

VĚDECKÝ ČASOPIS



ZEMĚDĚLSKÁ EKONOMIKA

10

ROČNÍK 24 (LI)

PRAHA

ŘÍJEN

1978

CENA 10 KčS

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÁ

ÚSTAV VEDECKOTECHNICKÝCH INFORMACÍ

PRO ZEMĚDĚLSTVÍ

Vědecký časopis ZEMĚDĚLSKÁ EKONOMIKA

Redakční rada

Prof. ing. Karel Svoboda, CSc. (předseda), doc. ing. Milan Branický, CSc., ing. Emil Divila, CSc., prof. dr. ing. Alois Grolig, DrSc., ing. Zdeněk Hoffmann, CSc., doc. ing. Dimitrij Choma, CSc., prof. Jaroslav Kabrhel, ing. Jaroslav Korbini, CSc., ing. Jaroslav Kunc, CSc., prof. ing. Jaroslav Pič, CSc.

Za vedení časopisu odpovídá prof. ing. Karel Svoboda, CSc.

Redaktorka ing. Hedvika Malíková

© Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha 1978

■
Vědecký časopis ZEMĚDĚLSKÁ EKONOMIKA uveřejňuje studie, rozbor a vědecká pojednání o vyřešených úkolech výzkumu v oboru ekonomiky zemědělství a potravinářského průmyslu. Vydává Československá akademie zemědělská — Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Vychází měsíčně. Redakce: 120 56 Praha 2, Slezská 7, telefon 257541, 254451. Celoroční předplatné Kčs 120,—.

■
Научный журнал ЗЕМЕДЕЛЬСКАЯ ЭКОНОМИКА публикует обзоры, анализы и научные статьи о решенных заданиях по научному исследованию в области экономики сельского хозяйства. Издаёт Чехословацкая сельскохозяйственная академия — Институт научно-технической информации по сельскому хозяйству. Выход в свет ежемесячно. Редакция 120 56 Прага 2, Слезска 7.

■
The scientific journal ZEMĚDĚLSKÁ EKONOMIKA published studies, analyses and scientific treatises about the solved research tasks in the sphere of the agricultural economics. Published by the Czechoslovak Academy of Agriculture — the Institute of Scientific and Technical Information for Agriculture. Issued monthly. Editorial office 120 56 Prague 2, Slezská 2.

■
Die wissenschaftliche Zeitschrift ZEMĚDĚLSKÁ EKONOMIKA veröffentlicht Studien, Analysen und wissenschaftliche Abhandlungen über die gelösten Forschungsaufgaben auf dem Gebiete der Ökonomik. Herausgegeben von der Tschechoslowakischen landwirtschaftlichen Akademie — Institut für wissenschaftlich-technische Information der Landwirtschaft. Erscheint monatlich. Redaktion 120 56 Prag 2, Slezská 7.

K PROBLEMATICE DOPRAVY V ZEMĚDĚLSTVÍ

Spolu s probíhající intenzifikací zemědělské výroby a s jejím zprůmyslením na základě urychleného zavádění výsledků vědeckotechnického pokroku včetně koncentrace a specializace výroby v zemědělských podnicích rostou stále více nároky na dopravu a manipulaci s materiálem a výrobky v celém čs. zemědělství.

Zatímco na jedné straně narůstá množství manipulovaných a přepravovaných hmot, rostou přepravní vzdálenosti a zkracují se termíny, v nichž je nutno přepravu i manipulaci provést, je na druhé straně současný stav v této oblasti charakterizován vysokou spotřebou živé práce, vysokými dopravními náklady, ze značné části nevyhovujícím dopravním parkem a nekompletností i nízkým využitím dopravních a manipulačních linek.

Ukazuje se zároveň, že i řízení a organizace dopravy v zemědělských podnicích svou současnou úroveň neodpovídá potřebám dalšího rozvoje zemědělské výroby. Všechny tyto i další skutečnosti vyžadují, jak bylo zdůrazněno na říjnovém zasedání pléna ÚV KSČ v roce 1975 „...zásadní a energické řešení problému dopravy a manipulace s materiálem a výrobky v zemědělství i potravinářském průmyslu...“ (Rudé právo 8. 10. 1975).

Je zřejmé, že zde nemůže jít o dílčí a jednolitá řešení, nýbrž o komplex opatření jak pokud jde o novou vysoce výkonnou a kompletní dopravní a manipulační techniku, tak pokud jde o soubor opatření řešících nové pracovní postupy a dopravní systémy i nové metody a způsoby řízení a organizace dopravy, využívající ekonomicko-matematických metod a moderní výpočetní techniku.

Vzhledem k vysoce aktuálnímu problému dopravy a manipulace materiálem a výrobky v zemědělství, který by se mohl při nekomplexním řešení stát limitujícím činitelem dalšího efektivního rozvoje celého zemědělství, rozhodla se redakční rada časopisu „Zemědělská ekonomika“ věnovat těmto otázkám zvýšenou pozornost publikováním výsledků výzkumu a studií různých pracovišť a pracovníků. Z těchto důvodů je předkládáno i toto monotematické číslo. Je pochopitelné, že s ohledem na zaměření našeho časopisu lze v něm publikovat jen příspěvky, které ke komplexnímu řešení tohoto problému mohou přispět především z hlediska zavádění nových metod a způsobů organizace a řízení dopravních systémů i dopravy, včetně využívání ekonomicko-matematických metod a výpočetní techniky, a které jsou výsledkem vědeckého výzkumu a studií na straně jedné a zobecněním progresivních zkušeností zemědělské praxe v této oblasti na straně druhé.

Uveřejněním tohoto monotematického čísla, v němž jsou problémy zemědělské dopravy a manipulace s materiálem naznačeny příp. řešeny z různých ekonomických aspektů, chce redakční rada zároveň vyvolat u pracovníků zemědělského výzkumu i praxe zvýšený zájem jak o další řešení této problematiky, tak i o publikování výsledků jejich činnosti v této oblasti v časopise „Zemědělská ekonomika“.

Prof. ing. Karel Svoboda, CSc., předseda redakční rady

Manipulace s materiálem a jeho doprava jsou nedílnou součástí každé materiální výroby. Vzhledem k plošnému charakteru výrobního procesu v zemědělství má způsob řešení manipulace a dopravy podstatný vliv na produktivitu práce, výši výrobních nákladů a ekonomiku celé zemědělské výroby.

Další vývoj zemědělství, nezbytný k zajištění rozvoje celé společnosti, je podstatně závislý na technicko-organizační přestavbě výrobní základny. Vytváření velkých hospodářských celků, odvětvové řízení výroby, kooperační a integrační vazby jak ve vlastním zemědělství, tak i mezi zemědělstvím a ostatními odvětvími národního hospodářství, dodávky moderní výkonné techniky do zemědělství, výstavba nových objektů živočišné výroby, velkokapacitních skladů apod. na straně jedné a neustálý pokles počtu pracovníků v zemědělství a obecná tendence růstu výnosů pěstovaných plodin a zvyšování užitkovosti hospodářských zvířat na straně druhé vytváří podmínky, které vyžadují zcela nové přístupy k řešení dopravy a manipulace s materiálem v zemědělství.

V zemědělství se dosud centrálně nesleduje závodová doprava a manipulace s materiálem a tak odhady množství materiálu přepraveného v zemědělství i ostatní údaje charakterizující dopravu a manipulaci s materiálem vycházejí obvykle ze základních, statisticky sledovaných hodnot, jako např. množství vyprodukovaného, vykoupeného a nakoupeného materiálu apod. Pro řešení dopravních problémů, koncepční a plánovací práce v oblasti dopravy, projektování dopravních systémů a řízení dopravy jak v mikrosféře zemědělského podniku, tak i v makrosféře celého zemědělství jsou tyto údaje nedostačující.

Proto byly Výzkumným ústavem zemědělské techniky v Praze ve spolupráci s Výpočetním střediskem OP Státních statků Tachov podrobně sledovány ve vybraných zemědělských podnicích z různých výrobních oblastí dopravní a manipulační práce a pomocí výpočetní techniky analyzovány. Sledování provedené dvakrát s odstupem 10 let (v letech 1963 až 1964 a 1973 až 1975) umožnilo získat nejen údaje charakterizující dopravu v zemědělství, ale i postihnout vliv rozvoje zemědělské výroby na dopravní operace a zjistit podklady pro stanovení obecných tendencí vývoje zemědělské dopravy.

METODIKA

Cíl, tj. získání podrobných údajů charakterizujících zemědělskou dopravu, mohl splnit jen soubor komplexních informací, zahrnující informace o požadavcích na dopravu, o dopravovaném a manipulovaném materiálu, o technickém zabezpečení dopravních prací, o využití manipulační a dopravní techniky, o potřebě lidské práce a o nákladech vynaložených na dopravu a manipulaci s materiálem.

Základním zdrojem informací byly prvotní doklady zemědělského podniku, doplněné o zvlášť sledované údaje tak, aby bylo možno analyzovat dopravu v zemědělství z hlediska:

- struktury dopravovaných materiálů,
- struktury dopravního parku a jeho využití,
- struktury dopravních proudů,
- způsobu řešení ložných operací,
- sezónnosti dopravy,
- výše přímých nákladů a spotřeby živé práce, vynaložených na dopravu a manipulaci.

Pro podrobné sledování dopravních a manipulačních prací bylo vybráno 10 zemědělských podniků, charakterizujících jednotlivé výrobní oblasti (státní statky Vysoké n. Jiz., Kladruby u Stříbra, Bor, Chrástany, Prostějov, Bobrovec; JZD Staré Město, Polešovice, Horal, Čestím), a podnik služeb s dopravními středisky (Agroservis Tachov). Více jak půl miliónu zápisů o provedených dopravních a manipulačních operacích v průběhu pěti let, spolu se základními údaji zjištěnými v šesti jiných zemědělských podnicích (OP Státní statky Tachov, Státní statek Dobříš; JZD Gottwaldov, Louňovice, Sobotka, Oleška) a statistickými údaji uváděnými Federálním statistickým úřadem a ministerstvy zemědělství a výživy, umožnily zobecnit získané údaje a ověřit jejich platnost.

ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Zatímco se v letech 1963 až 1964 dopravilo v zemědělství v průměru všech výrobních oblastí za rok 41,1 t nejrůznějších materiálů na hektar zemědělské půdy (všechny údaje v dopravovaném množství dále uváděné zahrnují i dopravu ve skladech a objektech živočišné výroby), vzrostlo toto množství za 10 let o 82 % a je v současné době 74,8 t.

Ročně se přepraví a zmanipuluje v zemědělství více jak 522 mil. tun materiálu. Na tomto množství se kukuřičná oblast podílí 17,2 %, řepařská 42,0 %, bramborářská 35,2 % a horská 5,6 %.

Objemem dopravy již překonalo zemědělství tradiční dopravce — železniční dopravu (ČSD) a veřejnou silniční dopravu (ČSAD). ČSD přepraví ročně přes 275 mil. tun materiálu a ČSAD téměř 320 mil. tun.

Základního materiálu, který se účastní výrobního procesu v zemědělství, tj. materiálu v zemědělství vyprodukovaného nebo pro zemědělství nakoupeného, je ročně asi 238 mil. tun. Tento materiál se v průběhu výroby průměrně 2,2krát přepravuje, skladuje, vyskladňuje nebo se s ním jinak manipuluje.

Na hektar zemědělské půdy se za rok vyprodukuje nebo nakupuje v průměru 34 t materiálu. V kukuřičné oblasti je to cca 34 t, v řepařské 50 t, v bramborářské 25 t a v horské 15 t na hektar zemědělské půdy.

Na dopravní a manipulační práce se věnuje 60 % z celkové pracovní doby odpracované v zemědělství manuálními pracovníky a 288 mil. hodin práce strojů (41,2 h na 1 ha zemědělské půdy).

Dopravní prostředky ujedou za rok téměř 245 km na hektar zemědělské půdy, což představuje 1712,5 mil. km, a vykonají 30,6 jízdy na hektar zemědělské půdy. Ročně uskuteční dopravní prostředky 213,9 mil. dopravních cyklů při průměrné přepravní vzdálenosti 8 km.

Manipulace s materiálem a jeho doprava stojí ročně zemědělské podniky 15 až 18 miliard Kčs, to je 2140 Kčs až 2570 Kčs na 1 ha zemědělské půdy. Náklady na manipulaci tvoří 22 až 26 % celkových nákladů na zemědělskou výrobu a 50 až 60 % z pracovních nákladů a nákladů na mechanizaci.

I. Hlavní skupiny zemědělských materiálů a jejich podíl na dopravě

Skupina materiálů	Podíl na celkovém		
	množství dopraveného materiálu	počtu hodin nasazení dopravní a manipulační linky	počtu hodin živé práce odpracované v dopravě
	%	%	%
Objemné hmoty (suché, zavadlé, čerstvé)	39	46	60
Zrniny, krmné směsi	7	11	11
Okopaniny	3	2,5	1
Chlévská mrva, komposty, zemina	32	20	17
Průmyslová hnojiva	2	1,5	1,5
Tekutiny	8	6	4
Ostatní materiály (doprava osob, zvířat, ovoce, zeleniny, stavebnin, strojů apod.)	9	13	5,5
Celkem	100	100	100

STRUKTURA PŘEPRAVOVANÝCH MATERIÁLŮ

V zemědělství se dopravuje 200 až 300 druhů materiálů. Tyto materiály mají nejrozličnější fyzikálně mechanické vlastnosti, které ovlivňují manipulační proces. Závažná část materiálů je biologicky činná, zvláštní požadavky na dopravu kladou zvířata. Ve stále probíhajícím procesu koncentrace a specializace zemědělské výroby nabývá na významu i doprava osob.

Vedle skupenství materiálu ovlivňuje volbu technických prostředků

pro dopravu a manipulaci s materiálem především jeho objemová hmotnost. Charakteristické vlastnosti materiálu vzhledem k manipulaci a dopravě a jeho objemová hmotnost jsou kritéria pro rozdělení materiálů do skupin. V tab. I jsou uvedeny základní skupiny materiálů spolu s určením jejich podílu na celkovém množství dopraveného materiálu, počtu hodin nasazení techniky a práce lidí v dopravě a manipulaci.

