

Dr Zdravko Vincek,

viši naučni suradnik Instituta za ekonomiku
i organizaciju poljoprivrede — Zagreb

PRIMJENA LINEARNOG PROGRAMIRANJA NA DRUŠTVENIM POLJOPRIVREDNIM GOSPODARSTVIMA

UVOD

N A P O M E N A

Redakcija je primila ponudu da štampa prilično opsežno obrađenu problematiku o primjeni linearnog programiranja na društvenim poljoprivrednim gospodarstvima. Obzirom na aktuelnost obrađivane materije, kao i način obrade koji će omogućiti zainteresiranima korištenje novih metoda, odlučeno je da čitav rad šampamo u tri dijela tj. u ovom i slijedeća dva broja. Iako svaki od navedenih dijelova obrađuje po jedan ili više odvojenih primjera, za pravilno razumijevanje metode i čitave materije potrebno je da se kod čitanja držimo redosljeda štampanja. Takvom načinu objavljivanja prišli smo i zbog toga da bi problematika bila što cjelovitije prikazana i da se izbjegnemo nepotrebna ponavljanja do kojih bi neizbježno moralo doći kad bi svaka obrađena metoda bila objavljivana posebno.

Razvitak jugoslavenskih poljoprivrednih gospodarstava ide u pravcu stvaranja krupnih i složenih organizacionih i proizvodnih jedinica. Takav razvitak traži od privrednih organizacija da brže uvađaju nove metode organizacije proizvodnje i rada, te da u svom radu primjenjuju novu tehniku i nova naučna dostignuća. Jedan od odlučujućih faktora za njihov pravilan razvoj bez sumnje je i usavršavanje tehnike planiranja proizvodnje.

Zadatak je ove studije da analizira mogućnosti primjene linearnog programiranja u našim uvjetima planiranja i proizvodnje. Očito je, naime, da su postojeće metode planiranja više ili manje odraz preživjelih odnosa administrativnog perioda i rutinskog planiranja koje ne može dati zadovoljavajuće rezultate u sve složenijim uvjetima proizvodnje na krupnim socijalističkim gospodarstvima. Obzirom na složenu problematiku, a u želji da metode provjerim na konkretnim primjerima, ovaj rad nije mogao obuhvatiti sve mogućnosti i modifikacije primjene linearnog programiranja. Ipak će niz primjera i konkretnih razrada omogućiti zainteresiranima uvid u te probleme i u veliki značaj primjene linearnog programiranja za suvremenije rješavanje proizvodnih i organizacionih problema na društvenom sektoru proizvodnje.

Ovaj rad obuhvaća razradu niza problema na primjerima iz proizvodnje posljednjih 4 godine. Obzirom na značajne promjene u cijenama i rentabilitetu, kao i odnosima među granama i proizvodima, dobivena rješenja često ne pokazuju realne postojeće odnose u proizvodnji. Smatramo da zadatak

ovog rada nije da daje konkretna rješenja koja su, uostalom, za svaku organizaciju specifična, već da na konkretnim primjerima objasni mogućnost i načine primjene te metode kod nas.

Primjeri u ovom radu su rađeni na običnim električnim strojevima za četiri osnovne operacije, te je i to bio jedan od razloga da smo kod postavljanja problema morali voditi računa o opsegu svakog pojedinog problema. Računsku obradu postavljenih primjera je izradila Vera Žic, tehnički suradnik Instituta za ekonomiku i organizaciju poljoprivrede u Zagrebu.

I D I O

POSTOJEĆI EKONOMSKI UVJETI ZA PROIZVODNJU I NJIHOV UTJECAJ NA IZBOR PROIZVODNJE NA DRUŠTVENIM GOSPODARSTVIMA

Nakon ukidanja administrativnog načina upravljanja privredom kod nas, uloga plana i planske proizvodnje u suštini nije izmijenjena, mijenjane su samo metode, te se u cijelom proteklom razdoblju traže kriteriji, koji bi omogućili pravilnu orijentaciju privrednim organizacijama kod donošenja proizvodnih i investicionih odluka, u situacijama proisteklim iz djelovanja relativno slobodnog tržišta mehanizma i društvene investicije **).

Polazeći od ovakve situacije poduzeća mogu i moraju da između različitih alternativa proizvodnje uzimaju u obzir rezultate pojedinih proizvodnji kao kriterij prilikom njihovog izbora.

Uspjeh u poslovanju izabran kao kriterij kod izbora smjera proizvodnje osigurava afirmaciju i ostalih ekonomskih principa, kao što je princip solucije ili zamjene jednog faktora proizvodnje drugim, princip komparativne prednosti koji omogućava bolju afirmaciju i individualnih prednosti u proizvodnji, prodaji ili kupnji pojedinih proizvoda. Takva situacija i kriterij izbora omogućuju i suvremene metode izbora optimalnih rješenja pomoću linearnog programiranja na poljoprivrednim organizacijama.

Uspjeh u proizvodnji pojedinih proizvoda rezultat je potrebne sume živog i minulog rada, priznanja društveno potrebnog rada putem tržišta, kao i utjecaja mjera naše zajednice koje ekonomskim instrumentarijom značajno mijenja položaj pojedinih proizvoda. Sve se to odražava na razlike u financijskom rezultatu (dobiti) po ha/grlu godine između pojedinih proizvoda koji za period od 1961—1964. godine vidimo na tabeli br. 1*).

Iz iznesenih podataka se vidi da cijeli niz proizvodnji u analiziranom periodu ima gubitke. Naravno da takva situacija onemogućava primjenu isključivo ekonomskih kriterija kod izbora proizvodnje. Takvo stanje i položaj pojedinih proizvoda otežava izbor naročito u slučaju mogućih alternacija između biljne i stočne proizvodnje. Kod planiranja stočarske, naročito mljekarske proizvodnje i proizvodnje prasadi, nužno je zbog toga odluke o tim proizvodnjama donositi na temelju drugih kriterija.

**) Orthaber: »Naučna i metodološka pitanja izbora proizvodnih i investicionih varijanti« — »Ekonomist« br. 1—2., Beograd, 1956. g.

Tabela br. 1 — Dobit po ha/grlu od 1961. do 1964. god.

Proizvodi	Proizvodnja u mtc po ha/grlu			Financijski rezultat u din po ha/grlu			Indeks pšenica 100		
	1961.	1962.	1963.	1961.	1962.	1963.	1961.	1962.	1963.
pšenica	32,72	41,66	44,71	39.415	89.840	59595	100	100	100
kukuruz	43,95	66,56	59,86	—4.920	82.982	55760	—	92,36	93,56
šeć. repa	405,39	423,54	478,14	9.612	117.672	93231	24,38	130,17	256,44
luc. sij.	120,50	70,28	109,31	9.066	30.285	12145	22,95	22,58	20,38
sil. kukur.	251,83	326,21	327,92	676	15.431	—37726	1,76	17,7	—
tov junadi	897	1152	1205	—34.002	15.856	—19587	—	—	—
mlijeko	2672	3183	3681	—84.314	—10.675	—62071	—	17,65	—
prasad	164	237	263	—60.164	—69.165	—36323	14,46	21,41	44,30
tov svinja	3154	355	325	5.702	19.241	26400	—	—	—

Za izbor proizvodnje na konkretnom poljoprivrednom dobru važni su po najprije međusobni odnosi između rezultata pojedinih proizvoda, kao i konkretni uvjeti, sredstava i drugi faktori o kojima ovisi proizvodnja.

Pored razlika u proizvodnim faktorima velike razlike u dobiti i gubicima kod jednakih proizvodnji među organizacijama ukazuju da pojedinim organizacijama odgovara različita struktura proizvodnje, te da postoje znatne mogućnosti da se bolje iskoriste prirodne ekonomske ili kadrovske prednosti za određenu proizvodnju. Dok neke organizacije postižu dobit po 89.000 dinara po ha kukuruza, druge su imale gubitak od oko 28.000 dinara. Slične razlike postoje kod proizvodnje šećerne repe, sijena lucerne itd. U stočnoj proizvodnji, npr. kod mlijeka, sve organizacije su imale gubitke po grlu iako su i tu razlike veoma velike i kreću se od 20.000 — 120.000 dinara gubitaka po grlu. Kod proizvodnje prasadi neke organizacije u 1963. god. pokazuju dobitak, a neke gubitak dok je tov svinja kod svih, izuzev jedne, pozitivan.

