy (MJ/ha) and protein (kg/ha) production of arable crops (12 items);
- productivity indicators of agricultural animals (annual milk yield per dairy cow, slaughter weight of fattening beef and pigs, meat yield of broilers, annual production of eggs per laying hen);
- reproduction indicators of agricultural animals (annual average share of culled cows, average number of calves per cow, annual average number of piglets per sow);
- annual energy (MJ) and protein (kg) consumption of agricultural animals (bovines, pigs, poultry – altogether 10 classes);

- energy (MJ) and protein (kg) content of the amount of feeding stuffs produced from 1 ha consumed by agricultural animals (10 classes). For dairy cows 12 different feeding stuffs are considered, for broilers and laying hens 3 different feeding stuffs are used.

The model was solved in various options (varying the population structure, eating habits, yields of arable crops, yields of dairy cows, magnitude of the model etc.). In this paper one specific solution is analysed. The population structure represents the actual structure of 2009, the annual minimum amount of foodstuffs is in accordance with historically formed eating habits in Estonia, relatively high yields of arable crops and agricultural animals (cereals – 3000 kg/ha, potatoes – 20000 kg/ha, milk – 7000 kg/cow/year).

In the analysis of the model solution it was assumed that it is a specific situation characterised by the value of the objective function and respective values of the endogenous variables. In the analysed solution the value of the objective function is 337.6 thousand hectares of arable land. The production of agricultural commodities and feeding stuffs from that area safeguards the necessary amount of nutrient and adequate range of foodstuffs for feeding the Estonian population.

From the model solution it results that, according to the constraints used in the model, Estonian people shall be fed adequately. The planned average daily energy consumption per inhabitant – 2167 kcal – is in accordance with energy consumption norms of food, and average daily protein consumption per inhabitant – 86.2 g – exceeds respective norms.

The sown area of cereals (206.7 thousand ha) makes the largest share (61.2%) of arable land (337.6 thousand ha). For the production of feeding stuffs 122.2 thousand ha (36.2% of arable land) is required. The sown area of arable crops (food quality cereals and potatoes) that is directly used for food production is 63.9 thousand ha (18.9% of the total agricultural area).

In order to produce the sufficient amount of milk (for human consumption and feeding the calves and piglets) 85.4 thousand dairy cows are required. If the dairy cattle are of this size, milk production and consumption will be in balance.