STRUKTURA DOPRAVNÍCH A MANIPULAČNÍCH PROSTŘEDKŮ A JEJICH VYUŽITÍ

Vzhledem k rozsáhlému sortimentu materiálů, které se v zemědělství dopravují nebo se s nimi manipuluje, a vzhledem k specifickým nárokům zemědělské výroby je soubor strojů a zařízení, které dopravní a manipulační práce zabezpečují, rozsáhlý. Vědeckotechnická revoluce se promítá do oblasti zemědělské dopravní techniky vývojem a výrobou výkonných, ale nákladných dopravních a manipulačních prostředků. Jejich účelné využití je nezbytné pro hospodárné zvládnutí dopravních úkolů. Optimální využití dopravních prostředků, vedoucí k minimalizaci nákladů na dopravu, potřeby pracovních sil, spotřeby pohonných hmot a materiálu, je podmíněno vysokou úrovní řízení a plánování. Jednou z důležitých informací, která vstupuje jako základní údaj do procesu řízení a plánování, je informace o podílu manipulačních a dopravních prostředků na splnění dopravních úkolů v zemědělství. Se současným stavem seznamuje tab. II.

Zajímavé jsou i údaje o podílu jízd jednotlivých skupin dopravních prostředků v terénu a na málo únosných vozovkách (tab. III). Tyto údaje jsou významné zejména pro volbu technického řešení dopravních prostředků i plánování jejich využití.

Pro posouzení, jak se využívá užité hmotnosti dopravních prostředků, je výchozím údajem hmotnost nákladu. O průměrné hmotnosti nákladu u skupin dopravních prostředků tak, jak byly zjištěny v letech 1973 až 1975, informuje tab. IV.

Údaje o průměrných výkonnostech v čase T_{07} , dosahovaných v nakládce, přepravě a vykládce ve sledovaných zemědělských podnicích a podnicích služeb, uvádí tab. V.

STRUKTURA DOPRAVNÍCH PROUDŮ

Jednou z charakteristických vlastností zemědělské dopravy je její plošný charakter. Různorodé dopravní podmínky často závislé na počasí a nutnost uskutečnit některé práce za každých podmínek, zejména práce spojené se zabezpečením živočišné výroby, odlišují dopravu v zemědělství od veřejné silniční dopravy i dopravy v jiných odvětvích národního hospodářství.

Znalost podmínek, ve kterých dopravní proces probíhá, kde je jeho těžiště, které úseky je třeba přednostně řešit pro jejich závažnost, vysokou potřebu živé práce a nákladů, to vše je nezbytné pro plánování dopravy jak v zemědělském podniku, tak v rámci celého zemědělství.

II. Hlavní skupiny manipulačních a dopravních prostředků a jejich podíl na dopravě v zemědělství

Skupina manipulačních a dopravních prostředků	Podíl na celkovém		
	množství dopraveného materiálu a osob (10 osob = 1 t)	počtu hodin nasazení dopr. a manipulační techniky	počtu ujetých kilometrů v dopravě
	%	%	%
Osobní a dodávkové automobily a autobusy	2	5	19
Nákladní automobily	18	10	27
Manipulační prostředky (dopravníky, vysoko zdvižné vozíky apod.) a potahy	23	45	1
Traktorové dopravní soupravy	57	40	53
Celkem	100	100	100

III. Podíl vzdálenosti ujeté v terénu na celkové vzdálenosti ujeté jednotlivými skupinami dopravních prostředků

Skupina dopravních prostředků	Podíl vzdálenosti ujeté v terénu v %
Osobní a dodávkové automobily	7
Nákladní automobily: valníky	4
sklápěče	11
Speciální nákladní auto- mobily, samojízdné do- pravní prostředky	36
Traktorové dopravní soupravy	38
Potahy	14

IV. Průměrná hmotnost nákladu u skupin dopravních prostředků

Skupina dopravních prostředků	Průměrná hmotnost nákladu v t
Osobní a dodávkové automobily	0,3
Nákladní automobily: valníky	3,0
sklápěče	5,4
Speciální nákladní automobily	2,6
Traktorové dopravní soupravy	3,4

Územní a organizační členění dopravy a jeho rozbor z hlediska pře-
vezeného množství materiálu, ujeté vzdálenosti, doby nasazení dopravní
techniky a spotřeby práce lidí je uveden v tab. VI.

V. Průměrné výkonnosti (v čase T_{07}) při nakládání, přepravě a vykládání, dosahované ve sledovaných zemědělských podnicích a podnicích služeb

Dopravní operace	Výkonnost v t za h u podniků	
	zemědělských	služeb
Nakládání	4,7	12,3
Přeprava	4,0	7,2
Vykládání	10,3	15,6

VI. Územní a organizační členění dopravy v zemědělství

Oblast dopravy	Podíl na celkovém			
	množství dopraveného materiálu	počtu ujetých kilometrů v dopravě	počtu hodin nasazení dopravní a manipulač. techniky	počtu hodin živé práce odpracované v dopravě
	%	%	%	%
V rámci základní výrobní jednotky (střediska)	58,0	40,0	68,1	83,0
V rámci podniku mezi středisky	25,0	27,4	16,0	6,6
Mezi zemědělskými podniky	1,2	8,8	2,4	1,4
Odbyt ve vlastní režii	1,8	2,5	1,5	0,4
Zásobování podniku (vlastními dopravními prostředky)	2,5	9,7	2,8	1,3
Doprava pro cizí včetně odbytu	8,4	10,2	6,7	0,4
Bližší neurčeno	3,1	1,4	2,5	6,9
Celkem	100,0	100,0	100,0	100,0

Dopravní proud je určen výchozím a konečným místem dopravního cyklu. Jsou-li těmito místy:

- pole (louka),
- sklad na poli,
- sklad v zemědělském podniku,
- objekt živočišné výroby,
- společné zařízení zemědělských podniků,
- odběratelé, zásobitelé,

pak nejvýraznějšími dopravními proudy jsou:

pole — sklad zemědělského podniku (příp. objekt živočišné výroby), který se podílí 30 % na celkovém přepraveném a manipulovaném množství materiálu;

sklad zemědělského podniku (objekt v živočišné výrobě) — pole, který se podílí 24 %.

SEZÓNNOST DOPRAVY

Proti jiným odvětvím národního hospodářství má doprava v zemědělství výrazně sezónní charakter. Sezónnost dopravních prací v zemědělství je jevem trvalým, daným zvláštnostmi zemědělské výroby. Zkracováním doby sklizňových prací se zkracují i termíny, ve kterých se sklizený materiál musí dopravit. Dopravní špičky se zvětšují. Vhodnými organizačními opatřeními (např. volbou vhodné skladby plodin a jejich odrůd) lze sice tuto tendenci omezit, ale není možno vyrovnat požadavky na dopravu rovnoměrně do průběhu celého roku.

Pro optimální volbu dopravního parku, zejména počtu vozidel jednotlivých typů, je třeba mít dostatek informací o požadavcích na dopravu v průběhu roku. Informace získané z výrobního plánu je nutno konfrontovat se skutečností, s údaji zjištěnými při sledování dopravních prací. To je pak důležitým podkladem pro koncepční a plánovací práce pro další časová období. Jde především o zdůvodněné stanovení množství materiálu a termínů, ve kterých je nutno tento materiál dopravit.

Požadavky na dopravu v průběhu roku jsou podstatně závislé na výrobním zaměření zemědělského podniku.

Sezónnost zemědělské dopravy v souhrnu všech výrobních oblastí charakterizuje obr. 1. Pro jednotlivé výrobní oblasti, zemědělské podniky nebo určitý materiál jsou dopravní špičky výraznější.

Příkladem je průběh dopravy objemných hmot na obr. 2.

ZPŮSOB ŘEŠENÍ LOŽNÝCH OPERACÍ

Ložné operace, zejména nakládka, podstatně ovlivňují výkonnost dopravních prostředků a ekonomiku dopravních prací. Zatím stále patří k operacím, které jsou nedostatečně mechanizovány, nebo zařízení pro ložné operace nepracují s dostatečnou výkonností.

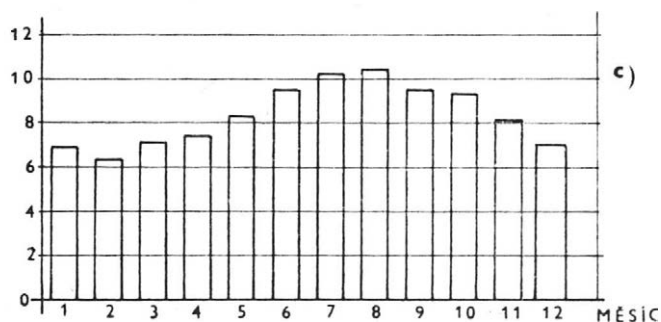
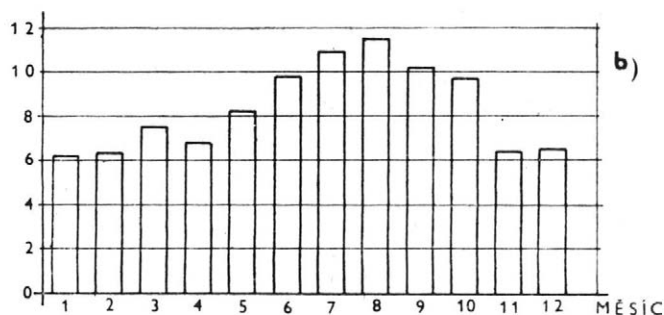
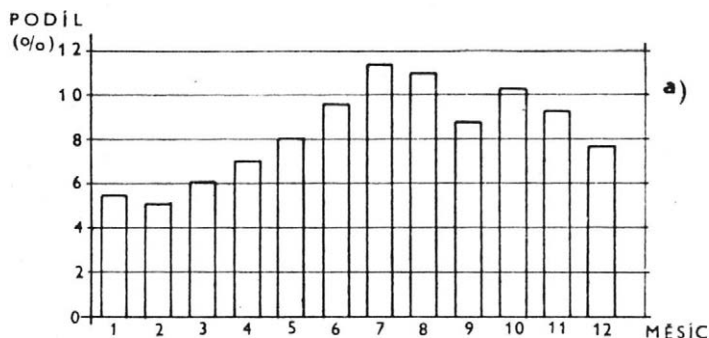
Znalost skutečného stavu v mechanizaci nakládky a vykládky, poznání nedostatečně řešených ložných operací v materiálových tocích ať již z hlediska technického vybavení, organizace práce, ale především z hlediska nákladů a potřeby živé práce, vynaložených na tyto operace, má význam zejména pro přijetí účinných racionalizačních opatření v této oblasti.

Rozdělíme-li dopravní cyklus na nakládku, jízdu, vykládku a ztrátové časy, pak ložné operace tvoří 58 % z doby cyklu, jízda 40 % a 2 % ztrátové časy.

Základní způsoby řešení nakládky a podíly těchto způsobů na celkovém naloženém množství materiálu, spotřebě živé práce a mzdových nákladech vynaložených na nakládku uvádí tab. VII.

NÁKLADY A SPOTŘEBA ŽIVÉ PRÁCE VYNALOŽENÉ NA DOPRAVU A MANIPULACI

Výše nákladů a spotřeba živé práce na manipulaci a dopravu jak celkově, tak i ve svých měrných ukazatelích ($\text{Kčs} \cdot \text{t}^{-1}$, $\text{Kčs} \cdot \text{km}^{-1}$, $\text{Kčs} \cdot \text{tkm}^{-1}$) jsou vedle výkonnostních parametrů základním hlediskem pro posouzení vhodnosti způsobu řešení dopravy.



1. Podíl jednotlivých měsíců na: a) přepraveném množství, b) nasazení dopravní techniky, c) spotřebě živé práce na dopravu a manipulaci

Průměrné měrné náklady, tj. náklady na dopravu tuny materiálu v průběhu celého materiálového toku od sklizně (nákupu) po užití (včetně manipulace uvnitř skladovacích prostorů a objektů živočišné výroby), byly v souhrnu všech sledovaných podniků 40 Kčs.

Výše měrných nákladů vynaložených na dopravu jednotlivých druhů materiálů (tab. VIII) se od sebe značně liší. Tato skutečnost je způsobena především různými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi materiálů, různými

VII. Základní způsoby řešení nakládky v dopravním cyklu a jejich podíl na naloženém množství materiálu, spotřebě práce a mzdových nákladech vynaložených na nakládání (stav z r.1973—1974)

Způsob nakládky	Podíl na		
	množství naloženého materiálu	celkové spotřebě živé práce na nakládání	mzdových nákladech na nakládání
	%	%	%
Ručně	30,1	71,7	84,8
Násypkou	4,4	1,5	1,0
Pneumaticky čerpadlem	8,0	2,6	1,9
Mechanickým dopravníkem	6,2	2,9	1,5
Bagrem	1,3	0,2	0,1
Traktorovým nakladačem	28,0	11,5	5,2
Sklizňovými stroji	21,9	9,5	5,4
Jiné způsoby	0,1	0,1	0,1
Celkem	100,0	100,0	100,0

VIII. Měrné náklady na dopravu a manipulaci hlavních materiálů (průměrné hodnoty ze všech sledovaných podniků v letech 1973—1974)

Materiál	Měrné náklady v Kčs . t ⁻¹
Osoby (10 osob = 1 t)	136,8
Zrniny, krmné směsi	63,0
Z toho např. krmné směsi obilí při sklizni	114,1 10,4
Okopaniny	16,6
Objemné hmoty suché (seno, sláma)	139,7
Objemná krmiva (kromě sena)	40,1
Kapaliny (při dopravě kolovými dopravními prostředky)	14,9
Zvířata	48,0
Chlévský hnůj, zeminy	22,0
Průmyslová hnojiva	17,6
Kovy, stroje, konstrukce	69,2
Stavebniny, paliva	26,7

ným stupněm mechanizace dopravních a manipulačních prací u jednotlivých materiálů, způsobem jejich použití a podmínkami, ve kterých doprava a manipulace probíhají.

Tyto faktory ovlivňují i potřebu živé práce na manipulaci a dopravu. Průměrná potřeba živé práce na dopravu a manipulaci 1 t materiálu je 3,2 h. U jednotlivých materiálů je tato potřeba (měrná potřeba živé práce) také velice rozdílná, jak ukazuje tab. IX.

IX. Měrná potřeba živé práce na dopravu a manipulaci některých materiálů (průměrné hodnoty ze všech sledovaných podniků v letech 1973 až 1974)

Materiál	Potřeba živé práce v h . t ⁻¹
Zrniny, krmné směsi	3,5
Objemné hmoty suché (seno, sláma)	9,3
Objemná krmiva (kromě sena)	2,5
Kapaliny (při dopravě kolovými dopravními prostředky)	0,4
Zvířata	1,9
Chlévský hnůj, zeminy	1,5
Kovy, stroje, konstrukce	2,2

DISKUSE K ANALÝZE SOUČASNÉHO STAVU

Současný stav manipulace a dopravy v zemědělství je charakteristický velkou potřebou živé práce, vysokými náklady, z velké části zastaralým a nevhodným dopravním parkem, nekompletností dopravních a manipulačních linek a nízkým stupněm využití dopravní manipulační techniky.