Razlike među organizacijama u dohocima ili gubicima prikazat ćemo indeksima po organizacijama na tabeli br. 2. gdje su prosječni rezultati u pojedinim proizvodnjama uzeti kao 100. Razlike među organizacijama kod istih proizvoda su manje nego razlike u dobiti među proizvodima koji su iskazani na tabeli br. 1. Veće razlike u položaju i rezultatima među proizvodima od razlika rezultata pojedinih organizacija u proizvodnji pojedinih proizvoda u znatnoj mjeri koče pravilan razmještaj proizvodnje i prilagođavanje prirodnim, ekonomskim i drugim specifičnim uvjetima pojedinih organizacija za određenu proizvodnju. Očito je, da takva situacija stimulira proizvodnju najrentabilnijih proizvodnji u svim prirodnim i ekonomskim uvjetima i otežava izbor proizvodnje na principima komparativne prednosti određenih područja. Očito da je ovakva situacija, koja je u mnogo slučajeva ostatak prošlog administrativnog perioda, ozbiljna kočnica za primjenu isključivo ekonomskih kriterija kod izbora proizvodnje. U praksi se zbog toga pored ekonomskih kriterija kod izbora proizvodnje u poduzeću primjenjuje niz drugih metoda, kako bi se uskladili interesi poduzeća i društvene zajednice. Takva situ-

*) Prosječni podaci za 10 poljoprivrednih dobara SRH

acija i administrativni utjecaj na proizvodnju i položaj privrednih organizacija, iako ublažuje djelovanje određenih negativnih kretanja gledajući sa staništa zajednice kao cjeline, zapravo koči brži ekonomski razvoj, jer ograničava inicijativu, samostalnost i prava radnih kolektiva, a pored toga otežava pravilno korištenje prednosti pojedinih poduzeća za određenu proizvodnju. Disproporcije između položaja pojedinih proizvodnji su tolike da je za njihovo prevazilaženje nužan određen vremenski period, te će njihovim uklanjanjem rasti i značaj ekonomskih kriterija kod izbora proizvodnje.

Već smo spomenuli da u praktičnom radu izbor proizvodnje ne ovisi samo o kriteriju za izbor proizvodnje već i određenih specifičnih uvjeta privređivanja u poduzeću, koji u određenim momentima ograničavaju i određuju izbor najpovoljnijih varijanti. Postojeće metode planiranja u poljoprivrednim organizacijama, naslijeđene u administrativnom periodu, prilagođene su potrebama tog perioda, te ne koriste sve postojeće mogućnosti za pravilnije usklađivanje proizvodnih faktora. Ostaci administrativnog perioda u planiranju s jedne strane i nedovoljno savladane metode planiranja pomoću egzaktnijih ekonomskih kriterija sa druge strane, uzrok su relativno sporog prilagođavanja organizacija, novim uvjetima privređivanja, a to se odražava i na slabijim rezultatima u proizvodnji mnogih organizacija. Relativno sporo reagiranje organizacija na nove uvjete odražava se i na sporijoj razradi suvremenih metoda za upravljanje privredom u novim uvjetima. Ipak je administrativno mišljenje u poslovanje pojedinih poduzeća iz godine u godinu sve manje. Sa slabljenjem administrativnog utjecaja raste i potreba za bržom i boljom razradom ekonomskih instrumenata koji će efikasnije uklanjati suprotnosti između interesa poduzeća i društvene zajednice, odnosno koji će bez administrativnog utjecaja ekonomskim mjerama osigurati potreban kvantum robe potreban društvu.

Tabela br. 2 — Dobit odnosno gubici po organizacijama u 1963. godini izražena u indeksima

Organi- zacija	Pšenica	Kukuruz	Šećerna repa	Sijeno lucerne	Silažni kukuruz	Mlijeko	Tov goveda	Prasad	Tov svinja
1	92,93	109,81	125,33	314,61	—	75,35	19,32	—	—
2	89,74	95,84	—	55,83	127,27	164,54	238,34	—	57,87
3	151,47	79,01	85,95	27,08	244,83	92,10	40,01	—	15,39
4	78,55	—	—	—	226,81	32,21	—	75,01	46,71
5	90,16	—	35,60	660,37	108,54	43,87	131,12	—	—
6	148,23	154,85	113,66	—	188,10	—	—	—	—
7	90,13	123,81	125,38	691,09	261,97	—	—	—	—
8	89,97	146,23	20,26	—	112,62	130,40	232,32	82,02	15,16
9	108,10	160,09	11,26	—	—	151,34	189,65	209,85	—
10	49,04	61,27	74,60	—	43,61	—	67,54	—	—
Ponder.									
prosjeck:	100	100	100	100	100*)	100*)	100*)	100*)	100

*) Prosjeci su u gubitku kao i sve vrijednosti po organizacijama. Indeksi pokazuju, prema tome, veće ili manje gubitke od prosjeka.

Kad se govori o ekonomskim mjerilima za izbor proizvodnje potrebno je još razmotriti kriterije i za mjerenje uspjeha proizvodnje u našim uvjetima. Ekonomski kriteriji mjerenja uspjeha poduzeća, koji omogućavaju da dođu do izražaja individualne prednosti pojedinih proizvodnji i uvjeta mogu biti različiti. Kod nas postoje mišljenja da bi s obzirom na karakter našeg sistema trebalo primijeniti kao kriterij za ocjenu uspjeha dohodak pojedinih proizvodnji, umjesto neto dohotka (dobiti) koji se obično upotrebljava kao kriterij za izbor proizvodnje na našim dobrima. To bi bilo i logično, jer je to kod nas usvojen kriterij za ocjenu uspjeha poduzeća kao cjeline. Međutim kod primjene dohotka kao kriterija za izbor proizvodnje nailazimo na čitav niz još neraščišćenih problema. Ako uzmemo dohodak po ha i grlu kao kriterij za izbor proizvodnje, očito je da bi izbor grana bio drugačiji od onog na bazi neto dohotka. Nemoguće je međutim kod izbora pojedinih proizvodnji zanemariti elemenat utrošak živog rada koji kod dohotka po jedinici kapaciteta pojedinih proizvoda nije uzet u obzir.

Postoji i mogućnost upotrebe dohotka po satu kao kriterija za izbor, jer on obuhvaća utrošen živi rad po proizvodnjama. Taj kriterij ipak ne vodi dovoljno računa o kvalifikacijama, intenzitetu i uvjetima uloženog rada, iako se stvarna raspodjela dohotka po proizvodima vrši na temelju tih kriterija. Zbog iznesenog smatram da je i kod nas neto dohodak (dobit) najpogodniji kriterij za izbor proizvodnje u poduzeću.

U zapadnim zemljama obično se kod izbora proizvodnje linearnim programiranjem polazi samo od rezultata proizvodnje na bazi direktnih troškova. Takav pristup obradi opravdava se činjenicom da se opći i upravni troškovi ne mijenjaju s promjenama smjera proizvodnje. Nema sumnje da opći i upravni troškovi predstavljaju određene fiksne troškove koji nisu usko povezani sa godišnjim promjenama u proizvodnoj orijentaciji. Kod malih privatnih farmi na zapadu opći i upravni troškovi su konstantni za duži period vremena. Na krupnim društvenim gospodarstvima, iako se opći i upravni troškovi pojavljuju također kao fiksni, očito je da se i oni mogu, prema orijentaciji, intenzitetu i organizaciji proizvodnje, mijenjati. Pored toga na našim društvenim gospodarstvima učešće indirektnih troškova je znatno veće pa njihovim zanemarivanjem činimo veću grešku. Nema sumnje da postojeći prigovori o nemogućnostima pravilne raspodjele indirektnih troškova na pojedine proizvode stoje. Zbog toga će se nakon upotrebe kompletne kalkulacije i izvršenog izbora proizvodnje, rješenja trebati eventualno provjeriti sa stanovišta realnosti ukupnih općih i upravnih troškova. Primjenu takvog postupka smatramo manjom greškom nego da izbor vršimo na temelju samih direktnih troškova, jer nam se može desiti da izaberemo i takvu proizvodnju koja ne može podmiriti odgovarajuće opće i upravne troškove, te će ih se morati podmirivati iz akumulativnije proizvodnje, što je lošije nego bilo koja raspodjela općih i upravnih troškova po ključevima. Zato je u daljnjem tretiranju te materije izbor proizvodnje vršen na temelju podataka potpune kalkulacije direktnim i indirektnim troškovima.

OSNOVNA OBJAŠNENJA POTREBNA ZA POSTAVLJANJE PROGRAMA

Polazeći od navedenih principa i kriterija u planiranju, plan poduzeća je određen i ovisan o rezultatima i uspjehu proizvodnje koji su odraz postojećih konkretnih prirodnih, ekonomskih kadrovskih i drugih uvjeta za proizvodnju. Nema sumnje da u svakom poduzeću postoji veoma velik broj faktora od kojih svaki ima određeni utjecaj na rezultate poduzeća kao cjeline. Promjena jednog faktora utječe na rezultate poslovanja i na međusobne odnose pojedinih faktora. Upravo ta povezanost faktora i rezultata čini da poduzeće funkcionira kao živ organizam koji je teško uklopiti u određene planove i sheme.

Prednost matematskih metoda pred ostalim načinima planiranja proizvodnje nije samo u većim mogućnostima izbora alternativnih rješenja, već i u tome što ekonomski pokazatelji i kriteriji ne pokazuju samo rezultate izabranih solucija, već oni aktivno učestvuju i u izboru najpovoljnijih varijanti plana.