Obecně je možno uvést, že materiály dopravované v zemědělství se liší od materiálů dopravovaných v jiných odvětvích národního hospodářství především nižší objemovou hmotností. Tomuto faktu musí být přizpůsobena i konstrukce zemědělských dopravních prostředků.

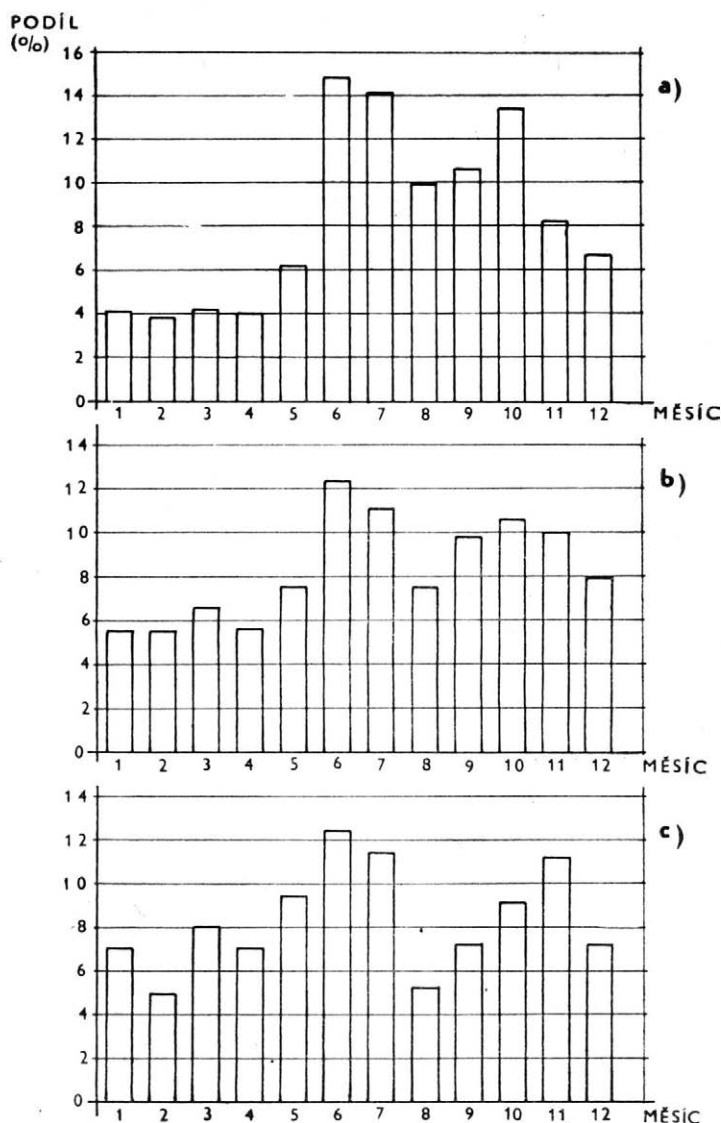
Objemných materiálů (do objemové hmotnosti 400 kg . m⁻³), které tvoří největší skupinu z materiálů dopravovaných v zemědělství, se ročně dopraví a zmanipuluje téměř 100 mil. tun. Přitom právě tyto materiály jsou nejnáročnější na spotřebu živé i strojové práce. Ročně je k dopravě a manipulaci těchto hmot zapotřebí 95 mil. hodin práce strojů a 645 mil. hodin živé práce. Dopravou a manipulací s objemnými hmotami se zabývá 30 % osob pracujících v zemědělství.

Přibližně stejné množství jako objemných hmot se dopraví i chlévského hnoje. Zatímco doprava a manipulace objemných hmot patří k nejnákladnějším dopravním a manipulačním operacím, je doprava chlévského hnoje relativně méně nákladná (přibližně 50 % průměrných měrných nákladů na dopravu a manipulaci).

Z celkového množství dopravovaného a manipulovaného materiálu tvoří objemné hmoty a chlévský hnůj více jak 70 %. Z ostatních materiálů

jsou rozhodující z hlediska dopravy a manipulace zrniny a okopaniny, které se podílejí na celkovém dopraveném množství 10 % a kapaliny 8 %.

Dopravní park zemědělských podniků tvoří v současné době především traktorové dopravní soupravy, jejichž průměrná užitečná hmotnost ne-



2. Podíl jednotlivých měsíců na dopravě objemných hmot:
a) přepravené množství,
b) nasazení dopravní techniky, c) spotřeba živé práce na dopravu a manipulaci

přesahuje 5 t. V celostátním měřítku je to 230 tisíc traktorových přívěsů a návěsů různých typů a provedení. Není neobvyklé, že zemědělský podnik má 20 různých typů traktorových dopravních prostředků. Nízká užitečná hmotnost a roztržštěný sortiment neumožňují efektivně splnit dané přepravní úkoly.

Automobilová doprava zabezpečuje asi 30 % přepravy uskutečňované kolovými dopravními prostředky. Jak tento podíl, tak i typy nákladních automobilů, které má zemědělství k dispozici, jsou neuspokojivé.

Ze zařízení pro ložné operace a manipulaci s materiálem chybí především dostatečné množství výkonných nakladačů. Citelný je i nedostatek zařízení pro uskladňování a vyskladňování materiálu ze skladů, především objemných hmot. Nedostatek těchto zařízení se projevuje ve zvýšené potřebě živé práce a ve vysokých nákladech na tyto operace.

Převážná část materiálu se pohybuje v rámci základní výrobní jednotky (téměř 60 %). I přes postupující koncentraci výroby v zemědělství nevzrostla průměrná přepravní vzdálenost v posledních 10 letech více jak dvojnásobně a je podle údajů získaných ve sledovaných zemědělských podnicích v základní výrobní jednotce 2,5 km, mezi středisky jednoho podniku 5 km, mezi zemědělskými podniky 13 km, při odbytu výrobků 15 km a při zásobování 27 km.

Dopravní výkonnosti dosahované traktorovými dopravními soupravami a současnou automobilovou technikou jsou nízké. To je způsobeno jak malou užitečnou hmotností dopravních prostředků, tak i značnými prostoji při ložných operacích (58 % z doby dopravního cyklu), zaviněných jak nedostatečnou výkonností zařízení pro tyto operace, tak i nedostatky v organizaci práce.

Nekomplexnost dopravních linek spolu s důvody uvedenými v předchozím odstavci jsou příčinami vysokých nákladů a velké potřeby živé práce na dopravu a manipulaci.

Analýza dopravy a manipulace s materiálem, provedená na základě podrobného sledování dopravy a manipulace ve vybraných zemědělských podnicích, umožnila získat podklady pro koncepční, prognostické a plánovací práce v oblasti zemědělské dopravy. Zkušenosti při tom získané byly uplatněny při vypracování metodiky automatizovaného informačního systému — subsystému doprava.

PERSPEKTIVY MANIPULACE A DOPRAVY V ČESKOSLOVENSKÉM ZEMĚDĚLSTVÍ

Vývoj zemědělské výroby klade stále vyšší požadavky na dopravu v zemědělství. Vzrůstá množství materiálu, který je třeba dopravit, narůstají přepravní vzdálenosti, zkracují se termíny, ve kterých je nutno dopravní nebo manipulační operace provést a přitom se snižuje počet pracovníků, kteří mohou být vyčleněni pro dopravu a manipulaci.

Aby se nestala doprava v zemědělství limitujícím činitelem dalšího rozvoje zemědělství, je nezbytné přistoupit k důsledné racionalizaci materiálových toků tak, aby bylo dosaženo:

- růstu výkonnosti dopravních a manipulačních linek,
- růstu produktivity práce,
- snížení měrných nákladů na dopravu a manipulaci,
- snížení spotřeby energie a materiálu připadajících na jednotku dopraveného množství.

To mohou splnit racionalizační opatření, založená na uplatnění:

- nové dopravní a manipulační techniky,
- nových pracovních postupů a dopravních systémů,
- nových organizačních opatření a způsobu řízení dopravy.

Zavedení nové dopravní a manipulační techniky předpokládá její účelné využití v oblastech, pro které je určena. Jde především o přechod z traktorové na automobilní dopravní techniku. V současné době, jak bylo již dříve uvedeno, zajišťuje automobilní technika přepravu 30 % materiálu.



3. Zemědělský nákladní automobil Tatra 815 Agro s výměnnými nástavbami (sklápeč s objemovou nástavbou, rozmetadlo chlévského hnoje)

Předpokládá se, že v období po roce 1985 by měl tento podíl stoupnout alespoň na 70 %. Československé zemědělství by mělo být postupně vybavováno zemědělskými nákladními automobily s účelovými nástavbami (sklápeč s objemovou nástavbou, fekální cisterna, rozmetadlo hnoje, rozmetadlo tuhých průmyslových hnojiv, cisterna na vápno, přepravník jadrných krmiv a krmných směsí) o užitečné hmotnosti 10–12 t (obr. 3) a návěsovémi tahači se sedlovými návěsy, doplněnými účelovými nástavbami (sklápeč s objemovou nástavbou, fekální cisterna, cisterna na čpavek, vysokozdvizný přepravník průmyslových hnojiv, valník s objemovou nástavbou a podlahovým dopravníkem, přepravník jadrných krmiv a krmných směsí, přepravník dobytka, přepravník zemědělských strojů a traktorů) o užitečné hmotnosti 16 až 22 t. Je reálné předpokládat, že uvažovaným nahražením traktorové dopravy automobilní bude dosažena úspora v nákladech na dopravu 1,7 až 2,2 miliardy Kčs ročně.

Z traktorových dopravních prostředků jsou vedle speciálních dopravních zařízení (přepravníky dobytka, podvalník, dávkovací krmné vozy apod.) perspektivními především traktorové návěsy o užitečné hmotnosti vyšší než 8 t.

Pro dopravu objemných hmot se uplatňují sběrací návěsy. Jejich užitečná hmotnost se v inovačním procesu postupně zvyšovala z dvou až na čtyři tuny resp. 7 tun (vývoj). Zavedení sběracích návěsů do čs. zemědělství přineslo 1,5 až 2 miliardy úspor. Část sběracích návěsů bude v dal-



4. Prototyp samojízdného sběracího vozu o užitečné hmotnosti 7 t

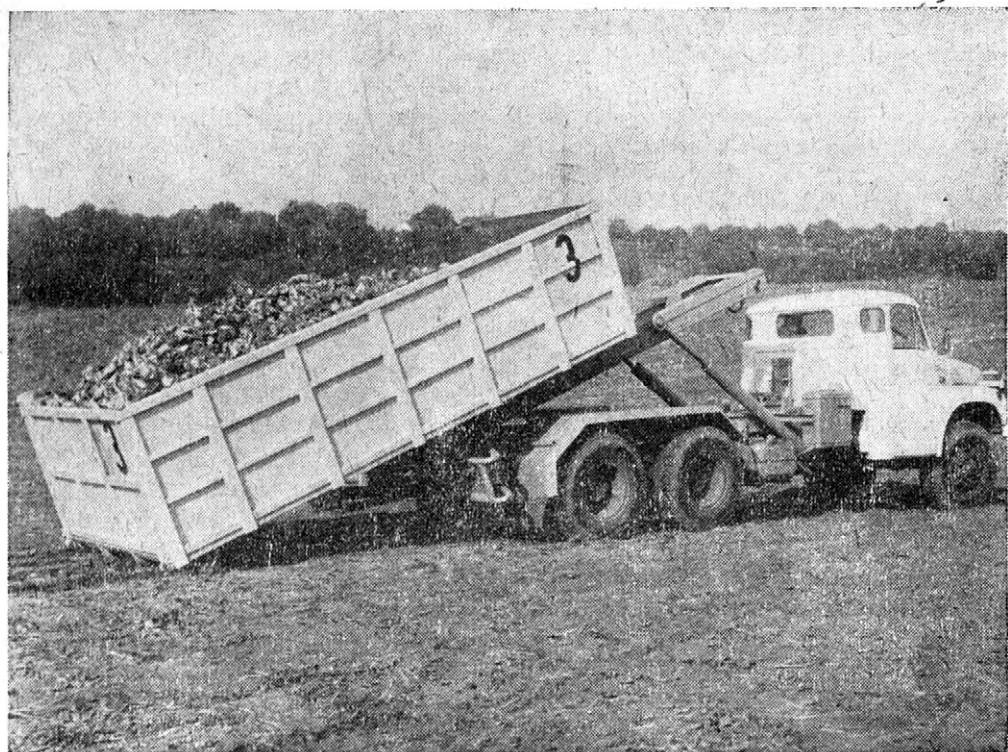
ším časovém období nahrazena samojízdnyými sběracími vozy o užitečné hmotnosti 4 až 7 t (obr. 4).

Efektivní využití nové dopravní techniky předpokládá výkonnou nakládku. Tu mohou zabezpečit samojízdne nakladače o výkonu motoru kolem 160 kW s výkonností 150–300 t · h⁻¹.

Velký význam pro racionální řešení dopravy má i způsob manipulace s materiálem na místě vykládání dopravních prostředků a manipulace ve skladech. Vedle používaných mechanických a vzduchových dopravníků se v širším měřítku uplatní jeřábová technika, především mostové a portálové jeřáby o užitečné hmotnosti 3–8 t.

Ke kompletaci dopravních linek v některých materiálových tocích chybí překládací, příp. jiná manipulační zařízení (dávkové dopravníky ke stranovým sklápěčkám, frézovací vybírače objemných krmiv pro silážní žlaby apod.). Neúplné vybavení dopravních linek potřebnou technikou znemožňuje plné využití výkonných dopravních prostředků. Proto je jejich kompletace v dalším období nezbytná.

Z nových pracovních postupů a dopravních systémů se v zemědělství uplatní především autotraktorový kontejnerový systém o užitečné hmotnosti nejméně 10 t. Z výhod tohoto systému je třeba jmenovat zejména: vhodné oddělení polní a silniční dopravy, přerušení pevné vazby mezi na-



5. Nakládka kontejneru na automobilový nosič

kládacím (sklizňovým), vykládacím a jiným strojem a dopravním prostředkem, vysoké využití energetického zdroje, snadná výměna účelových kontejnerů a možnost využití kontejnerů jako dočasných zásobníků (obr. 5).

Pro plné využití výkonné dopravní a manipulační techniky je potřebné zavést nové způsoby organizace a řízení. Intuitivní řízení založené na přesnosti odhadu a zkušenostech řídicích pracovníků již nepostačuje, zejména při větších koncentracích dopravních prostředků. Výpočetní technika spolu s ekonomicko-matematickými metodami vytváří předpoklady pro optimalizaci řídicího procesu i v oblasti dopravy. Automatizovaný informační systém v oblasti dopravy ověřovaný v současné době má poskytnout dostatek podkladů pro koncepční, prognostické a plánovací práce, pro projektování dopravních a manipulačních prací, sestavování dopravních linek, operativní řízení provozu apod.

ZÁVĚR

Další rozvoj zemědělské výroby není možný bez odpovídajícího vývoje dopravy v zemědělství. Dané úkoly může zemědělská doprava splnit pouze realizací komplexu opatření, především vybavením zemědělských podniků

progresivní, výkonnou dopravní a manipulační technikou, uplatněním nových dopravních systémů a v neposlední řadě zavedením účinných způsobů organizace a řízení dopravy. Nesplnění těchto předpokladů by mohlo vést k tomu, že by se doprava stala limitujícím faktorem dalšího efektivního rozvoje zemědělské výroby.

Adresa autora:

Ing. Otakar Syrový, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky,
163 07 Praha 6-Řepy

Zemědělská doprava je důležitým faktorem, ovlivňujícím organizaci práce i ekonomiku výroby. Rozsah a objem zemědělské dopravy se zvyšuje především v důsledku růstu zemědělské výroby, zvětšování výměry podniků, rozvoje kooperačních vztahů a specializované investiční výstavby. Uvádí se, že rozsah zemědělské dopravy bude činit v roce 1980 v produkčních oblastech až 55 t . ha⁻¹. V horských oblastech má být toto množství asi poloviční (Sladký, Srovný 1969).

V souvislosti s rozvojem nové techniky dnes již téměř vymizela potažní doprava. Doprava v zemědělství se provádí převážně traktory a nově se zavádí doprava automobilová, která by měla výhledově dosáhnout asi poloviny celkového objemu zemědělské dopravy. To přináší i některé nové ekonomické problémy. Dříve se například dokazovalo, že autodoprava je výhodnější než doprava traktory, ale až při přepravních vzdálenostech nad 10–15 km. To ale platilo za předpokladu ruční nakládky, vykládky, nízkých cen traktorů s přívěsy a vysokých cen automobilů. V současné době se tyto faktory změnily. Mechanizace ložných prací, zvýšená nosnost automobilů, vyšší ceny traktorů, to vše posunulo hranici efektivity pro používání automobilů na mnohem kratší vzdálenosti.

Při hodnocení dopravy se často poukazuje na velký podíl ručních prací při nakládce a vykládce materiálu, který prodražuje dopravu a je brzdou rychlého zvyšování produktivity práce. Z toho důvodu byl do celostátního racionalizačního programu zahrnut dlouhodobý úkol: racionalizace dopravních, manipulačních a skladovacích prací.

V zemědělských podnicích je velký nedostatek údajů, které by mohly sloužit k posouzení rozsahu dopravy, využívání dopravních prostředků, nákladů na dopravu apod. Pokud se určitá evidence vede, týká se především souhrnných údajů za všechny dopravní prostředky, bez členění na jednotlivé automobily, traktory nebo plodiny. Problémy v nedostatku podrobnější evidence jsou mj. i v tom, že doprava je v zemědělském podniku zajišťována jak traktory, tak nákladními automobily. Přitom traktory jsou převážně využívány v polních pracích a v dopravě se používají jen občas. Naproti tomu nákladní automobily jsou specializovány pouze pro dopravu a při jejich větším počtu jsou v podniku seskupovány do samostatných organizačních jednotek s vlastní organizací práce i s vlastní, většinou ale nedostatečnou evidencí o výkonech.

Při rozhodování o některých perspektivních otázkách, zvláště při vyhledávání nejvhodnějších míst pro budování velkokapacitních staveb v ži-

vočišné výrobě nebo některých stacionárních linek pro posklizňovou úpravu výrobků, je třeba znát náklady na dopravu různých zemědělských hmot (zelená píče, zrnó, hnůj) při různých vzdálenostech. Bylo by vhodné mít rovněž podklady o využívání dopravních prostředků jak z hlediska času, tak ložného objemu apod. Protože tyto údaje praxe neeviduje, rozhodli jsme se v roce 1974 provést samostatný celoroční průzkum na dvou provozních jednotkách Školního zemědělského podniku Hluboká (ŠZP), ve kterém bychom potřebné podklady získali buď ze zvláštní, každodenně vedené evidence, nebo je mohli vypočítat modelovým způsobem.

VÝSLEDKY PRŮZKUMU

Pro průzkum byly vybrány provozní jednotky Munice a Kaplice. Obě sledované provozní jednotky obhospodařovaly celkem 924 ha zemědělské půdy, tj. asi 19 % z celého ŠZP, a měly k dispozici 20 traktorů, tj. 16 % z celého stavu ŠZP. Provozní jednotky leží ve výrobní oblasti bramborářské a lze je považovat do značné míry za reprezentační vzorek této oblasti. Odlišnost je pouze ve velmi nízkém podílu okopanin.

Celkový rozsah dopravy podle jednotlivých měsíců

Rozsah dopravy podléhal sezónním výkyvům, především s ohledem na vnitrozávodní, polní dopravu. Rozdíly v rozsahu dopravy v jednotlivých měsících, hodnocené různými ukazateli, umožnily stanovit pro zkoumané výrobní podmínky tři různá období podle rozsahu dopravy:

1. II, III, IV, V, kdy rozsah dopravy je malý, každý měsíc se pohybuje kolem 5—7 % celoročního množství
2. VI, VII, VIII (a někdy i IX), kdy rozsah dopravy dosahuje špičky a činí 7—13 % celoročního množství
3. (IX), X, XI, XII, I, kdy rozsah dopravy se pohybuje mírně nad celoročním průměrem, okolo 8—10 %.

Tato tendence se týká počtu jízd, km se zátěží, množství přepravených tun, počtu tkm, času dopravního prostředku, netýká se však průměrné délky 1 jízdy. Průměrná délka 1 jízdy nevykazuje takovou závislost na roční době, i když je patrné, že v letních a podzimních měsících, kdy převažuje především zemědělská doprava, je dopravní vzdálenost kratší než v zimních měsících, kdy se vyhledávají různé druhy náhradní dopravy, aby se zajistila traktoristům práce.

Doprava materiálů v jednotlivých měsících

Mezi materiály, které se dopravují pravidelně každý měsíc, patří na obou sledovaných provozních jednotkách:

- senáž, siláž
- jadrné krmivo
- seno, sláma
- stavební materiály
- mrva, močůvka
- zvířata
- stroje

Pouze v osmi měsících se na obou provozních jednotkách zajišťovala doprava vody a průmyslových hnojiv. Ostatní materiály se dopravovaly jen v menším počtu měsíců. Přepravené množství v hlavních materiálech však v jednotlivých měsících značně kolísá, nejrovnoměrnější se zdá být u dopravy mrvy a močůvky. Většina materiálů, které se dopravují pravidelně každý měsíc přibližně ve stejných dávkách umožňuje, aby jejich dopravu mohla převzít v rámci podniku samostatná dopravní četa nebo i v rámci provozní jednotky vyčleněný dopravní prostředek (rozvoz jadrných krmiv, sena, slámy, stavebních materiálů, mrvy a přesuny zvířat).

Struktura dopravy podle přepravovaných materiálů

Z hlediska přepravované tonáže zaujímá na obou provozních jednotkách první místo mrva a močůvka. V Kaplici to bylo 43,8 % a v Municích 41,9 %. Vysoké procento je způsobováno ve značné míře dvojitou manipulací s mrvou, která se nejprve vyváží na polní hnojiště a odtud se znovu nakládá a rozváží na pozemky.

I. Struktura dopravy podle přepravovaných materiálů

Č.	Druh mater.	Kaplice				Munice			
		km se zátěží %	počet jíz %	množství		km se zátěží %	počet jíz %	množství	
				t	%			t	%
1.	zelené krmení	10,2	12,5	3 786	13,1	2,0	3,2	412	2,5
2.	siláž, senáž	18,7	27,9	4 948	17,1	19,8	26,6	3 947	24,2
3.	jádro	0,7	0,3	84	0,3	2,8	2,1	289	1,8
4.	okopaniny	0,5	0,0	29	0,1	0,2	0,1	21	0,1
5.	seno, sláma	4,1	6,7	912	3,2	7,6	14,9	780	4,8
6.	voda	0,6	0,9	289	1,0	0,1	0,3	58	0,4
7.	mléko suš.	—	—	—	—	0,6	0,5	50	0,3
8.	steliva	2,5	4,9	713	2,5	0,3	0,9	132	0,8
9.	stavební materiál	10,3	3,1	1 571	5,4	30,5	4,0	909	5,6
10.	mrva, močůvka	30,4	34,9	12 716	43,8	16,9	31,3	6 837	41,9
11.	PHM	1,0	0,0	16	0,1	1,1	0,3	49	0,3
12.	zvířata	0,8	0,2	27	0,1	3,2	0,9	37	0,2
13.	náhradní díly	2,0	0,2	31	0,1	—	—	—	—
14.	stroje	6,6	4,0	1 928	6,7	6,6	4,9	955	5,8
15.	hnojiva	1,7	1,2	370	1,3	2,8	4,7	464	2,8
16.	osiva	0,5	0,2	12	0,0	0,8	0,5	74	0,6
17.	zrno sklizen pro cizí	2,0	2,0	1 049	3,6	4,8	4,8	1 307	8,0
18.		7,4	1,0	482	1,6	—	—	—	—
Celkem		100,0	100,0	28 962	100,0	100,0	100,0	16 322	100,0

Na dalším místě to jsou objemná krmiva: senáž, siláž, jež zaujímají v Kaplici celkem 30,2 % a v Municích 26,7 % celkové tonáže.

Na třetím místě je to stavební materiál a přesuny strojů, v Municích se ještě výrazně prosazuje přeprava zrna při sklizni. Stroje a stavební materiály činily v Kaplici 12,1 %, v Municích 11,4 % celkové tonáže.

Ruční manipulace s materiálem

Potřeba ruční práce při nakládání a vykládání byla sledována po celý rok pouze v Municích. Výsledky jsou v tab. II.

Mnozí autoři poukazují na to, že při nakládce a vykládce je soustředěno značné množství lidské práce, a proto je možné zde s úspěchem uplatňovat racionalizaci práce.

II. Procento ruční manipulace s materiálem v Municích

Číslo	Materiál	Celkem tun	Ručně naloženo %	Ručně vyloženo %
1.	zel. krmení	412,0	13,7	1,6
2.	siláž, senáž	3 947,9	2,7	1,9
3.	jádro	288,7	97,1	36,3
4.	okopaniny	20,5	20,0	40,0
5.	seno, sláma	780,1	60,3	8,1
6.	voda	58,0	0,0	0,0
7.	suš. mléko	49,9	100,0	100,0
8.	steliva	132,4	6,3	31,5
9.	stavební materiál	909,2	54,3	50,0
10.	mrva, močůvka	6 845,8	7,3	4,2
11.	PHM	48,5	71,4	71,4
12.	zvířata	37,5	97,8	97,2
13.	náhradní díly	—	—	—
14.	stroje	954,9	16,5	17,8
15.	hnojiva	464,5	95,7	25,2
16.	osiva	73,8	70,8	69,6
17.	zrno sklizeň	1 307,7	10,3	7,8
18.	pro cizí	—	—	—
Celkem		16 332,0	16,9	9,8

Výsledky našeho průzkumu neukazují na tak výraznou tendenci v tomto směru. Z celkového množství přepravovaných materiálů v Municích bylo nakládáno ručně 17 %, vykládáno 10 %. Poměrně snadnou změnou v technologiích sklizně nebo jednoduchými opatřeními organizačního charakteru v rámci podniku by se daly tyto hodnoty snížit na 8 % a 3 %, což by bylo pro současnou dobu uspokojivé. Další snižování ruční nakládky a vykládky by si však vyžádalo podstatnější zásahy do struktury výroby, hlavně z hlediska koncentrace nebo vypuštění některých plodin (zde okopanin) a kompletního předání určité dopravy službám (dopravu hnojiv agrochemickému podniku, včetně jejich aplikace).

Dosavadní ručně manipulované množství činí v přepočtu na 1 ha zemědělské půdy 8,5 t nakládky a 5,0 t vykládky a dalo by se snížit na 4,0 t a 1,5 t. Přesto, že to jsou poměrně nízké hodnoty, nejsou zanedbatelné. Ruční manipulace s tímto množstvím se totiž netýká pouze jednoho pracovníka, ale často je přítomno více lidí, kteří s uvedeným materiálem buď jednorázově, nebo postupně manipulují. Tři a více osob při manipulaci (včetně řidiče traktoru) bylo přítomno v Kaplici asi ve 20 % případů, v Municích to bylo 26–45 %. V některých případech byla ruční manipulace

s materiálem přidělována pracovníkům záměrně, aby v daný den vůbec dostali nějakou práci, neboť pravidelné zajišťování práce v posezonním období je pro vedoucího vždy obtížné.

Z těchto úvah vyplývá, že mechanizace nakládky a vykládky materiálu ve sledované organizační jednotce postoupila díky vhodné mechanizovaným technologickým postupům při pěstování plodin tak daleko, že další snižování podílu živé práce bude postupovat pomaleji a obtížněji

III. Využití tonáže a průměrná délka jízdy

Číslo	Druh materiálu	Kaplice		Munice	
		na 1 jízdu připadá			
		t	km	t	km
1.	zelené krmení	2,86	2,04	2,60	3,48
2.	siláž, senáž	1,67	1,68	3,01	4,15
3.	jádro	3,11	7,06	2,75	7,06
4.	okopaniny	4,14	19,71	4,10	12,80
5.	seno, sláma	1,28	1,54	0,96	2,79
6.	voda	3,07	1,69	4,14	2,43
7.	mléko sušené	—	—	2,00	6,90
8.	steliva	1,37	1,30	2,76	1,94
9.	stavební materiál	4,72	8,22	4,57	42,73
10.	mrva, močůvka	3,44	2,18	4,42	3,10
11.	PHM	2,00	32,62	3,46	22,29
12.	zvířata	1,43	10,63	0,82	20,75
13.	náhradní díly	1,82	31,12	—	—
14.	přesuny strojů	4,53	4,08	3,95	4,18
15.	hnojiva	2,96	3,52	1,99	3,32
16.	osiva	4,00	46,67	3,08	7,63
17.	zrno — sklizeň	4,92	2,46	5,64	3,63
18.	práce pro cizí	4,42	18,18	—	—
Celkem		2,74	2,50	3,30	3,63

a tím bude i méně ovlivňovat celkovou výši nákladů na dopravu a na jednotlivé výrobky. Na první místo je třeba klást v této situaci využívání dopravních prostředků, jejich ložné plochy, ložného objemu a především využití tonáže.