Linearno programiranje bazira kao i dosad primjenjivane metode planiranja na određenim stručno-tehničkim pretpostavkama, a razlike u sistemima planiranja sastoje se samo u tome, hoće li se planirati na bazi stručno-tehničkih postavki, i izračunavati financijski efekat donijetih proizvodnih odluka, ili će se na bazi određenih ekonomskih kriterija vršiti izbor proizvodnje u okviru datih stručno-tehničkih postavki i normativa. Kod iskusnih planera jedan i drugi metod, pogotovo kod jednostavnijih problema, može da daje zadovoljavajuće rezultate. Ipak drugi sistem obzirom na veliki broj faktora koji se mijenjaju može da uz pomoć matematskih metoda omogućiti pronalaženje znatno boljih solucija proizvodnje.

Planovi koji polaze prvenstveno od tehnoloških rješenja i niza stručno-tehničkih ocjena mogu da budu dobri ako se pravilno usklade potrebe i stvarne mogućnosti proizvodnje i ako planeri pored tehnološke strane poznaju toliko ekonomiku proizvodnje da mogu ocijeniti i utjecaj svojih odluka na konačne rezultate proizvodnje.

Naravno da ta sposobnost treba da bazira na velikom iskustvu i nizu analiza, te u tom slučaju rezultati u znatnoj mjeri ovise o sposobnosti i znanju planera, kao i o broju razrađenih varijanti plana. Kod primjene matematskih metoda nužno je također poznavanje specifičnih karakteristika pojedinih proizvodnji i njihovih međusobnih odnosa, no kvantificiranje tih veličina matematskim metodama je lakše i tačnije obzirom da se izbor vrši između velikog broja mogućih varijacija i rješenja. Naravno da je i za primjenu matematskih metoda potrebno detaljno poznavanje tehnoloških i organizacionih problema proizvodnje kao i svih mogućnosti postojećih matematskih metoda, koje omogućavaju da se isti problem osvijetli s različitih aspekata, odnosno da se različiti problemi postave i rješavaju na različite načine.

Jedan od osnovnih problema planiranja uopće, a pogotovo za primjenu linearnog programiranja, svakako je prikupljanje podataka, te ocjene uvjeta i rezultata proizvodnje, jer o njihovoj pravilnoj ocjeni ovisi i realnost i vri-

jednost dobivenih rezultata. Linearno programiranje kao matematska metoda vrlo je osjetljivo i relativno brzo otklanja svako nepovoljnije rješenje. Zato ako nisu pravilno ocijenjeni uvjeti proizvodnje, koji uvjetuju dobivena rješenja, može se desiti da dobivena rješenja ne predstavljaju i stvarno najbolja rješenja. Zbog toga se u praksi kod linearnog programiranja najčešće upotrebljavaju podaci dobiveni analizom postojeće proizvodnje. Prednost takvog pristupa, bez sumnje, je realnost dobivenih proizvodnih koeficijenata s kojima ulazimo u plan, no nedostatak je svakako što buduća proizvodnja uključuje i sve nedostatke i specifičnosti proteklog razdoblja. Neki autori nastoje uzeti rezultate i uvjete sličnih natprosječnih gospodarstava i na temelju njih predviđati proizvodnju. U našoj praksi planiranje se vrši tako da se na temelju obračunskih kalkulacija proizvodnje izračuju korigirane planske kalkulacije. Nema sumnje da su planske kalkulacije kvalitetnije ako se baziraju i polaze od obračunskih kalkulacija, no upotrebljavane metode za popravljivanje obračunskih kalkulacija često ne osiguravaju dovoljno objektivnost, pa subjektivne deformacije mogu iskvartiti i obezvrijediti cijeli plan. Odlučujuću bi ulogu, bez sumnje, u poduzeću ubuduće trebali da imaju odjeli za unapređenje tehnološkog procesa, koji bi na temelju iskustava i sprovedenih snimanja, racionalizacija pojedinih procesa proizvodnje, kao i detaljnih analiza pojedinih procesa proizvodnje i postojećih uvjeta, mogli objektivnije predviđati mogućnosti poboljšanja proizvodnje i potrebne mjere za predviđeni napredak u budućem razdoblju.

Obzirom na važnost tih problema i metodički karakter ove studije, nastojali smo se koristiti različitim metodama za pripremu proizvodnih koeficijenata, za koje smatramo da bi došle u obzir kod izrade planova proizvodnje u našim uvjetima, a koje će se morati primjenjivati već prema specifičnim uvjetima i stupanju raspoloživih podataka u pojedinom poduzeću.

Kod postojećih načina planiranja, izradom niza kalkulacija vršimo u izvjesnom smislu simplificiranje postojećih problema i različitih uvjeta proizvodnje. Baratamo izvjesnim prosječnim uvjetima i rezultatima kako bi mogli doći do približnih projekcija buduće proizvodnje i njihovih rezultata.

Sličnom simplificiranju problema moramo prići kad primjenjujemo i matematske metode. Jedna od osnovnih takvih pojednostavljenih postavki na kojima počiva linearno programiranje jest pretpostavka da rezultati rastu ili opadaju proporcionalno s količinama djelatnosti koje stavljamo u plan. Naravno da je to tačno samo u okviru određenih uvjeta predviđenih u kalkulacijama, a rješenja će biti toliko realna koliko smo ograničenjima ili proizvodnim koeficijentima osigurali da dobivena rješenja zadovoljavaju predviđenim uvjetima, odnosno moramo se pomiriti sa činjenicom da odstupanja od tih pretpostavki neće biti vidljiva iz dobivenih rezultata.

Metoda linearnog programiranja se služi sistemom jednadžbi, da se odredi učešće pojedinih proizvodnji (djelatnosti) koje u granicama raspoloživih kapaciteta daju optimalno rješenje. Taj metod omogućuje bez sumnje izradu i izbor čitavog niza novih, boljih kombinacija proizvodnje za poduzeće kao cjelinu, te je izdiferencirano i metodički razdvojio unapređenja proizvodnje unutar pojedinih procesa proizvodnje, od problema izbora pojedinih grana proizvodnje unutar poljoprivrednog gospodarstva. Takva sistematizacija i metodički različito pristupanje problemima organizacije proizvodnje

omogućuje efikasnije rješavanje mnogih problema organizacije proizvodnje i dragocjeno su oruđe u rukama organizatora proizvodnje.

Problem linearnog programiranja sastoji se u tome da se odredi odnos pojedinih djelatnosti unešenih u program koje će u okviru raspoloživih kapaciteta dati optimalan rezultat. U našim slučajevima optimalan rezultat je dobiven maksimiranjem dobiti poduzca kao cjeline, odnosno traženje rješenja sa najnižim troškovima.

Prema tome, optimalni odnos pojedinih proizvodnji je određen raspoloživim kapacitetima, zahtjevima proizvodnje, koji koriste raspoložive kapacitete, te rezultatima pojedinih proizvodnji izraženih kroz dobit po jedinici kapaciteta, ili koji drugi pokazatelj uspjeha proizvodnje. Odnose raspoloživih kapaciteta i proizvodnih koeficijenata pojedinih djelatnosti koji koriste te kapacitete, možemo izraziti pomoću niza linearnih jednadžbi gdje broj ograničenja kapaciteta određuje broj jednadžbi, a potrebe pojedinih djelatnosti za data ograničenja elemente pojedinih jednadžbi s toliko nepoznanica koliko ima djelatnosti.

Tako npr. u prvom problemu postavljenom na tabeli br. 5 imamo 4 djelatnosti i 5 ograničenja, pa prema tome imamo slijedeći broj jednadžbi:

$$\begin{array}{rccccrcr}
 1 x_1 + & 1 x_2 + & 1 x_3 + & 1 x_4 = & 1326 \\
 156 x_1 + & 168 x_2 + & 154 x_3 + & 230 x_4 = & 29119 \\
 11.31 x_1 + & 7.85 x_2 + & 20.56 x_3 + & 12.34 x_4 = & 12464 \\
 1.96 x_1 + & 38.97 x_2 + & 15760 x_3 + & 58.13 x_4 = & 32825 \\
 8.46 x_1 + & 71.29 x_2 + & 167.26 x_3 + & 54.57 x_4 = & 44531
 \end{array}$$

Vrijednost x_1 , x_2 , x_3 , x_4 su količinske nepoznanice pojedinih djelatnosti. Apolutni brojevi lijeve strane jednadžbi predstavljaju potrebe po jedinici pojedinih djelatnosti, a brojevi sa desne strane jednadžbe raspoložive kapacitete koji omogućavaju izračunavanje količinskog odnosa pojedinih djelatnosti.

Zadatak se sastoji u tome da se pronade takav brojčani odnos pojedinih djelatnosti koji će dati najveću dobit, a da se dobiveno rješenje nalazi u okviru zadanih ograničenja. Naravno da svaka promjena učešća u programu pojedine djelatnosti gotovo uvijek mijenja količinske odnose drugih djelatnosti zbog ograničenosti raspoloživih kapaciteta.

U praksi matematsko rješenje tih problema treba prepustiti elektronskim strojevima koji već postoje u mnogim mjestima u našoj zemlji. (Beograd, Zagreb, Ljubljana, Osijek itd.). Njihova je upotreba u poljoprivredi ograničena ponajviše zato što poljoprivredno-ekonomski stručnjaci dovoljno ne poznaju mogućnosti samih metoda kao i zato što u elektronskim centrima nije izrađen dovoljan broj potrebnih programa. No jedan od najvećih problema svakako su potrebni podaci koji trebaju biti prikupljeni i prilagođeni potrebama i mogućnostima obrade pomoću linearnog programiranja.

Zbog toga smatramo da se za organizatora proizvodnje na poljoprivrednom dobru problem linearnog programiranja ne sastoji u samom matematskom postupku već u postavljanju problema i izboru pogodne metode za pravilno rješavanje postojećih problema.

Za rješavanje pojedinih problema postoji čitav niz različito modificiranih programa kao i različitih mogućnosti za kontrolu i interpretaciju dobive-

nih podataka. Zbog toga ćemo mogućnost primjene linearnog programiranja prikazati razradom niza problema pomoću simplex metode na temelju konkretnih podataka nekoliko naših poljoprivrednih dobara u SRH, polazeći kod obrade od jednostavnijih do složenijih problema. Za one koji ipak žele manje probleme rješavati sami pomoću računskih strojeva opisat ćemo i način izračunavanja koji se može svesti na nekoliko jednostavnijih operacija. Taj postupak ćemo dati poslije postavke prvog programa, a potrebne specifičnosti ćemo obrazložiti poslije svakog programa gdje je nova modifikacija upotrebljena.

No bez obzira kakav je problem i kako će se rješavati potrebno je svaki problem postaviti u obliku tabele s određenim brojem kolona i redova:

— za svaku djelatnost za koju pretpostavljamo da bi mogla ući u budući optimalni program otvaramo posebnu kolonu;

— za raspoložive kapacitete koji ograničavaju veću ili manju zastupljenost pojedinih djelatnosti na tabeli otvaramo poseban red;

— za svako ograničenje kapaciteta potrebno je kod svake djelatnosti odrediti proizvodne koeficijente koji zapravo predstavljaju korištenje raspoloživog kapaciteta po jedinici djelatnosti i unašaju se u odgovarajući red datog ograničenja;

— naravno da proizvodni koeficijenti pojedinih djelatnosti i zadani kapaciteti moraju biti u takvom odnosu i skladu da su logički izvodljivi te da predstavljaju i realan problem;

— na obradbenoj tabeli za svako ograničenje otvaramo i toliko kolona raspoloživih djelatnosti koliko imamo redova ograničenja.

Ovako postavljen zadatak na obradbenoj tabeli ili matrici predstavlja, kako smo već spomenuli, niz jednadžbi s više nepoznanica, a otvaranje kolona raspoloživih djelatnosti je nužno, zato što one omogućavaju rješenja s nepotpunim iskorištenjem raspoloživih kapaciteta. Optimalno rješenje nije, naime, nikad vezano s potpunim korištenjem svih kapaciteta. Raspoložive djelatnosti pretvaraju zapravo jednadžbe za svako ograničenje kapaciteta u nejednadžbu. Stupci za raspoložive djelatnosti imaju nulu u svim redovima, izuzev red u kojem raspoloživa djelatnost korespondira s odgovarajućim ograničenjem odnosno kapacitetom, gdje se umjesto nule stavlja br. 1.

Već smo spomenuli da je za postavljanje zadatka nužno unaprijed ocijeniti i dobit za svaku jedinicu djelatnosti koja se unaša na obradbenu tabelu u kolone iznad svake djelatnosti. Kod programa s minimiziranjem umjesto dobiti stavljamo u program podatke o cijeni koštanja ili nabavnoj cijeni za jedinicu djelatnosti.

IZBOR RATARSKE PROIZVODNJE UZ PRETPOSAVKU OD 5 OGRANIČENJA I MOGUĆNOŠĆU PROIZVODNJE 4 RATARSKE KULTURE*)

Izbor proizvodnje, odnosno optimalna rješenja dobivena linearnim programiranjem odraz su, kako smo već prije spomenuli, izabranog cilja, postavljenih kriterija, raspoloživih kapaciteta kao i predviđenih proizvodnji i tehnoloških rješenja koje dolaze u obzir za izbor proizvodnje na poljoprivrednom dobru.

*) Podaci uzeti na Poljoprivrednom dobru Tovarnik u 1963. god.

U ovom slučaju smo postavili zadatak da pronađemo takav odnos kultura na poljoprivrednom dobru Tovarnik koji će u okviru postojećih raspoloživih površina, osnovnih sredstava kao i raspoloživih traktorskih i ljudskih sati, dati najpovoljniji financijski rezultat, izražen pokazateljem dobiti.

Neosporno je da bi dobili realnije podatke kada bi kao bazu za plan uzeli višegodišnje podatke o proizvodnji jer se na taj način eliminiraju kolebanja i utjecaji prirodnih, naročito klimatskih uvjeta na prinose, kao i njihov utjecaj na utrošak rada ljudi i traktora. Sa druge strane višegodišnji podaci ne bi bili dovoljno reprezentativni obzirom na relativno brze promjene u sredstvima za proizvodnju pojedinih kultura iz godine u godinu. Pored toga prikazana analiza promjena u položaju pojedinih proizvoda, ukazuje da bi za upotrebu višegodišnjih podataka bilo nužno izvršiti prerađu kalkulacija na bazi novih cijena i instrumenata. Prerada i ispravljanje nedostataka obračunskih kalkulacija i raspoloživih kapaciteta zapravo predstavljaju razradu planskih kalkulacija koje, bez sumnje imaju određene prednosti, ali i slabosti, o čemu ćemo kasnije govoriti.

Izbor i analiza raspoloživih kapaciteta

Kod postavljanja ovog programa uzeli smo u obzir samo osnovne kapacitete: zemljište, sredstva za rad i raspoloživu radnu snagu, koji svakako imaju odlučujući utjecaj na proizvodnju. Ukupna oranična površina je 1963. godine na tom poljoprivrednom dobru iznosila 1422 ha, od čega se za proizvodnju stočne hrane koristi svega 96 ha, odnosno za druge ratarske kulture 1326 ha. U ovom primjeru smo primijenili najjednostavniji način osiguranja krmne baze tako da smo krmne površine isključili iz programa, a izbor proizvodnje smo izvršili linearnim programiranjem s ograničenjem preostalih površina od 1326 ha.

Kao drugi ograničavajući faktor uzeta su sredstva za proizvodnju. Ona su često ograničavajući faktor proizvodnje, te prema tome mogu biti odlučujuća za izbor proizvodnje. Raspoloživu količinu sredstava možemo izraziti u financijskom i naturalnom obliku. U ovom programu smo se odlučili za kombinaciju financijskih i naturalnih pokazatelja. Od financijskih pokazatelja je uzeta nabavna vrijednost sredstava na tom poljoprivrednom dobru za ratarsku proizvodnju u 1963. god. Od te svote su izvođena potrebna sredstva za krmne kulture koje nisu obuhvaćene ovim programom. Ukupna nabavna vrijednost sredstava za ratarsku proizvodnju obuhvaća poljoprivredne strojeve, dio skladišta, šupa za strojeve i dio sredstava uprave koji otpadaju na ratarsku proizvodnju. Ukupna raspoloživa osnovna sredstva uz određenu površinu određuju, u neku ruku, intenzitet gospodarstva kao cjeline uz postojeću agrotehniku i mehanizaciju. Ipak su mogućnosti izbora i upotrebe raspoloživih sredstava za veći broj proizvodnji prilično velike, obzirom da je na tom poljoprivrednom dobru bio relativno malen broj strojeva koji se mogu koristiti samo za određenu proizvodnju. Veliki udio u sredstvima čini vrijednost traktora. Kako je vrijeme korištenja traktora relativno duže od ostalih priključnih strojeva, tj. gotovo cijele godine, smatrali smo da je kod izbora nužno sagledati mogućnosti korištenja traktora u vremenskom perio-

du kada se traktori najviše koriste. Zbog toga smo ograničenja ukupno raspoloživih sredstava nadopunili ograničenjem raspoloživih sati traktora u IX i X mjesecu, kada je prema podacima agrotehnike u toj organizaciji potreba za traktorskim satima najveća. Dvomjesečni period smo upotrebili zato što je u tom vremenu često moguća zamjena i vremensko pomicanje radova prema potrebama. Kod određivanja raspoloživih radnih sati pošli smo od postojećeg broja od 38 traktora koji u IX i X mjesecu mogu obzirom na klimatske uvjete imati 41 radni dan po 8 sati na dan odnosno 12.464 sati. Kao posljednje ograničenje, koje uz raspoloživa sredstva također određuje intenzitet i mogućnost proizvodnje, uzeta je raspoloživa radna snaga odnosno raspoloživi sati u mjesecima kada je najveća potreba radne snage.