Využití tonáže a průměrná délka jízdy

Důležitým ukazatelem je využití tonáže přívěsů při dopravě. V Kaplici bylo velmi nízké a činilo v celkovém průměru jen 2,47 tun na 1 jízdu, tj. na 1 přívěs.

Nejnižší využití bylo při dopravě siláže a senáže (1,67 t), při dopravě sena a slámy s polí (1,28 t) nebo steliv (1,37 t). Tyto materiály zaujímaly asi jednu čtvrtinu veškeré celoroční tonáže a značně snížily průměr této organizační jednotky. Ostatní materiály, které byly přepravovány rovněž v malé tonáži, jako PHM (2,00 t), náhradní díly (1,82 t) a zvířata (1,43 t),

byly v celoročním objemu zanedbatelné a z hlediska organizace práce by se u nich mohla tonáž zvyšovat jen značně obtížně.

Nejvyšší tonáže se dosahovalo u stavebních materiálů (4,72 t), při přesunech strojů (4,53 t) a sklizeného zrna (4,92 t). Objem těchto materiálů činil asi 10 % celkového rozsahu přepravy.

Rozhodujícím způsobem ovlivňuje roční průměrnou tonáž doprava mrvy a močůvky (3,44 t), která tvoří téměř 50 % veškerých hmot.

V Municích byla průměrná tonáž na 1 přívěs vyšší než v Kaplici a činila 3,30 t. Nejnížší hodnoty tonáže z častěji přepravovaných materiálů byly u sena a slámy (0,96 t), hnojiv (1,99 t), zeleného krmení (2,60 t) a jadrných krmiv (2,75 t). Zvláště u hnojiv a jadrných krmiv byla zarážející nízká tonáž, jež signalizovala možnosti racionalizace.

Nejvyšší hodnoty tonáže byly u sklizeného zrna (5,64 t), u stavebních materiálů (4,57 t) a mrvy a močůvky (4,42 t). Zvláště vyšší tonáž při přepravě chlévské mrvy s ohledem na její celoroční objem způsobila, že v Municích bylo přepravováno na 1 přívěsu v celoročním průměru o 33 % více tun materiálů než v Kaplici. Tento výsledek byl způsoben především organizací práce, protože vybavení provozních jednotek potřebným množstvím přívěsů bylo přibližně stejné. V Kaplici připadalo na 1 přívěs 29,2 ha z. p., v Municích 34,0 ha z. p.

Kdyby se v Kaplici podařilo vytižít v průměru dopravní prostředky stejným způsobem jako v Municích, znamenalo by to úsporu 1808 jízď, tj. 17 % jízď z celoročního stavu.

KALKULACE NÁKLADŮ NA DOPRAVU RŮZNÝCH HMOT RŮZNÝMI DOPRAVNÍMI PROSTŘEDKY

Protože zemědělská praxe neposkytuje ve své prvotní evidenci dostatek údajů o výši nákladů na dopravu, řešili jsme ve výzkumném úkolu (Marunová, Vaněček 1977) náklady na dopravu různých hmot různými dopravními prostředky modelovým způsobem. Vycházelo se z metodiky VÚZT Praha-Řepy (Špelina 1970), pomocí které se stanovily náklady na 1 h práce dopravní soupravy. Jednalo se o tyto dopravní soupravy:

- | | | | |
|----------------------------|-------|-----------|-----------------------------|
| 1. Z-3011 + přívěs PZS-40 | (4 t) | | 57,34 Kčs . h ⁻¹ |
| 2. Z-4011 + přívěs 53 SH | (5 t) | | 60,68 Kčs . h ⁻¹ |
| 3. Z-5647 + přívěs P 73 SV | (7 t) | | 70,88 Kčs . h ⁻¹ |
| 4. Z-8011 + přívěs P 93 S | (9 t) | | 90,76 Kčs . h ⁻¹ |

V dalším postupu bylo třeba přepočítat tyto hodinové náklady na hlavní ukazatele výkonu, tj. na 1 t, 1 km, 1 tkm. Při přepočtu je třeba brát ohled především na délku dopravního cyklu a na měrnou hmotnost přepravovaného materiálu. Postup výpočtu byl následující:

a) Na základě hmotnosti přepravovaného materiálu, nosnosti jednotlivých přívěsů a jejich ložného objemu se vypočetlo, jaké množství materiálu přívěs uveze (závislost na ložném objemu vozidla a na měrné hmotnosti přepravovaného materiálu).

b) Zjistil se normovaný čas na délku 1 dopravního cyklu při vzdálenosti 1 km (nakládání, jízda s plným nákladem, vážení, skládání, podmíněné čekání, jízda zpět).

IV. Náklad na dopravu siláže traktorovými soupravami (měrná hmotnost siláže 400 kg . m⁻³, výška bočnic 1,5 m, koef. plnění 0,8)

Přívěs t	Výkon nakladače	Náklad v Kčs na 1 t při vzdálenosti				
		1 km	5 km	10 km	15 km	20 km
4	1,5 t . h ⁻¹	43,3	52,7	64,4	76,2	88,0
5		44,1	50,9	59,4	67,9	76,4
7		51,0	58,1	66,8	75,6	84,4
9		65,4	74,6	86,0	97,5	108,9
4	6,0 t . h ⁻¹	14,6	24,0	35,8	47,5	59,3
5		13,8	20,5	29,0	37,5	46,0
7		15,6	22,6	31,4	40,2	49,0
9		20,0	29,2	40,6	52,1	63,5

V. Náklad na dopravu siláže traktorovými soupravami (měrná hmotnost siláže 600 kg . m⁻³, výška bočnic 1,5 m, koef. plnění 0,8)

Přívěs t	Výkon nakladače	Náklad v Kčs na 1 t při vzdálenosti				
		1 km	5 km	10 km	15 km	20 km
4	1,5 t . h ⁻¹	42,5	50,6	60,6	70,6	80,7
5		44,1	50,9	59,4	67,9	76,4
7		50,3	56,0	63,1	70,1	77,2
9		63,8	69,9	77,5	85,1	92,8
4	6,0 t . h ⁻¹	13,9	21,9	31,9	42,0	52,0
5		13,8	20,5	29,0	37,5	46,0
7		14,9	20,5	27,6	34,7	41,8
9		18,4	24,5	32,1	39,8	47,4

VI. Náklad na dopravu sena (slámy) lehce slisované traktorovými soupravami (měrná hmotnost materiálu 100 kg . m⁻³) — ruční nakládání (2 osoby) a ruční vykládání (2 osoby), koef. plnění 0,8

Přívěs t	Výška bočnic	Náklad v Kčs na 1 t při vzdálenosti				
		1 km	5 km	10 km	15 km	20 km
4	1,5 m	65,6	103,3	150,3	197,3	244,4
5		63,5	87,6	117,7	147,8	177,9
7		73,2	102,3	137,5	172,6	207,8
9		95,5	132,2	178,0	223,8	269,6
4	2,5 m	60,3	82,8	111,1	139,3	167,5
5		60,0	74,4	92,5	110,5	128,6
7		70,1	86,9	108,0	129,1	150,2
9		89,8	111,8	139,2	166,7	194,2

VII. Náklad na dopravu hnoje traktorovými soupravami — měrná hmotnost hnoje $800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, výkon nakladače $40 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$, koef. plnění 1,0

Přívěs t	Výška bočnic	Náklad v Kčs na 1 t při vzdálenosti				
		1 km	5 km	10 km	15 km	20 km
4	0,5 m	7,9	19,2	33,3	47,4	61,5
5		5,6	12,9	21,9	30,9	40,0
7		6,6	15,0	25,6	36,1	46,7
9		8,5	19,5	33,3	47,0	60,8
4	1,0 m	6,0	14,0	24,1	34,1	44,1
5		5,4	12,2	20,7	29,2	37,7
7		5,0	10,7	17,8	24,9	31,9
9		5,5	11,1	18,2	25,3	32,3

VIII. Náklad na dopravu zelené píce traktorovými soupravami — měrná hmotnost píce $250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, výška bočnic 1,5 m, koef. plnění 0,8, plnění sklizecí řezačkou E-280, hektarový výnos 15 t

Přívěs t	Náklad v Kčs na 1 t při vzdálenosti				
	1 km	5 km	10 km	15 km	20 km
4	14,3	29,4	48,2	67,0	85,8
5	11,6	21,2	33,2	45,3	57,3
7	13,5	24,8	38,8	52,9	67,0
9	17,5	32,1	50,4	68,7	87,1

IX. Náklad na dopravu jadrných krmiv traktorovými soupravami — měrná hmotnost krmiva $400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, pytlovaný materiál rovnán do výše 1,2 m, ruční nakládání (2 osoby) a vykládání (2 osoby) — lze aplikovat i na jiné pytlované materiály

Přívěs t	Náklad v Kčs na 1 t při vzdálenosti				
	1 km	5 km	10 km	15 km	20 km
4	37,3	46,7	58,5	70,3	82,0
5	38,3	45,1	53,6	62,1	70,6
7	44,3	51,3	60,1	68,9	77,7
9	57,2	66,3	77,8	89,2	100,7

c) Vypočetl se čas na 1 dopravní cyklus při různé dopravní vzdálenosti (5, 10, 15 a 20 km) a stanovil se tomu odpovídající výkon v t, km, tkm.

d) Z času na dopravní cyklus při různých vzdálenostech a z vykalkulovaných nákladů na 1 h práce dopravní soupravy se vypočítal náklad na 1 dopravní cyklus při různých vzdálenostech.

e) Z nákladů na 1 dopravní cyklus a z celkového výkonu při různých vzdálenostech byly vypočteny náklady na 1 t, 1 km a 1 tkm.

Výsledky kalkulací jsou uvedeny v tab. IV až IX.

ZÁVĚR

Rozsah i význam zemědělské dopravy neustále roste a ovlivňuje značnou měrou ekonomiku zemědělského podniku. Na základě celoročního sledování zemědělské dopravy na ŠZP Hluboká byl posuzován rozsah dopravy, její kolísání v jednotlivých měsících, struktura přepravovaných materiálů, podíl ruční manipulace na nakládce i vykládce i průměrná délka 1 jízdy. Největší rezervy se jeví ve využívání dopravních prostředků, jejich ložného objemu a tím i ve využití tonáže vozidel.

Druhým vážným problémem je výše nákladů na hlavní ukazatele dopravy. Pro nedostatek podkladů ze zemědělských podniků byly náklady kalkulovány modelovým způsobem u čtyř traktorových souprav a mohou sloužit k rozhodování o umístění některých důležitých staveb v zemědělském podniku.

Program pro výpočet nákladů na 1 t, 1 km a 1 tkm při různých dopravních vzdálenostech, různých dopravních soupravách i různých materiálech byl sestaven a odladěn pro samočinný počítač MSP-2A a je k dispozici na VŠZ Praha-PEF Č. Budějovice.

Literatura

SLADKÝ, V. — SYROVÝ, O.: Organizace zemědělské dopravy. Praha, SZN 1969.
ŠPELINA, M.: Ekonomické hodnocení účinků zemědělské techniky. [Závěrečná zpráva.] Praha, VÚZT Řepy 1970.
MARUNOVÁ, E. — VANĚČEK, D.: Závěrečná zpráva úkolu C-11-333-009-03-01/2. České Budějovice, PEF VŠZ 1977.

Došlo dne 11. 5. 1978

Adresa autora:

Doc. ing. Drahoš Vaněček, CSc., Vysoká škola zemědělská, 370 05 České Budějovice

VANĚČEK D., Vysoká škola zemědělská, 370 05 České Budějovice

K některým otázkám ekonomiky a organizace zemědělské dopravy

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 681—689. — 9 tab., lit. 3

doprava, manipulace materiálem, technické koeficienty, ekonomika, organizace, úroveň podniku

Na základě měření a šetření, které bylo provedeno na školních statcích, poskytl autor ve svém článku bohatý podkladový číselný materiál o dopravě a manipulaci materiálem v zemědělství. Údajů v článku obsažených lze použít při aplikaci ekonomicko-matematických metod pro stanovení technických koeficientů při řešení dopravních problémů.

Použití matematických metod a samočinných počítačů při analýze a řízení dopravy vyžaduje konstrukci matematického modelu, který dostatečně přesně a podrobně popisuje vztahy mezi jednotlivými činiteli dopravy. Vztahy uvnitř dopravních systémů i mezi systémy a jejich okolím jsou ovšem tak složité a komplikované, že v současné době neznáme globální model, který by je dokázal adekvátně zobrazit. Dosud známé a prakticky použitelné modely operační analýzy a teorie optimálního řízení můžeme použít jen pro zobrazování dílčích vztahů a vlastností dopravního systému. Nejčastěji se používají modely lineárního programování, modely teorie grafu a simulační modely. Protože není možno analyzovat dopravní systém globálním modelem, je nutné analyzovat jeho subsystémy různými dílčími modely a syntézou jejich výsledných informací připravovat podklady pro řízení dopravního systému.

V článku se pojednává o použití speciálního modelu při analýze a řízení dopravy v zemědělském podniku. Při konstrukci modelu i analýze optimálních výsledků se předpokládá, že výsledná informace bude použita bezprostředně pro operativní řízení dopravy a do struktury modelovaného dopravního systému nebudou prováděny žádné zásahy.

Použitý model byl sestaven ze dvou různých modelů: modelu teorie grafu a modelu lineárního programování. Syntéza modelů dvou typů (a tedy i různých zobrazovacích a vypovídacích schopností) umožňuje analyzovat vztahy v dopravním systému na vyšší kvalitativní úrovni a výsledné informace mají širší uplatnění v praxi. Metodický postup, který v dalším textu popisujeme, byl prakticky ověřen při modelování dopravy obilovin a objemných krmiv v odštěpném závodě Bochoř oborového podniku Karlovy Vary. Ilustraci metodiky aplikace modelu uvádíme na modelu dopravy obilovin v uvedeném závodě; model byl ovšem pro účely článku zjednodušen a metodicky upraven.

Postup při analýze dopravy obilovin, který bude dále popsán, lze aplikovat pochopitelně i na jiné systémy dopravy v zemědělském podniku.

DOPRAVNÍ SYSTÉM A JEHO MATEMATICKÝ MODEL

Určujícími prvky ve struktuře jakékoliv dopravy, jejichž specifické vlastnosti a vzájemné vztahy determinují typ a kvalitu dopravy, jsou čtyři činitelé: dodavatelé, odběratelé, dopravní spoje (cesty) a dopravní prostory.