Na temelju podataka o utrošku rada po mjesecima za proizvodnje koje dolaze u obzir, konstatirano je da se najveća potreba za ljudskom radnom snagom pojavljuje u V, IX i X mjesecu. Zbog toga smo kao gornju granicu mogućnosti korištenja radne snage uzeli raspoloživu radnu snagu u tim mjesecima. Zbog većih mogućnosti pomicanja rokova u IX i X mjesecu raspoloživa radna snaga je za ta dva mjeseca izračunata zajedno. Obzirom na mogućnosti nabave povremene i sezonske radne snage, a prema tome i izvjesnih mogućnosti kolebanja iz mjeseca u mjesec, kao i obzirom na različite dužine mogućih radnih sati po mjesecima, bilo je teško ocijeniti raspoloživu radnu snagu. Zbog toga smo raspoložive radne sate u tim mjesecima izračunali na temelju podataka o stvarno angažiranoj radnoj snazi za ratarstvo u tim mjesecima na tom poljoprivrednom dobru. Naravno da smo iz naprijed navedenih razloga od raspoloživih sati odbili potrebu radne snage za proizvodnju krmnog bilja. Prema tako dobivenim podacima na Poljoprivrednom dobru Tovarnik u V mjesecu imamo 32.825 a u IX i X mjesecu 44.531 raspoloživih ljudskih radnih sati.

Iako je vidljivo da sa spomenutim izabranim kapacitetima s kojima smo uvjetovali optimalno rješenje nismo iscrpili sva ograničenja koja mogu u praksi onemogućiti ili otežati realizaciju dobivenog rješenja, očito je da ovako postavljen problem znatno kompleksnije posmatra problem izbora proizvodnje od postojećih načina sastavljanja osnovnih proporcija plana. Ovako šematiziran i pojednostavljen problem ograničenja ima niz prednosti i slabosti.

Manji broj osnovnih i teško promjenljivih ograničenja olakšava izbor stvarno najpovoljnije varijante, jer svako novo ograničenje odbacuje niz povoljnih rješenja, a poznato je da se niz uskih grla može ukloniti i na drugi način, a ne samo promjenom smjera proizvodnje. Sa druge strane broj ograničenja određuje maksimalno moguć broj djelatnosti u optimalnom rješenju, te smanjen broj ograničenja može onemogućiti izbor najoptimalnijeg rješenja. U principu treba nastojati da se kao ograničenja izaberu ona uska grla koja je teško na drugi način ukloniti, ali da ih je ipak toliko da je moguća kombinacija nekoliko osnovnih proizvodnji.

Svakako da je procedura izrade optimalnog programa kod pojednostavljenih problema mnogo kraća i brža pa prema tome i pristupačnija. Potreb-

no je naglasiti da ovako gruba razrada ograničenja često ipak ne osigurava realna rješenja, te je dobivene rezultate potrebno provjeriti ili izradom novih alternacija linearnim programiranjem ili drugim uobičajenim metodama.

Kvantificiranje većeg broja kvalitetnih ograničenja, koja bi kod izbora uzela u obzir djelovanje većeg broja faktora, veoma je teško na temelju raspoloživih podataka knjigovodstva i evidencije na našim poljoprivrednim dobrima. Već iznesena ograničenja zahvatila su niz podataka koje je u poduzećima potrebno posebno obrađivati iz osnovnih dokumenata kao što su vrijednost sredstava po proizvodnjama, utrošak radnih sati po mjesecima i kulturama itd.

Potrebno je naglasiti da se kod primjene linearnog programiranja često upotrebljava i čitav niz drugih naročito takvih ograničenja kojima se određuje određeni minimum odnosno maksimum za pojedine kulture, a često se vrši i izbor plodoreda a ne pojedinih kultura. Iako ćemo kroz razradu drugih programa osvijetliti utjecaj i raznih drugih ograničenja na proizvodnju, namjerno smo se klonili takvih ograničenja, koja unaprijed određuju odnos među pojedinim kulturama. Povećani broj ograničenja, naime, utječe na raznovrsniju proizvodnju, a samim time smanjuje se i potreba za agrotehničkim ograničenjima. Pored toga, postojeća iskustva iz naše prakse pokazuju da je napredak nauke omogućio da se pravilnim izborom tehnologije mogu riješiti mnogi složeni problemi takozvanog slobodnog ili konjunktnog gospodarenja zemljištem.

Alternative proizvodnje i potrebni podaci za postavljanje programa

U ovom programu je pretpostavljeno da postoje uvjeti, sredstva i mogućnosti proizvodnje za kulture koje su uzgajane prošlih godina. To je omogućilo izradu potrebnih proizvodnih koeficijenata na temelju podataka o proizvodnji i izrađenih obračunskih kalkulacija za 1963. god. U podacima dobivenim iz proizvodnje, kako smo već spomenuli, odražavaju se postojeći prirodni i ekonomski uvjeti za proizvodnju, pa u tom slučaju nije potrebna analiza uvjeta za proizvodnju, kao kad bi se htjelo uvesti novu i nepoznatu proizvodnju. Naravno da podaci o postojećoj proizvodnji olakšavaju i kvantificiranje pojedinih proizvodnih podataka potrebnih za izbor proizvodnje.

U tabeli br. 3 dajemo niz podataka o proizvodnji koji su nam bili potrebni za izbor proizvodnje i interpretaciju dobivenih rješenja.

Za postavljanje problema od navedenih podataka potrebni su nam samo dobit kao kriterij za izbor i oni podaci o proizvodnji koji koriste ranije izabrane raspoložive kapacitete kao što su potrebna vrijednost osnovnih sredstava, potreban broj radnih sati traktora u IX i X mjesecu, potreban broj radnih sati ljudi u V, IX i X mjesecu po ha pojedinih kultura.

Ostali podaci mogu poslužiti za pobliže određivanje ostalih potrebnih planskih veličina nakon dobivanja optimalnog rješenja, za pravilnu interpretaciju dobivenih rješenja kao i provjeravanje dobivenih rješenja logičnom kontrolom ostalih planskih pokazatelja.

Tabela br. 3 — Pregled podataka o proizvodnji po ha po kulturama za proizvodnju u 1963. godini na poljoprivrednom dobru Tovarnik

Površina	Pšenica	Kukuruz	Šećerna	Sunco-	Silažni	Lucerna
	795	218	repa 46	kret 263	kukuruz 53	stara 43
Prinos glavnog proizvoda	37,36	54,46	443,12	25,89	336,00	56,01
Prinos spored. proizvoda	20,96	—	86,1	—	—	—
Cijena glavnog proizvoda	49,74	41,—	10,43	90,—	4,—	20,—
Cijena spored. proizvoda	3,—	—	1,16	—	—	—
Vrijednost proizvodnje	194.550	223.286	452.740	223.041	134.399	117.028
Direktni troškovi	115.488	130.420	261.834	83.543	105.364	104.667
Indirektni troškovi	49.836	65.005	121.356	47.489	46.850	43.513
Dohodak	61.581	101.875	235.646	—	15.696	7.209
Dobit	29.226	27.261	69.550	102.007	— 17.815	— 31.152
Platni fond	14.824	45.471	120.871	19.701	15.346	20.469
Ljudski radni sati	103,14	131,25	916,19	137,25	104,21	168,19
Traktorski radni sati	18,84	26,27	46,70	24,60	24,60	15,86
Sprežni radni sati	—	—	2,43	—	—	5,98
C.K. glavnog proizvoda	42,28	35,99	8,82	50,61	4,53	25,32
C.K. spored. proizvoda	2,55	—	0,98	—	—	—
Nabavna vrijed. sredst.	343.964	356.086	341.850	230.000	357.827	301.630
Potrebno trak. r. sati						
u IX i X mjesecu	11,31	7,85	30,56	12,34	—	—
Potrebno ljud. radnih sati						
u V mjesecu	1,96	38,97	157,66	58,13	—	—
Potrebno ljud. radnih sati						
u IX i X mjesecu	8,46	71,29	167,26	56,57	—	—

POSTAVLJANJE PROGRAMA ZA LINEARNO PROGRAMIRANJE

Međusobni odnosi između ograničenja i podataka izabranih proizvodnji mogu se izraziti na način kako je prikazano u tabeli br. 4.

Kod postavljanja programa nužno je voditi računa o realnosti samog programa odnosno da li je odnos raspoloživih kapaciteta i potreba pojedinih proizvodnji koje koriste raspoložive kapacitete takav da može uopće postojati niz izvodljivih kombinacija i realnih odnosa.

Navedeni problem može se riješiti primjenom linearnog programiranja simplex metodom pomoću koje se traži takav odnos kultura koji će zadovoljavajući navedene zahtjeve dati maksimalnu dobit gospodarstva kao cjeline. Kako se radi o postupku povećanja dobiti primijenit ćemo maksimizirajuću funkciju.

Postavljanje i rješenje problema vrši se pomoću niza obradbenih tabela i to tako da se u prvu unosi zadatak, a ostale se izrađuju iz prethodne pomoću tačno određenog postupka (tab. br. 5)

Tabela br. 4 — Odnos postavljenih ograničenja i potreba po jedinici djelatnosti

	Raspoloživi kapaciteti	Dobit i proizvodni koeficijenti po ha za raspoložive proizvodnje			
		Pšenica	Kukuruz	Šećerna repa	Suncokret
Dobit po ha	—	29.226	34.166	69.550	81.674
Ha	1.326	1	1	1	1
Raspoloživa sredstva u 000 d	229.119	156	168	154	230
Traktorski sati u IX i X mjesecu	12.464	11,31	7,85	30,56	12,34
Ljudskih radnih sati u V mjesecu	32.825	1,96	38,97	157,66	58,13
Ljudskih radnih sati u IX i X mjesecu	44.531	8,46	71,29	167,26	54,57

OPIS POSTUPKA ZA IZRAČUNAVANJE OPTIMALNOG RJEŠENJA

Rad na rješavanju programa se odvija kroz niz stupnjeva ili faza koje se ponavljaju

Nakon što se u početnu tabelu unesu podaci postavljenog zadatka započinje istraživanje da li se u program može uključiti djelatnost koja će povećati dobit. To se ispituje izračunavanjem reda Z odnosno reda Z—C.

1. faza — izračunava se red Z

Vrijednosti reda Z za svaku kolonu dobivaju se tako da se množe dobiti unešenih djelatnosti u plan kolone 1 s odgovarajućim vrijednostima u drugim kolonama izuzev kolone za izbor izlazećeg reda R i kontrolne kolone, te se dobiveni umnošci po kolonama zbroje. Kako u početnoj tabeli u koloni 1 imamo 0 vrijednost unešenih djelatnosti, te sve brojeve množimo s nulom, a brojevi umnoženi s nulom daju nula vrijednost. Zbog toga će Z red u početnoj tabeli biti uvijek za sve kolone nula. Z red kolone 3 pokazuje inače dobit koju bi dale djelatnosti unešene u plan.

Primjer izračunavanja Z reda dat ćemo zato na primjeru druge tabele prvog programa:

Postupak izračunavanja vrijednosti 2 reda po kolonama:

Vrijednost kolone 3	564,6826	×	81.674	=	46,119,886,6724
„	4	0	×	81.674	= 0
„	5	0	×	81.674	= 0
„	6	0	×	81.674	= 0
„	7	0,0172	×	81.674	= 1.404,7928
„	8	0	×	81.674	= 0
„	9	0,0337	×	81.674	= 2.752,4138

„	„	10	0,6704	×	81.674	=	54.754,2496
„	„	11	2,7122	×	81.674	=	221.516,2228
„	„	12	1	×	81.674	=	81.674,0000

2. faza — izračunava se red Z — C i određuje ulazna djelatnost novog naprednijeg plana.

Red Z — C se dobiva da se od vrijednosti svake kolone reda Z odbije odgovarajuća vrijednost, red C (odnosno dobit po jedinici djelatnosti).

Na primjeru druge tabele prvog programa Z — C vrijednosti su izračunate na slijedeći način.

Postupak izračunavanja vrijednosti Z — C reda po kolonama:

vrijednost kolone	3	46,119,886,6724	—	0	=	46,119,886,6724
„	„	4	0	—	0	= 0
„	„	5	0	—	0	= 0
„	„	6	0	—	0	= 0
„	„	7	1.404,7928	—	0	= 1.404,7928
„	„	8	0	—	0	= 0
vrijednost kolone	9	2.752,4138	—	29.226,0000	=	26.473,5862
„	„	10	54.754,2496	—	34.166,0000	= 20.588,2496
„	„	11	221.516,2228	—	69.550,0000	= 151.966,2228
„	„	12	81.674,0000	—	81.674,0000	= 0

Važnost reda Z — C je u tome što pokazuje koja će djelatnost dati najveću dobit. Najnegativnija kolona Z — C pokazuje djelatnost koja omogućava najveći porast dobiti. Zbog toga se ta djelatnost unosa u plan kao ulazna djelatnost naprednijeg plana.

Dobit može porasti uvađanjem u program novih djelatnosti tako dugo dok Z — C sadrži negativne brojeve. Kad u tom redu nema negativnih vrijednosti, rješenje s najvećom dobiti je pronađeno. Kada je određena djelatnost, koja će najviše povećati dobit, potrebno je pronaći ograničenja koja određuju gornju granicu do koje može pojedina djelatnost ući u plan. To se postiže izračunavanjem vrijednosti u koloni R.

3. faza. Izračunavanje kolona R i izbor izlazećeg reda

Količina djelatnosti koju unasamo u plan ograničena je raspoloživim kapacitetima. Zbog toga dijelimo raspoložive kapacitete kolone 3 s odgovarajućim proizvodnim koeficijentima djelatnosti koju namjeravamo uključiti u plan (s negativnijim Z—C), a rezultate dijeljenja upisujemo u kolonu **R odnosno u kolonu za izbor izlazećeg reda**.

Dobiveni najmanji kvocijent kolone R pokazuje najveću mogućnost do koje djelatnost s najnegativnijim Z — C može ući u plan. Najmanji R označuje ujedno i red na čije mjesto ulazi izabrana djelatnost. Naravno da vrijednost u R redu izračunavamo samo za pozitivne proizvodne koeficijente, jer negativni i oni na nuli ne troše raspoložive kapacitete i prema tome ne ograničavaju mogućnost ulaska nove djelatnosti. U slučaju da su vrijednosti u koloni R jednake u 2 reda obično je svejedno koji ćemo red uzeti kao izlazeći red, pogotovo ako dobit poraste u slijedećoj tabeli. Inače postoji metod da se ta jednakost razbije.

Tabela br. 5 — Obradbene table

Cs		RASPOLOŽIVE DJELATNOSTI					
		Kapaciteti	Ha	Ukupno raspoloživa sredstva	Trakt. rad. dani sred. i laki tr. IX-X mjesec	Ljudski radni sati V mjesec	Ljudski radni sati IX-X mjesec
		3	4	5	7	6	8
0	Ha	1.326	0	0	0	0	0
0	Ukupno raspoloživa sredstva	229.119	0	1	0	0	0
0	Trakt. rad. dana sred. laki i teš. IX—X mjesec	12.464	1	0	1	0	0
0	Ljudski r. sati V mjesec	32.825	0	0	0	1	0
0	Ljudski r. sati IX—X mjesec	44.531	0	0	0	0	1
	Z	0	0	0	0	0	0
	Z — C	0	0	0	0	0	0
0	Ha	761,3174	0	0	0	—0,0172	0
0	Ukupno raspoloživa sredstva	99242,0020	0	1	0	—3,9560	0
0	Trakt. rad. dana sred. laki i teš. IX—X mjesec	5495,8167	0	0	1	—0,2122	0
1674	Suncokret	564,6826	1	0	0	0,0172	0
0	Ljudski r. sati IX—X mjesec	13.716,2705	0	0	0	—0,9386	1
	Z	46,119.886,6724	0	0	0	1404,7928	0
	Z — C	46,119.886,6724	0	0	0	1404,7928	0
0	Ha	273,8419	1	0	—0,0887	0,0016	0
0	Ukup. rasp. sredstva	24.453,8802	0	1	—13,6093	—1,0651	0
29.226	Pšenica	504,4764	0	0	0,0918	—0,0195	0
81.674	Suncokret	547,6817	0	0	—0,0031	0,0179	0
0	Ljud. r. sati IX—X mjesec	10.376,1323	0	0	—0,6078	—0,8095	1
	Z	59.475.182,4322	0	0	2429,7574	892,0576	0
	Z — C	59.475.182,4322		0	2429,7574	892,0576	0

maksimizirajuće simplex metode

29.226	34.166	69.550	81.674	R
STVARNE DJELATNOSTI				
Pšenica	Kukuruz	Šećerna repa	Suncokret	
9	10	11	12	13
1	1	1	1	1326,0000
156	168	154	230	996,1695
11,31	7,85	30,56	12,34	1010,0486
1,96	38,97	157,66	58,13	564,6826
8,46	71,29	167,26	54,57	816,0344
0	0	0	0	
-29.226	-34.166	-69.550	-81.674	
0,9663	0,3296	-1,7122	0	787,8685
148,2490	13,8080	-469,8060	0	669,4278
10,8941	-0,4227	-2,9085	0	504,4764
0,0337	0,6704	2,7122	1	16.756,1600
6,6210	34,7063	19,2552	0	2.071,6311
2752,4138	54.754,2496	221.916,2228	81.674,0000	
-26.473,5862	20.588,2496	151.966,2228	0	
0	0,3671	-1,4542	0	745,9599
0	19,5601	-430,2235	0	1.250,1919
1	0,0388	-0,2670	0	-13.001,9690
0	0,6717	2,7212	1	+ 815,3665
0	34,9632	21,0230	0	296,7729
29.226	53.726,4570	214.447,9468	81.674	
0	19.560,4570	144.897,9468	0	

4. faza — kad je pronađena kolona ulazne djelatnosti i izlazeći red izračunavaju se nove vrijednosti za sve redove svih kolona te se unašaju u novu tabelu.

U novoj tabeli ostaju iste vrijednosti u koloni 1 za sve redove prethodne tabele, izuzev red gdje smo kapacitete s najmanjim R zamijenili s ulaznom djelatnosti. U tom redu u koloni 1 ulazi vrijednost dobiti po jedinici kapaciteta ulazeće djelatnosti. Kod izračunavanja novih vrijednosti za novu tabelu najprije se prilazi izračunavanju vrijednosti za novi ulazeći red.

Izlazeći red i ulazeća kolona imaju uvijek jedan zajednički broj koji nazivamo »zglobnim koeficijentom«.