Dopravním systémem budeme dále rozumět určitou, přesně vymezenou skupinu dodavatelů, odběratelů, dopravních spojů a dopravních prostředků, které mají za úkol přepravu materiálu v určitém relativně samostatném úseku výrobního procesu. Tento systém není uzavřený, tj. není izolovaný od ostatních výrobních procesů podniku a je tedy ovlivňován a naopak ovlivňuje jiné výrobní procesy.

Rozsah systému, tj. počet jeho jednotlivých činitelů, a struktura systému, tj. přítomnost činitelů v systému a jejich vzájemné vztahy, se mění podle povahy výrobního procesu a tak můžeme rozlišovat globální dopravní systém, který zahrnuje všechny činitele dopravy, nebo dílčí systémy (subsystémy), které tvoří jen dopravní procesy v určitém dílčím výrobním procesu.

Jak již bylo řečeno v úvodní poznámce, v současné době nedovedeme modelovat globální dopravní systém jediným matematickým modelem a je proto nutno odděleně modelovat specifické subsystémy, výsledné informace syntetizovat a usuzovat z nich na vlastnosti globálního systému. Při modelování jednotlivých subsystémů je ovšem nutno zachovat určité pořadí, které vyplývá ze základních vlastností dopravního systému a zobrazovacích možností jednotlivých specifických modelů. Postup při modelování globálního systému dopravy spočívá ve třech návazných krocích:

1. Nejprve je třeba určit optimální vztah mezi prvními třemi činiteli dopravy, tj. dodavateli, odběrateli a dopravními spoji. Úloha spočívá v nalezení takových přepravních tras mezi jednotlivými dodavateli a odběrateli, které jsou ve svém souhrnu nejkratší nebo při nichž jsou přepravní náklady minimální. Tyto nejvýhodnější nebo též tzv. optimální spoje vytvářejí definiční obor pro další analýzu dopravy. Vyhledání optimálních dopravních spojů lze realizovat použitím modelů teorie grafu a tzv. dopravní úlohy lineárního programování.

2. V další etapě modelování dopravního systému lze analyzovat vztahy dopravních prostředků k dodavatelům, odběratelům a dopravním spojům. Zatímco výběr optimálních dopravních tras je v podstatě ve všech dopravních systémech stejný, analýza vztahu dopravních prostředků ke zbývajícím prvkům systému je bezprostředně závislá na typu výrobního procesu, v němž doprava probíhá. Tak např. při analýze přepravy sklizené produkce obilovin je nutné určit optimální proporce mezi počty sklizečů a dopravních prostředků různých typů v souvislosti se systémem přepravních vzdáleností mezi dodavateli a odběrateli a časovými horizonty sklizně, při analýze dopravy průmyslových hnojiv se určují optimální proporce mezi dopravními prostředky různých typů podle vzdáleností dodavatelů a odběratelů se zřetelem na splnění časového harmonogramu polních prací atp. Modelování těchto a podobných vlastností dopravního systému se provádí pomocí simulačních modelů. Při konstrukci těchto modelů se využívají informace, získané z modelování v předchozí etapě.

3. Ve třetí fázi modelování dopravního systému je nutné posoudit vzájemné vztahy mezi dopravním systémem a jeho okolím, tj. systémem všech výrobních procesů v podniku. Syntéza se provádí zařazením informací z obou předchozích etap do globálního modelu výroby zemědělského podniku.

Metodika, kterou dále popisujeme, pojednává o modelování první etapy, tj. o analýze vzájemného vztahu mezi dodavateli, odběrateli a dopravními spoji v dopravním systému.

Doprava materiálu mezi jednotlivými dodavateli a odběrateli probíhá vždy v nějakém prostoru. Při pohledu na mapu oblasti, v níž je prostor dopravy umístěn je zřejmé, že základním a elementárním typem modelu, kterým lze vztah mezi dodavateli, odběrateli a spoji popsat, je graf. Do grafu lze zakreslit přibližnou polohu dodavatelů i odběratelů jako uzly grafu, dopravní spoje mezi jednotlivými dodavateli a odběrateli lze zobrazit jako hrany grafu, kapacity dodavatelů a odběratelů a délky dopravních tras lze zapsat jako ohodnocení uzlů, resp. hran grafu. Pro numerické zpracování informací je vhodné zobrazit graf dopravního systému do incidenční matice. Při analýze výsledků je ale nutné používat graf i incidenční matici; incidenční matice je vhodná pro přehledné uspořádání nejrůznějších informací a graf, zvláště je-li zakreslen přímo v podrobné mapě oblasti, dává lepší představu o prostorových vztazích v systému.

Dodavatelé se označují symboly $D_1, D_2, \dots, D_m$ a jejich kapacity v tunách $d_1, d_2, \dots, d_m$ (krátce jen D_i , resp. d_i). Každý dodavatel D_i představuje plochu zemědělské půdy, tj. hon nebo skupinu honů, které tvoří ucelené produkční centrum jednotlivých druhů chlebových a krmných obilovin. Reprezentantem dodavatele D_i je bod na mapě, který je gravitačním těžištěm plochy, představující jednoho dodavatele. V modelu je dodavatel D_i vyjádřen uzlem grafu, v odpovídající incidenční matici vertikálním sloupcem informačních buněk.

Odběratelé se označují symboly $S_1, S_2, \dots, S_n$ a jejich kapacity v tunách $s_1, s_2, \dots, s_n$ (krátce jen S_j , resp. s_j). Každý odběratel S_j představuje pevný objekt, sklad, který může odebírat všechny nebo jen určité druhy zrna. Reprezentantem odběratele S_j je bod na mapě, v němž je umístěn příslušný objekt. V modelu je zobrazen uzlem grafu, v odpovídající incidenční matici horizontálním řádkem informačních buněk.

Dopravní spoj mezi dodavatelem D_i a odběratelem S_j je cesta nebo posloupnost cest, která je nejkratším nebo nejvýhodnějším způsobem spojuje. Dopravní spoj se v podstatě skládá vždy ze dvou částí: z úseku cesty $D_i S_j$, který vede po pevných nebo zpevněných cestách, a z úseku, který je tvořen jízdou dopravního prostředku po poli. Délka tohoto druhého úseku závisí na velikosti produkční plochy a na poloze plochy vzhledem ke komunikaci. Výběr spoje $D_i S_j$, který je ze všech možných spojení nejvhodnější nebo nejkratší, se provádí odměřením z mapy a jeho vhodnost se navíc prověřuje konzultací s pracovníky podniku, kteří zpravidla dobře znají terén a dopravní možnosti v podniku.

Model dopravního systému se obecně skládá z m dodavatelů, n odběratelů a $m \cdot n$ dopravních spojů a odpovídající incidenční matice obsahuje $m \cdot n$ informačních buněk. V grafickém modelu i incidenční matici jsou zapsány kapacity dodavatelů d_i , kapacity skladů s_j a vzdálenosti mezi každou dvojicí $D_i S_j$.

V modelovaném zemědělském podniku se v průběhu sklizně přepravuje obilí od 31 výrobních center do 7 skladů, které jsou uvažovány jako sklady finální. Proces sklizně probíhá po dobu asi 20 dní. Rozdělení oblasti do výrobních center provedl podnik s přihlédnutím k existující specializaci ve výrobě obilovin a zároveň z hlediska polohy těžiště gravitační plochy vůči skladu. Rozdělení reprezentuje konkrétní variantu osevního postupu v roce 1977. Dodávky výrobních center odpovídají horní hranici produkce v roce 1977. Všechny uvedené sklady jsou pevné objekty a jejich kapacita je stanovena výhledově. Kapacita 4. a 7. skladu je vázána na

provozní možnosti sušičky v období sklizně. Sklad č. 7 nebyl ve zkoumaném období pro tok obilovin používán a jedním z cílů modelu je prověření perspektivity jeho využití.

Výběr spojů mezi jednotlivými výrobními centry a sklady byl proveden po konzultaci s podnikem. Tradiční spoje, které podnik dosud používal, byly ohodnoceny skutečnou vzdáleností. U nových, netradičních spojů byla vzdálenost mírně zvýšena, aby dosavadní netradiční spoje nebyly extrémně preferovány; zvýšení bylo u všech netradičních spojů provedeno ve stejné výši asi 8 %. Vzdálenosti, které dopravní prostředek projíždí po nepevněných cestách, se pohybovaly v rozmezí 1–3,5 km.

Cílem analýzy dopravy je nalezení optimálních přepravních tras mezi výrobními centry a sklady tak, aby přeprava celé produkce obilovin byla realizována s minimálním počtem ujetých tunokilometrů. Pro pracovníky žňového dispečinku je třeba připravit vhodné a operativní podklady pro řízení dopravy.

Jednotlivé sklady budeme dále označovat písmeny *A, B, C, D, E, G, H* a výrobní centra čísly 1, 2, ..., 31. Incidenční matice modelu je uvedena v tab. I.

VÝSTUPNÍ INFORMACE A JEJICH ROZBOR

Z celkového počtu $m \cdot n$ dopravních spojů v modelu dopravního systému je třeba vybrat spoje, na kterých bude celkový objem přepravy realizován s minimálním počtem ujetých tkm. Tato úloha vede k formulaci dopravní úlohy lineárního programování; jejím řešením je z množiny $m \cdot n$ spojů vybráno právě $m + n - 1$ optimálních spojů, které je možno považovat za orientační optimální řešení úlohy. Analýzou řešení duální úlohy k dopravní úloze a analýzou grafu se získávají informace o spojích, které nebyly vybrány jako optimální. Každý spoj $D_i S_j$ se prověřuje globálně z hlediska následujících čtyř kritérií:

a) optimalita spoje vzhledem ke kritériu minimalizovat úhrn ujetých tkm při přepravě celého objemu produkce,

b) možnost záměny spoje při minimálním zhoršení optimální hodnoty kritériální funkce,

c) propustnost spoje z hlediska průměrné velikosti objemu převážených dodávek,

d) schopnost spoje substituovat jiné spoje.

Informace, které charakterizují uvedené vlastnosti, jsou uvedeny v informačních buňkách incidenční matice takto:

S_j	x_{ij}	w_{ij}
		r_{ij}
		θ_{ij}
		r, s

D_i

V informační buňce $D_i S_j$ představují veličiny:

x_{ij} — optimální velikost dodávky v t, která se má přepravovat mezi dodavatelem D_i a spotřebitelem S_j ; je-li $x_{ij} = 0$, informace se do buňky nezapíše

w_{ij} — vzdálenost mezi dodavatelem D_i a spotřebitelem S_j v km; skládá se z úseku dopravy po pevných cestách a z úseku dopravy po nepevněných terénech

- r_{ij} — míra zhoršení optimální hodnoty kritériální funkce v tkm při přepravě 1 tuny materiálu po neoptimálním spoji
 θ_{ij} — maximální propustnost v t, kterou má spoj mezi dodavatelem D_i a odběratelem S_j
 r, s — schopnost spoje $D_i S_j$ substituovat spoj $D_r S_s$; spoj $D_r S_s$ nazýváme donorem, spoj $D_i S_j$ recipientem; recipient může převzít maximální dodávku velikosti θ_{rs} a o ni zvýšit svůj objem přepravy.

Po výpočtu optimálního řešení odpovídajícího modelu dopravní úlohy lineárního programování, výpočtu duální úlohy a po analýze grafického modelu byly získány konkrétní informace o systému dopravy, které jsou zapsány v informačních buňkách incidenční matice v tab. I. Např.:

— Informační buňka 21, G reprezentuje dopravní spoj mezi výrobním centrem č. 21 a 6. skladem s přepravní vzdáleností 14 km; optimální velikost dodávky po tomto spoji a současně maximální propustnost spoje je 475 t.

— Informační buňka 19, G reprezentuje dopravní spoj mezi výrobním centrem č. 19 a 6. skladem s přepravní vzdáleností 12,5 km; spoj není optimální ($x_{19,6} = 0$); pokud by po tomto spoji byla realizována přeprava 1 t obilovin, zvýší se úhrnný počet ujetých tkm v celém systému přepravy o 12,5 tkm; spoj může převzít maximální dodávku 31 t od optimálního spoje 1, E .

Součet hodnot x_{ij} v každém sloupci incidenční matice představuje celkovou kapacitu každého výrobního centra; součet hodnot x_{ij} v jednotlivých řádcích incidenční matice reprezentuje kapacitu jednotlivých skladovacích objektů.

Celkový počet optimálních dodávek $x_{ij} \neq 0$, které jsou určeny optimálním řešením dopravní úlohy lineárního programování, nepřesahuje počet $m + n - 1$. Je-li počet optimálních dodávek značně menší než hodnota $m + n - 1$, dochází k tzv. silné degeneraci řešení. V tom případě je v systému pravděpodobně malý počet výhodných spojů. Dochází ke kumulaci dodávek do velkých objemů a to znamená značné zatížení některých dopravních spojů. Z hlediska řízení dopravy může být takové řešení výhodné; malá pestrost dopravních spojů ale může být v rozporu s požadavky na důslednou specializaci některých skladů v systému. Silně frekventované dopravní spoje by měly mít přednost při rozdělování investic na údržbu úseků cest, které obhospodařuje podnik.

Při analýze hodnot x_{ij} u velkých dopravních systémů určujeme průměrnou velikost optimální dodávky $\bar{x}_{ij}$, rozptyl od průměru, případně variační rozpětí. Průměrná velikost dodávky $\bar{x}_{ij}$ udává průměrné zatížení optimálního dopravního spoje a slouží jako podklad pro určení průměrného počtu potřebných dopravních prostředků. Velikost rozptylu dovoluje odhadnout rovnoměrnost zatížení optimálních spojů: čím je rozptyl od průměru větší, tím jsou optimální spoje zatíženy nerovnoměrněji.

Je-li mezi hodnotami x_{ij} velké variační rozpětí, existují v systému relativně velké a malé dodávky. Velké dodávky mohou být výhodné z hlediska organizace dopravy; jestliže ale dojde v dopravním systému k porušení optimálních přesunů, může to mít za následek přesun velké dodávky na nevýhodný spoj a tím značné zhoršení hodnoty kritériální funkce. Malé dodávky je opět nutno přesunovat k jiným dodávkám, kumulovat je do větších celků tak, aby došlo k úplnému vytížení objemu dopravních prostředků a to může mít za následek opět zhoršení optimální hodnoty kritériální funkce.

V informačních buňkách v tab. I jsou uvedeny optimální hodnoty $x_{ij} \neq 0$. Všechny tyto hodnoty x_{ij} představují reálnou přepravu obilí mezi výrobními centry a sklady s výjimkou hodnot x_{ij} ve sloupci F , které představují míru nevyužití kapacit skladů.

I. Incidenční matice modelu systému s neomezeným tranzitem

	1		2		3		4		5	
A		25,0 7,0 462,0 7,1		32,5 26,5 240,0 4,2		32,5 26,5 495,0 4,3		40,0 32,0 136,0 7,4		40,0 31,5 255,0 5,5
B		37,0 19,0 462,0 7,1		27,0 21,0 240,0 4,2		27,0 21,0 495,0 4,3		21,0 13,0 136,0 7,4		21,0 12,5 255,0 5,5
C		34,0 16,0 462,0 7,1		21,0 15,0 240,0 4,2		21,0 15,0 495,0 4,3		17,0 9,0 136,0 7,4		17,0 8,5 255,0 5,5
D		20,0 2,0 462,0 7,1	240	6,0 0,0 240,0 4,2	495	6,0 0,0 495,0 4,3		11,5 3,5 136,0 7,4		11,5 3,0 255,0 5,5
E	31	16,0 0,0 31,0 5,1		5,0 1,0 31,0 5,1		5,0 1,0 31,0 5,1		6,5 0,5 31,0 5,1	255	6,5 0,0 255,0 5,5
G		14,0 2,0 31,0 5,1		7,5 7,5 31,0 5,1		6,5 6,5 31,0 5,1		11,0 9,0 31,0 5,1		7,0 4,5 255,0 5,5
H	462	18,0 0,0 462,0 7,1		7,0 1,0 240,0 4,2		8,5 2,5 495,0 4,3	136	8,0 0,0 136,0 7,4		9,0 0,5 255,0 5,5
	18,0		6,0		6,0		8,0		8,5	

6		7		8		9		10		11	
	40,0 31,5 119,0 5,6		40,0 31,5 177,0 5,7		35,5 29,0 221,0 4,8		35,5 29,0 221,0 4,9		35,5 19,5 187,0 5,10		35,5 20,0 8,0 5,21
	21,0 12,5 119,0 5,6		21,0 12,5 177,0 5,7		27,5 21,0 221,0 4,8		27,5 21,0 221,0 4,9		35,0 19,0 187,0 5,10		35,0 19,5 8,0 5,21
	7,0 8,5 119,0 5,6		21,0 12,5 177,0 5,7		21,5 15,0 221,0 4,8		21,5 15,0 221,0 4,9		32,0 16,0 187,0 5,10		32,0 16,5 8,0 5,21
	11,5 3,0 119,0 5,6		14,0 5,5 177,0 5,7	221	6,5 0,0 221,0 4,8	221	6,5 0,0 221,0 4,9		20,0 4,0 187,0 5,10		20,0 4,5 8,0 5,21
119	6,5 0,0 119,0 5,6	117	6,5 0,0 177,0 5,7		12,0 7,5 31,0 5,1		13,5 9,0 31,0 5,3	187	14,0 0,0 187,0 5,10		14,0 0,5 8,0 5,21
	13,0 10,5 119,0 5,6		4,5 2,0 177,0 5,7		8,5 8,0 31,0 5,1		11,5 11,0 31,0 5,1		16,5 6,5 187,0 5,10	304	9,5 0,0 304,0 6,11
	12,0 3,5 119,0 5,6		14,0 5,5 177,0 5,7		9,0 2,5 221,0 4,8		10,5 4,0 221,0 4,9		24,0 8,0 187,0 5,10		27,0 11,5 8,0 5,21
8,5		8,5		6,5		6,5		16,0		15,5	

	12		13		14		15		16	
		26,0 12,0 8,0 5,21		26,0 13,0 8,0 5,21		33,5 22,0 462,0 7,1		33,5 22,0 272,0 5,15		33,5 22,0 170,0 5,16
B		38,0 24,0 8,0 5,21		38,0 25,0 8,0 5,21		33,0 421,5 62,0 7,1		33,5 22,0 272,0 5,15		33,5 22,0 170,0 5,16
C		35,0 21,0 8,0 5,21		35,0 22,0 8,0 5,21		28,0 16,5 462,0 7,1		28,0 16,5 272,0 5,15		28,0 16,5 170,0 5,16
D		15,0 1,0 8,0 5,21		15,0 2,0 8,0 5,21		14,0 2,5 462,0 7,1		14,0 2,5 272,0 5,15		14,0 2,5 170,0 5,16
E		18,5 6,5 8,0 5,21		18,5 7,5 8,0 5,21	680	9,5 0,0 680,0 5,14	272	9,5 0,0 272,0 5,15	170	9,5 0,0 170,0 5,16
G	68	8,0 0,0 68,0 6,12	153	7,0 0,0 153,0 6,13		7,5 2,0 475,0 6,21		13,0 7,5 272,0 5,15		8,5 3,0 170,0 5,16
H		24,0 10,0 8,0 5,21		23,0 10,0 8,0 5,21		19,0 7,5 462,0 7,1		23,0 11,5 272,0 5,15		21,0 9,5 170,0 5,16
		14,0		13,0		11,5		11,5		11,5

17		18		19		20		21		22	
	39,5 31,5 221,0 5,17		35,5 31,5 500,0 1,F		35,5 29,5 500,0 1,F		40,5 32,0 500,0 1,F		25,5 5,5 8,0 5,21		25,5 5,5 153,0 5,22
	20,5 12,5 221,0 5,17		27,5 23,5 612,0 7,18		27,5 21,5 697,0 7,19		21,5 13,0 538,0 7,20		37,5 17,5 8,0 5,21		37,5 17,5 153,0 5,22
	17,0 9,0 221,0 5,17		21,5 17,5 612,0 7,18		21,5 15,5 697,0 7,19		18,5 10,0 538,0 7,20		34,5 14,5 8,0 5,21		34,5 14,5 153,0 5,22
	9,5 1,5 221,0 5,17		7,0 3,0 612,0 7,18		8,0 2,0 697,0 7,19		14,5 6,0 538,0 7,20		20,5 0,5 8,0 5,21		20,5 0,5 153,0 5,22
221	6,0 0,0 221,0 5,17		8,5 6,5 31,0 5,1		12,5 8,5 31,0 5,1		9,5 3,0 31,0 5,1	8	18,0 0,0 8,0 5,21	153	18,0 0,0 153,0 5,22
	14,5 2,5 221,0 5,17		10,0 12,5 30,1 5,1		12,5 12,5 31,0 5,1		21,0 18,5 31,0 5,1	475	14,0 0,0 475,0 6,21		16,0 2,5 153,0 5,22
	16,0 8,0 221,0 5,17	612	4,0 0,0 612,0 7,18	697	6,0 0,0 697,0 7,19	538	8,5 0,0 538,0 7,20		24,0 4,0 8,0 5,21		25,0 5,0 153,0 5,22
8,0		4,0		6,0		8,5		20,0		20,0	

	23		24		25		26		27	
A		25,5 5,5 68,0 5,23		25,5 5,5 68,0 5,24		25,5 5,5 68,0 5,25		36,0 18,0 442,0 5,26		33,0 22,0 462,0 7,1
B		37,5 17,5 68,0 5,23		37,5 17,5 68,0 5,24		37,5 17,5 68,0 5,25		35,5 17,5 442,0 5,26		32,5 21,5 462,0 7,1
C		34,5 14,5 68,0 5,23		34,5 14,5 68,0 5,24		34,5 14,5 68,0 5,25		32,5 14,5 442,0 5,26		27,5 16,5 462,0 7,1
D		20,5 0,5 68,0 5,23		20,5 0,5 68,0 5,24		20,5 0,5 68,0 5,25		20,5 2,5 442,0 5,26		13,5 2,5 462,0 7,1
E	68	18,0 0,0 68,0 5,23	68	18,0 0,0 68,0 5,24	68	18,0 0,0 68,0 5,25	442	16,0 0,0 442,0 5,26	714	9,0 0,0 714,0 5,27
G		20,5 6,5 68,0 5,23		25,5 11,5 68,0 5,24		17,5 3,5 68,0 5,25		24,0 22,0 442,0 5,26		32,0 27,0 475,0 6,21
H		25,0 5,0 68,0 5,23		28,0 8,0 68,0 5,24		25,0 5,0 68,0 5,25		26,0 8,0 442,0 5,26		19,0 8,0 462,0 7,1
	20,0		20,0		20,0		18,0		11,0	

28		29		30		31		F		
	34,0 30,0 204,0 5,28		29,0 32,0 340,0 5,29		25,5 13,5 170,0 5,30		35,5 19,5 153,0 5,31	500	0,0 0,0 500,0 1,F	0,0
	26,0 22,0 204,0 5,28		20,0 13,0 340,0 5,29		37,5 25,5 170,0 5,30		35,0 19,0 153,0 5,31	1200	0,0 0,0 1200,0 2,F	0,0
	20,0 16,0 204,0 5,28		16,5 9,5 340,0 5,29		34,5 22,5 170,0 5,30		32,0 16,0 153,0 5,31	5100	0,0 0,0 5100,0 3,F	0,0
	5,0 1,0 204,0 5,28		13,0 6,0 340,0 5,29		20,5 8,5 170,0 5,30		20,0 4,0 153,0 5,31	2323	0,0 0,0 2323,0 4,5	0,0
204	2,0 0,0 204,0 5,28	340	5,0 0,0 340,0 5,29	170	10,0 0,0 170,0 5,30	153	14,0 0,0 153,0 5,31		0,0 2,0 31,0 5,1	- 2,0
	29,0 31,0 204,0 5,28		24,5 23,5 340,0 5,29		18,0 12,5 170,0 5,30		11,5 1,5 153,0 5,31		0,0 0,0 31,0 5,1	- 6,0
	9,0 5,0 204,0 5,28		13,5 6,5 340,0 5,29		16,0 4,0 170,0 5,30		31,0 15,0 153,0 5,31	5555	0,0 0,0 5555,0 7,5	0,0
4,0		7,0		12,0		16,0		0,0		

* Průměrná velikost optimální dodávky je 276 t a tato hodnota má veliký rozptyl $\sigma^2 = 39\,017$ a směrodatnou odchylku $\sigma = 198$. Velikosti rozptylu odpovídá i variační rozpětí; nejnižší hodnota dodávky je 8 t, nejvyšší 714 t. Většina nejvyšších dodávek se pohybuje kolem 500 t, nejnižších kolem 100 t.

Z hlediska velikosti rozptylu je frekvence přepravy na jednotlivých optimálních spojích velmi nerovnoměrná. V systému tedy existují cesty a úseky cest, které jsou silně zatíženy, a spoje, na kterých je frekvence dopravy relativně malá.

V řešení (bez účasti fiktivních dodávek ve sloupci F) dochází k silné pětinásobné degeneraci. Znamená to, že dopravní systém může být chudý na výhodné dopravní spoje (toto zjištění je ale třeba ještě prověřit z hlediska dalších kritérií). Minimální hodnota kritériální funkce je 83 741 tkm při odvozu celého objemu produkce obilí.

Navržená optimální přeprava je z praktického hlediska realizovatelná až na dodávku mezi střediskem 21 a skladem E , která je velmi malá (pouhých 8 t) a doporučujeme proto, aby středisko 21 dodávalo celou svou produkci, tj. 483 t, do skladu G ; vzhledem k malému objemu přesunu je ztráta na hodnotě kritériální funkce zanedbatelná.

Zhoršení hodnoty kritériální funkce při použití neoptimálního spoje udává veličina r_{ij} , která představuje zvýšení minimálního počtu potřebných tkm při převozu 1 t obilí po neoptimálním spoji. U rozsáhlých dopravních systémů určujeme průměrnou velikost veličiny $\bar{r}_{ij}$, rozptyl od průměru a variační rozpětí podobně jako u hodnot x_{ij} . Průměrná hodnota veličiny r_{ij} udává velikost průměrné ztráty při realizaci náhradní přepravy. Jestliže má veličina r_{ij} velký rozptyl, v dopravním systému jsou velmi variabilní spoje z hlediska výhodnosti a nevýhodnosti přepravy. Je-li rozptyl malý, v systému je mnoho spojů, které jsou z hlediska ztrát rovnocenné. Má-li r_{ij} velké variační rozpětí, potom v dopravním systému existují spoje, které jsou z hlediska ztráty velmi výhodné a pomocí nich lze konstruovat další, tzv. ryzí nebo proximální alternativní varianty dopravy, při kterých se hodnota kritériální funkce buď vůbec nezmění, nebo se zhorší jen relativně málo.

Analýza informace r_{ij} je při rozboru výsledků modelu velmi důležitá, protože umožňuje zvětšit počet optimálních spojů a tím i rozšířit dispečerské možnosti pro řízení dopravy.

Průměrná velikost veličiny r_{ij} v celém modelu je 5,05 tkm a tato veličina má velký rozptyl. Naproti tomu rozptyly v jednotlivých horizontech skladů, jejichž kapacita je v optimálním systému přepravy zcela nebo zčásti využívána, jsou relativně malé (tab. II).

Z průměrné velikosti kritéria r_{ij} v jednotlivých horizontech i velikosti rozptylu je zřejmé výhodné umístění skladů D a E ; např. při náhradní přepravě do skladu D dochází ke zhoršení pouze o 2,57 tkm na 1 t přepravovaného materiálu a toto zhoršení je přibližně stejné u všech náhradních spojů, které vedou do skladu D .

Podle velikosti hodnoty r_{ij} lze všechny neoptimální dopravní spoje rozdělit na spoje vysoce perspektivní, perspektivní a neperspektivní:

1. Do skupiny vysoce perspektivních neoptimálních spojů zařadíme spoje s hodnotou $r_{ij} = 0$ nebo relativně velmi malou hodnotou r_{ij} . Tyto spoje můžeme při řízení dopravy použít v prvním pořadí, když není možno použít optimální spoj.

2. Mezi perspektivní spoje zařadíme neoptimální spoje s relativně únosnou hodnotou r_{ij} . Tyto spoje, při jejichž použití je ztráta ještě únosná, můžeme použít při řízení dopravy v druhém pořadí, když není k dispozici spoj optimální nebo vysoce perspektivní.

3. Zbývající neoptimální spoje tvoří množinu neperspektivních spojů. Tyto spoje není vhodné při řízení dopravy vůbec používat.