Vrijednost za nov ulazeći red dobivamo na taj način da sve vrijednosti izlazećeg reda dijelimo s tim »zglobnim koeficijentom«. Nazivi ušle djelatnosti i dobivene vrijednosti novog ulazećeg reda upisuju se u odgovarajuće kolone izlazećeg reda.

Navedeni postupak ćemo prikazati na primjeru izračunavanja druge tabele prvog programa.

U konkretnom primjeru izlazeći red s najmanjim R je red ograničenja ljudskih radnih sati u V mjesecu. Izlazeće kolone s najmanjim vrijednostima u Z — C redu je suncokret. Zajednički koeficijent »zglobni koeficijent« u konkretnom slučaju jeste 58.13.

Postupak izračunavanja vrijednosti izlazećeg reda po kolonama

Vrijednost u koloni	3	32.825	:	58,13	=	564,6826
„	„	4	0	:	58,13	= 0
„	„	5	0	:	58,13	= 0
„	„	6	0	:	58,13	= 9
„	„	7	1	:	58,13	= 0,0172
„	„	8	0	:	58,13	= 0
„	„	9	1,96	:	58,13	= 0,0337
„	„	10	38,97	:	58,13	= 0,6704
„	„	11	157,66	:	58,13	= 2,7122
„	„	12	58,13	:	58,13	= 1

Vrijednosti za ostale redove i kolone izračunavaju se posebno za svako mjesto.

Svaka dobivena vrijednost novog ulaznog reda nove tabele množi se s odgovarajućim brojem izlazećeg reda izlazeće kolone prethodne tabele te se njihov umnožak odbija od odgovarajuće vrijednosti reda i kolone u prethodnoj tabeli.

Izračunavanje svih vrijednosti prvog reda druge tabele prikazat ćemo na već navedenom primjeru prvog programa.

Ako je proizvodni koeficijent u kojem redu i koloni nula, onda se, naravno, taj red ne mijenja. Isto tako ako su brojevi u novom ulazećem redu u kojoj koloni nula nove vrijednosti u tim kolonama također ostaju jednake.

Postupak izračunavanja vrijednosti prvog reda po kolonama

vrijed. kol.	3	$564,6826 \times 1 = 564,6826$	$1326 - 564,6826 = 761,3174$
„ „	4	$0 \times 1 = 0$	$1 - 0 = 1$
„ „	5	$0 \times 1 = 0$	$0 - 0 = 0$
„ „	6	$0 \times 1 = 0$	$0 - 0 = 0$
„ „	7	$0,0172 \times 1 = 0,0172$	$0 - 0,0172 = -0,0172$
„ „	8	$0 \times 1 = 0$	$0 - 0 = 0$
„ „	9	$0,0337 \times 1 = 0,0337$	$1 - 0,0337 = 0,9663$
„ „	10	$0,6704 \times 1 = 0,6704$	$1 - 0,6704 = 0,3296$
„ „	11	$2,7122 \times 1 = 2,7122$	$1 - 2,7122 = -1,7122$
„ „	12	$1 \times 1 = 1$	$1 - 1 = 0$

Sa četvrtom fazom zapravo je završen ciklus operacija koji se nastavlja izračunavanjem reda Z zatim reda $Z - C$, kolone R i izračunavanjem novih vrijednosti za novu tabelu. Taj proces se ponavlja tako dugo dok u redu $Z - C$ nema negativnih vrijednosti, jer tada uvađanjem u plan ne može porasti dobit, te je nađeno optimalno rješenje uz zadovoljenje postavljenih zahtjeva. Iza svake nove tabele potrebno je da analiziramo da li plan može imati povoljniju soluciju, koju djelatnost treba unijeti u plan te do kojeg nivoa može porasti nova djelatnost. Kod obradbenih tabela može se ostaviti 1 kolona i jedan red za kontrolu izvršenih računskih operacija, jer o njihovoj tačnosti ovisi i rezultat.

Izračunavanje kontrolnog reda

Poznato je da se kod matematskih operacija dobije jednak rezultat ako seriju brojeva množimo s konstantom i onda iz zbrajamo ili ih zbrajamo pa onda množimo. To nam može koristiti i za kontrolu svih vrijednosti u redu i to tako da kontrolnu kolonu izračunavamo na dva načina, a rezultat nam mora biti jednak.

Prvi način

Zbrajamo sve vrijednosti u redu koji kontroliramo (kolonu 3 i proizv. koeficijente) do R (ne R). Sumu stavljamo u kontrolnu kolonu.

Kod početne tabele to je ujedno i jedini način za popunjavanje kontrolne kolone.

Na primjeru druge tabele prvog reda vrijednost kontrolne kolone dobivamo na slijedeći način:

Postupak izračunavanja kontrolne kolone prvog reda

Vrijednost prvog reda kolone	3	761,3174
„ „ „ „	4	1,0000
„ „ „ „	5	0
„ „ „ „	6	0
„ „ „ „	7	0,0172
„ „ „ „	8	0
„ „ „ „	9	0,9663
„ „ „ „	10	0,3296
„ „ „ „	11	-1,7122
„ „ „ „	12	+0
„ „ „ „	13	761,8839

dobivena vrijednost
kontrolne kolone

Drugi način

Broj u kontrolnoj koloni početne tabele tretiramo kao i svaku drugu vrijednost na tabeli i primjenjujemo postupak opisan u četvrtoj fazi. Takva kontrola se vrši za sve redove uključivši i **red C — Z**.

Ako nastaju male razlike u rezultatima dobivenim na dva opisana načina obično je bolje u daljem postupku koristiti rezultat dobiven zbrajanjem vrijednosti u kolonama.

Kontrola reda Z — C ili izračunavanje kontrolnog reda 1 — Σ

Kontrola reda Z — C vrši se izračunavanjem kontrolnog reda 1 — Σ na dva načina te ukoliko su rezultati jednaki red se može nastaviti.

1. Način izračunavanja reda 1 — Σ vrši se kao i kod izračunavanja kontrolne kolone. Zbrojimo jednostavno sve brojeve u svakoj koloni izuzev Z red i sumu odbijemo od 1.

Na primjeru druge tabele kontrolni red 1 — Σ za kolonu 3 izračunat je ovako:

Vrijednost reda Z — c	:	46,119.886,6724
” ” ljudski sati		
” ” IX i X mjesec	:	13.716,2705
” ” Suncokret	:	564,6826
” ” Trakt. rad. dani		
” ” sred. i laki i	:	5.495,8167
” ” teški IX — X mj.		
” ” Ukupno raspolo-		
” ” živa sredstva	:	99.242,0020
” ” tla	:	761.3174
” ” Ukupno =	—	46,239.666.7616
Vrijednost 1 — Σ =	=	46,239.665,7616

Drugi način izračunavanja reda 1 — Σ vrši se na isti način kako se formira svaki drugi red postupkom opisanim u četvrtoj fazi.

Ukoliko se rezultati obiju metoda poklapaju račun je dobro izveden.

Provjeravanje se može izvršiti i izračunavanjem duala na taj način da pomnožimo vrijednosti Z — C reda za raspoložive djelatnosti obradbene tabele s raspoloživim kapacitetima početne tabele. Suma tih umnožaka mora biti jednaka vrijednosti Z — C reda provjeravane kolone 3. Takvo provjeravanje je izvršeno za konačno rješenje prvog programa.

Iz datih podataka kod izračunavanja duala vidi se da postoje izvjesni problemi samog rada, jer se operacije u pravilu moraju vršiti na 5 decimala odnosno kod množenja dvaju brojeva određuje se 10 decimalnih mjesta što je često neizvedivo na običnim električnim strojevima. Izrađeni primjeri su zbog toga rađeni na 4 decimalna mjesta, te zbog toga u nekim kontrolama

Tabela br. 6 — Dual — konačnog, optimalnog rješenja na Poljoprivrednom dobru Tovarnik

	Količina ograničenje	Marginalna vrijednost Z — C reda	Vrijednost pojednog ograničenja
1. Traktorski radni dani sred. laki i teški IX—X mj.	12.464	2429,7574	30,284.496,2336
2. Ljudski sati V mjesec	32.825	892,0576	29,281.790,7200
Ukupno:			59,566.286,7253
— korektura			— 108.417,0875
Ukupno:			59,457.869,7213
			Razlika od 17.312,7069 je još uvijek usled pre-malog broja decimala.

imamo manja odstupanja. Najjednostavnija kontrola svakako se sastoji u tome da ukupna dobit u redu Z kolone 3 mora rasti uvrštenjem svake nove djelatnosti i izračunavanjem novih vrijednosti u svakoj novoj obradbenoj tabeli.

Provjeravanje konačnog rješenja

Djelatnosti koje su ušle u kolonu 3 pokazuju izvedljiv plan. Množenjem tih vrijednosti sa imput ifutput koeficijentima početne tabele dat će ukupno potrebu u kapacitetu koje ne smije biti veće od raspoloživih kapaciteta početne tabele. Množenjem vrijednosti iz kolone 3 sa dobiti po jedinici djelatnosti dobivamo ukupnu dobit gospodarstva. Taj postupak je dat za dobiveno rješenje prvog programa na tabeli br. 7.

Analiza dobivenog rješenja linearnim programiranjem

Od četiri predviđene kulture najveću dobit unutar postavljenih ograničenja dobro bi postiglo sjetvom od 505 ha pšenice i 548 ha suncokreta. Dobit bi u tom slučaju iznosila 59,475.000 dinara ili 44.852 dinara po ha oraničnih površina.

Za organizaciju pravilne plodosmjene ne bi ovakav odnos kultura predstavljao naročitu teškoću. Veći je problem da li je organizacija u stanju na tolikim površinama pod suncokretom postići dobit po ha od 81.674 dinara koju je postigla na analiziranih 263 ha u 1963. godini.

Sa stanovišta organizacije proizvodnje naročito je interesantna analiza usklađenosti pojedinih proizvodnih kapaciteta koje ćemo prikazati na tabeli br. 7.

Tabela br. 7 — Optimalno rješenje i analiza korištenja kapaciteta

	Kapaciteti	Pšenica	Kukuruz	Ukupno
ha	1.326	504	548	1.025
Ukupna raspoloživa sredstva	229.119	78.698	125.967	204.666
Traktor. radnih sati sred. laki i teški IX—X mjes.	12.464	5.706	6.758	12.464
Ljudski rad. sati V mjesec	32.825	989	31.837	32.826
Ljudski radni sati IX i X mjesec	44.531	4.268	29.897	34.165
D o b i t :		14,743.827	44,731.356	59,475.182

Dobiveno rješenje pokazuje da raspoloživi kapaciteti zemljišta, raspoloživa sredstva i ljudska radna snaga nisu u takvim odnosima da omogućavaju potpuno korištenje tih kapaciteta uz uvjete postizavanja najveće dobiti. Ljudski radni sati u V mjesecu i traktorski radni sati u IX i X mjesecu iskorišteni su u potpunosti. Iskorištena su gotovo sva ukupno raspoloživa sredstva, a neiskorišteno je ostalo i 274 ha zemljišta i oko 10.000 radnih sati ljudi u IX i X mjesecu.

Postoji mogućnost da se u okviru postojećih kapaciteta pronađu takva rješenja koja će omogućiti bolje korištenje kapaciteta, ali uz uvjet smanjenja dobiti.

Očito je, naime, da se unašanjem djelatnosti koje koriste iste kapacitete smanjuje učešće rentabilnijih kultura, a time se smanjuje i dobit poduzeća kao cjeline.

Z — C red realnih djelatnosti optimalnog rješenja pokazuju za koliko bi se dobit optimalnog rješenja smanjila unašanjem u program jedinica novozabrane djelatnosti. Naprotiv, marginalne vrijednosti raspoloživih djelatnosti u Z — C redu pokazuju mogućnost povećanja dobiti po jedinici djelatnosti, ukoliko bi se uklonila uska grla koja koče veće učešće tih djelatnosti u optimalni program. Prema tome, ako unašamo u program kukuruz za svaki ha kukuruza smanjit će se dobit za 19.560 dinara (vrijednost za kukuruz u Z — C redu), a unašanjem šećerne repe u program smanjila bi se dobit za svaki unešeni ha za 144.897 dinara. Zbog toga smo se odlučili na izradu alternacija s unošenjem kukuruza. Iz posljednje obradbene tabele se vidi da postoje tri mogućnosti za bolje korištenje postojećih kapaciteta.

Problem se, naime, može postaviti da se u potpunosti koriste površine, ili raspoloživa sredstva ili ljudski radni sati u IX i X mjesecu. Obzirom da su ljudski radni sati u IX i X mjesecu prvo ograničenje (vidi red R) izradili smo takvo rješenje koje u cijelosti koristi radne sate u IX i X mjesecu.

Novo rješenje dobivamo tako da za izlazni red uzimamo red onih kapaciteta koje želimo bolje koristiti, a za izlaznu kolonu djelatnost koja najmanje smanjuje dobit ili koja nam iz drugih razloga bolje odgovara. Nova izrađena matrica imat će u Z — C redu negativne vrijednosti u koloni raspoloživih djelatnosti onog ograničenja koje smo koristili. Dobiveno rješenje je usprkos tim negativnim vrijednostima konačno jer bi se unašanjem tih negativnih vrijednosti vratili na prethodnu tabelu. Postupak i novo rješenje vidimo na tabelama 8 i 9.

Tabela br. 8 — Rješenje sa unašanjem u program kukuruza uz uvjet potpunog korištenja radne snage u IX i X mjesecu na poljoprivrednom dobru Tovarnik

C		0	0	0	0	0	29.226	34.166	69.550	81.674		
		RASPOLOŽIVE DJELATNOSTI					STVARNE DJELATNOSTI					
Cs	Izvori	B	ha	Ukupno raspo- loživa sredstva	Traktor. rad. dani srednjih lakih i teških IX—X mjesec	Ljudski radni sati V mjesec	Ljudski radni sati IX—X mjesec	Pše- nica	Kuku- ruz	Šećerna repa	Sun- cokret	
												0
0	Ukupno ras- položiva	0	0	0	—	0,0101	-0,0105	0	0	—	1,6749	0
29.226	sredstva	18.648,9726	0	1	-13,2690	-0,6133	-0,5594	0	0	-441,9850	0	0
81.674	Pšenica	515,9912	0	0	0,0911	-0,0204	0,0011	1	0	—	0,2437	0
34.166	Suncokret	348,3393	0	0	0,0086	0,0334	-0,0192	0	0	—	2,3173	1
	Kukuruz	296,7729	0	0	-0,0174	-0,0231	0,0286	0	1	—	0,6013	0
	Z	53,670.165,7008	0	0	2770,3966	1342,4666	-558,8446	29.216	34.166	202.684,7998	81.674	0
	Z—C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela br. 9 — Rješenje s alternacijom ulaska kukuruza u program i potpunog korištenja radnih sati u IX i X mjesecu

	Kapaciteti	Pšenica	Suncokret	Kukuruz	Ukupno
Haktara	1.326	516	348	297	1.161
Ukupno raspoloživa sred.	229.119	80.495	80.118	49.858	210.471
Traktor. rad. dani sred. laki i teški IX i X mj.	12.464	5.836	4.299	2.330	12.464
Ljudski rad. sati V mj.	32.825	1.011	20.249	11.565	32.826
Ljudski r. s. IX i X mj.	44.531	4.305	19.009	21.157	44.531
Dobit:		1,580.359	28,450.264	10,139.543	53,670.166

Ulaskom kukuruza u kombinaciju proizvodnje do optimuma korištenja radne snage u IX i X mjesecu površine pod kukuruzom iznosile bi 297 ha. Ulaskom kukuruza u kombinaciju proizvodnje postiglo se nešto bolje korištenje površina, te je u toj kombinaciji ostalo neiskorišteno samo 165 ha. Poboljšalo se korištenje raspoloživih sredstava, dok su ostali kapaciteti korišteni, pa i radni sati, u IX i X mjesecu u potpunosti. Dobit poduzeća se smanjila za 5,800.000 dinara, odnosno po ha za 4.377 dinara. Sa stanovišta organizacije pravilne plodosmjene i ovo bi rješenje bilo također prihvatljivo i realno.

Pored mogućnosti da prilagođavamo organizaciju proizvodnje raspoloživim kapacitetima; postoji mogućnost da kapacitete prilagođavamo potrebama optimalnih rješenja. Analiza tabele br. 8 red Z—C, s optimalnim rješenjem, pokazuje da u koliko osiguramo više radne snage u V mjesecu svaki dodatni sat rada može povećati dobit za 892 dinara, odnosno svako povećanje radnih sati traktora u IX i X mjesecu može povećati dobit poduzeća za 2430 dinara. Očito je da bi se uklanjanjem uskih grla proizvodnje, mijenjala i rješenja, a postiglo i potpuno korištenje površina. Da bi se dobilo novo rješenje, potrebno je, međutim, postaviti nov program s povećanim kapacitetima, ukoliko je moguće njihovo povećanje. Naravno da se promjenama u tehnološkom procesu nabavom novih strojeva mogu smanjiti i potrebe pojedinih kultura npr. za radne dane u V mjesecu ili za traktore u IX i X mjesecu, te je i u tom pravcu također moguće intervenirati u cilju dobivanja optimalnih rješenja proizvodnje. Analiza dobivenih rješenja i mogućih alternacija, kao i analiza uskih grla, omogućuje da linearno programiranje ne koristimo samo kao sredstvo za izradu optimalnih kombinacija proizvodnje, već i kao metodu za analizu aktuelnih problema proizvodnje. Ono nam ukazuje na niz problema i kvantificira značaj pojedinih faktora koji koče bolje rezultate gospodarstva kao cjeline.

U daljnju interpretaciju podataka i izradu niza pokazatelja o naturalnom obimu, bruto produktu, dohotku, troškovima itd. koji se mogu izraditi na temelju dobivenih rješenja i podataka iz tabele br. 3, nećemo ulaziti, jer je taj postupak uobičajen i kod dosad upotrebljivanih metoda planiranja.