Horizont skladu	r_{ij}	Rozptyl
<i>D</i>	2,57	3,98
<i>E</i>	4,68	6,45
<i>G</i>	9,93	17,84
<i>H</i>	6,5	12,27

Podle průměrné velikosti hodnoty r_{ij} v modelu bylo zvoleno kritérium pro klasifikaci neoptimálních spojů podle typu perspektivity takto:

$r_{ij} \in (0; 2,5 >$ spoje vysoce perspektivní

$r_{ij} \in (2,5; 7,5 >$ spoje perspektivní

$r_{ij} \in (7,5; \infty)$ spoje neperspektivní

V dopravním systému je celkem 30 vysoce perspektivních spojů a 39 perspektivních spojů. Z toho 6 spojů má hodnotu $r_{ij} = 0,5$, 5 spojů hodnotu $r_{ij} = 1$, tj. z hlediska veličiny r_{ij} není dopravní systém degenerovaný a má velkou variabilitu ve výběru výhodných spojů. Perspektivita spojů byla ale určena jen podle kritéria r_{ij} a je nutné ji prověřit ještě z hlediska dalších kritérií.

Kvalitu spoje lze posuzovat rovněž podle jeho schopnosti propustit určitý objem materiálu. Může totiž nastat případ, že spoj, který je vysoce perspektivní z hlediska veličiny r_{ij} , má tak malou propustnost, že je z hlediska přepravy nebo případných úvah o opravách a údržbě dopravní trasy zcela zanedbatelný. Z toho důvodu je nutné u všech spojů — optimálních i neoptimálních — analyzovat veličinu θ_{ij} , která udává maximální možnou propustnost spoje $D_i S_j$; u optimálních spojů je $\theta_{ij} = x_{ij}$.

U veličiny θ_{ij} zjišťujeme její průměrnou hodnotu $\bar{\theta}_{ij}$, rozptyl a variační rozpětí. Podle relativní velikosti θ_{ij} klasifikujeme potom všechny spoje jako spoje vysoce perspektivní, perspektivní a neperspektivní.

Průměrná propustnost všech spojů v modelovaném dopravním systému je rovna $\bar{\theta}_{ij} = 107,7$ t. V porovnání s průměrnou propustností optimálních spojů $\bar{x}_{ij} = 276$ t je celková propustnost značně nižší a činí jen asi 40 % hodnoty propustnosti optimálních spojů. Disperze je rovněž značně velká, $\sigma^2 = 28\,967$, a to jen potvrzuje předchozí zjištění o značně nerovnoměrném vytižení jednotlivých dopravních spojů. Výskyt malé hodnoty $\bar{\theta}_{ij}$ svědčí o tom, že původně velký počet vysoce perspektivních spojů podle kritéria r_{ij} se z hlediska kritéria θ_{ij} snižuje.

Podle relativní velikosti průměrné hodnoty $\bar{\theta}_{ij} = 107,7$ a s přihlédnutím k průměrné hodnotě $\bar{x}_{ij} = 276$ byly všechny spoje rozděleny do tří skupin podle perspektivity takto:

$\theta_{ij} \in < 200; \infty)$ spoje vysoce perspektivní

$\theta_{ij} \in (200; 100 >$ spoje perspektivní

$\theta_{ij} \in (100; 0)$ spoje neperspektivní

Při tvorbě náhradních přeprav, tj. při používání vysoce perspektivních spojů nebo perspektivních spojů z hlediska kritérií r_{ij} a θ_{ij} se převádějí optimální hodnoty x_{ij} nebo jejich části na nerealizované spoje. Každý neoptimální spoj může být ve funkci recipienta, tj. přijmout dodávky od některého optimálního spoje, a každý optimální spoj může mít funkci donora, tj. předat část své dodávky. Některé optimální spoje nabývají mnohonásobně funkce donora, tj. mohou předávat své dodávky nebo jejich části do mnoha neoptimálních spojů. Jiné optimální spoje tuto vlastnost

nemají a adjungují jednoho nebo jen málo recipientů. Optimální spoje, které mají mnohonásobné možnosti při přesunech dodávek, lze tedy mnoha způsoby substituovat a při jejich hodnocení můžeme brát rigorózní měřítko. U spojů, které lze substituovat jen jedním nebo málo způsoby, je třeba hodnocení podle různých typů perspektivity poněkud upravit a uvolnit. Možnosti vzájemné substituce popisují indexy r , s v posledním řádku informační buňky u neoptimálních spojů.

Frekvenci substitucí optimálních spojů v modelu uvádí tab. III.

III. Četnost substitucí spojů

Počet substitucí	Spoje			
1	11,G 14,E	12,G 27,E	13,G	21,G
2	21,G			
4	18,H	19,H	20,H	
5	2,D 8,D	3,D 9,D	4,H	1,H
7	5,E 15,E 23,E 28,E	6,E 16,E 24,E 29,E	7,E 17,E 25,E 30,E	10,E 22,E 26,E 31,E
10	1,H			
18	1,E			
24	21,E			

Při globální syntéze informací, které získáme hodnocením všech spojů $D_i S_j$ podle uvedených kritérií, vytváříme nové optimální řešení, které je kvalitativně bohatší ve srovnání s původním řešením z modelu dopravní úlohy lineárního programování. V tomto řešení rozdělujeme všechny dopravní spoje opět do tří skupin: do skupiny vysoce perspektivních spojů zařadíme spoje, které jsou vysoce perspektivní z hlediska všech tří kritérií; analogicky vytvoříme i skupinu perspektivních spojů a neperspektivních spojů.

Pro operativní použití v praxi je vhodné perspektivitu dopravních spojů vyjádřit v přehledných diagramech, které mohou sloužit přímo jako dispečerské tabulky.

V dispečerské tabulce se uvádějí informace z jednotlivých buněk incidenční matice následujícím způsobem:

1. Optimální spoj se vyjadřuje kroužkem ve čtverci, neoptimální spoj čtvercem; čtverce jsou rozděleny horizontální a vertikální desetinnou sítí (obr. 1a, b).

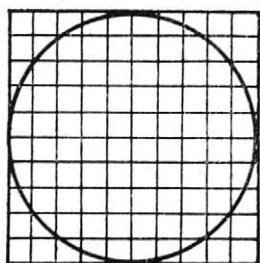
2. Na svislé úsečky sítě se vynáší perspektivita spoje podle kritéria r_{ij} , tj. výhodnost spoje z hlediska náhradní přepravy; perspektivita se

určuje v procentech vzhledem k průměrné hodnotě $\bar{r}_{ij}$ nebo jiné smluvené hodnotě (obr. 1c).

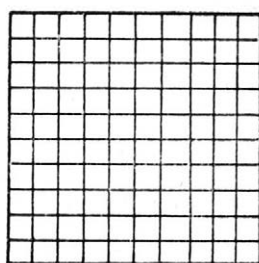
3. Na vodorovné úsečky sítě se analogicky vyznačuje perspektivita podle kritéria θ_{ij} (obr. 1c).

4. Při zakreslování hodnot se bere v úvahu substituovatelnost spoje.

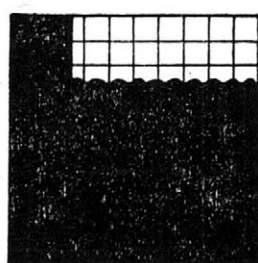
Velikost nepokryté plochy v buňce dispečerského diagramu vyjadřuje globální perspektivitu spoje, tj. vhodnost jeho použití při řízení dopravy.



a



b



c

1. Dispečerský diagram — a) optimální spoj, b) neoptimální spoj, c) spoj, který je z hlediska veličiny r_{ij} vysoce perspektivní, z hlediska veličiny θ_{ij} neperspektivní; celkově hodnocen jako neperspektivní

Podle typu perspektivity byly dopravní spoje v systému dopravy rozděleny do tří skupin a jejich globální vhodnost pro přepravu obilovin v průběhu sklizně vyjádřena v dispečerském diagramu (obr. 2). Hladiny jednotlivých hodnot r_{ij} , θ_{ij} a x_{ij} jsou v diagramu rozděleny pouze do tří skupin hodnot, a to vysoko nad průměrem, na průměrné úrovni a hluboko pod průměrem.



Při konkrétním použití v průběhu sklizně bude dispečerské stanoviště obsazovat především vysoce perspektivní spoje. Pokud se objeví nutnost porušit optimální plán, bude používat spoje perspektivní. Maximální počet ujetých tkm bude v případě optimálního řešení roven hodnotě optimální kritériální funkce, tj. 83 741 tkm. Při využití vysoce perspektivních neoptimálních spojů se zhorší zanedbatelně málo, při použití perspektivních spojů bude zhoršení větší, ale ještě únosné. Neperspektivní spoje, které jsou v diagramu vyznačeny plnou plochou informační buňky, by se v žádném případě používat neměly.

VERIFIKACE MODELU

Při každé modelové analýze existujícího dopravního systému je nutné ověřit pravdivost a věrohodnost výsledných informací. Verifikace modelu se provádí derivací modelové varianty z původního modelu, která odpovídá

IV. Incidenční matice informačních buněk modelu systému dopravy s uzavřeným tranzitem

A		1	25,0	12	26,0	13	26,0	F	0,0							
	1	493	0,0 493,0 1,1		2,0 7,0 1,F		11,0 7,0 1,F	7	0,0 7,0 1,F							
B		4	21,0	5	21,0	6	21,0	7	21,0	F	0,0					
	2	136	0,0 136,0 2,4	255	0,0 225,0 2,5		9,5 119,0 4,6	157	0,0 157,0 2,7	642	0,0 642,0 2,F					
C		3	21,0	11	32,0	14	28,0	15	28,0	16	28,0	17	17,0	28	20,01	
	3		16,0 495,0 5,3		5,0 304,0 7,11		9,0 680,0 7,14		18,5 2777, 5,15		18,5 170,0 5,16		1,0 221,0 7,17		18,0 204,0 5,28	
D		6	11,5	8	6,5	9	6,5	13	15,0	18	6,0	19	8,0	21	20,5	
	4	119	0,0 119,0 4,6	221	0,0 221,0 4,8	221	0,0 221,0 4,9	153	0,0 153,0 4,13	612	0,0 612,0 4,18	697	0,0 697,0 4,19		2,5 483,0 5,21	
E		2	5,0	3	5,0	15	9,5	16	9,5	21	18,0	22	18,0	23	18,0	
	5	240	0,0 240,0 5,2	495	0,0 495,0 5,3	272	0,0 272,0 5,15	170	0,0 170,0 5,16	483	9,9 483,0 5,21	153	0,0 153,0 5,22	68	0,0 68,0 5,23	
G		4	11,0	5	7,0	7	4,5	8	8,5	9	11,5	19	12,5	20	21,0	
	6		6,5 20,0 6,7		2,5 20,0 6,7	20	0,0 20,0 6,7		19,0 20,0 6,7		22,0 20,0 6,7		21,0 697,0 4,19	538	0,0 538,0 6,20	
H		10	24,0	11	27,0	12	24,0	14	19,0	17	16,0	F	0,0			
	7	187	0,0 187,0 7,10	304	0,0 304,0 7,11	68	0,0 68,0 7,12	680	0,0 680,0 7,14	221	0,0 221,0 7,17	6540	0,0 6540,0 7,F			

29	16,5	30	34,5	31	32,0	F	0,0								
	11,5 340,0 5,29		24,5 170,0 5,30	153	0,0 153,0 3,31	497	0,0 4797,0 3,F								
26	20,5	28	5,0	29	13,0	F	0,0								
	4,5 442,0 5,26		3,0 204,0 5,28		7,0 340,0 5,29	1096	0,0 1096,0 3,F								
24	18,0	25	18,0	26	16,0	27	9,0	28	2,0	29	5,0	30	10,0	F	0,0
68	0,0 68,0 5,24	68	0,0 68,0 5,25	442	0,0 442,0 5,26	714	0,0 714,0 5,27	204	0,0 204,0 5,28	340	0,0 340,0 5,29	170	0,0 70,0 5,30	1687	0,0 1687,0 5,F
21	14,0	22	16,5	F	0,0										
	12,5 20,0 6,7		15,0 20,0 6,7		0,0 20,0 6,7										

současnému stavu organizace dopravy; jedná se tedy v podstatě o zobrazení současného stavu v modelu. Výsledky, které získáme z takto derivované varianty modelu, musí pochopitelně souhlasit se skutečnými hodnotami, registrovanými v evidenci podniku.

Vytvoření modelové varianty, která odpovídá současnému stavu organizace dopravy v podniku, má ale ještě jiný význam; umožňuje totiž jednoznačně posoudit a porovnat kvality původního řešení s řešením optimálním. Při konstrukci modelu musí každý odborný pracovník předpokládat, že vedení podniku provádí řízení své dopravy podle svých nejlepších schopností, na podkladě bohaté a mnohaleté zkušenosti a na základě dokonalé znalosti terénu a vztahů dopravy k ostatním výrobním procesům podniku. Jestliže rozdíly mezi hodnotami kritériálních funkcí u optimálního řešení a původního řešení nejsou významné, pak modelová analýza potvrzuje, že organizace dopravy v podniku je dobrá. Pokud se zjistí výrazně velké rozdíly, je výhodné, aby podnik přizpůsobil svoji dosavadní organizaci dopravy optimálnímu modelovému řešení.

Modelová varianta současného stavu dopravy derivovaná z modelu uvedeného v tab. I byla konstruována následujícím způsobem:

V modelu byly pro tranzit obilovin uzavřeny všechny spoje, které podnik dosud nepoužíval. Uzavření spoje bylo provedeno ohodnocením odpovídající hrany grafu prohibitivní vahou. Dosud užívané tradiční spoje byly uvolněny pro tranzit všech druhů obilovin. Kapacity výrobních středisek i kapacity skladových prostor zůstaly beze změny. Na tomto modelu, který budeme dále nazývat model s uzavřeným tranzitem, byly propočteny dvě varianty řešení.

V první variantě byly obsazeny tradiční spoje skutečnými přepravovanými objemy v roce 1977.

Ve druhé variantě bylo spočteno optimální řešení; informace vyplývající z této varianty jsou uvedeny v informačních buňkách incidenční matice v tab. IV.

Velikost hodnoty kritériální funkce při uvažovaných třech variantách řešení systému přepravy je uvedena v tab. V.

V. Porovnání hodnoty kritériální funkce při třech variantách řešení systému přepravy obilovin

Dopravní systém	Minimální nutný počet tkm při přepravě celkového objemu produkce
Systém s neomezeným tranzitem	83 741 tkm
Systém s uzavřeným tranzitem	126 987 tkm
Současné řešení dopravy	127 529 tkm

Pokud podnik bude používat jen tradiční spoje, úroveň řízení přepravy obilovin se pohybuje na hranici optimálního řešení. Pokud ale rozšíří počet používaných spojů a nahradí tradiční spoje novými spoji, dojde ke snížení potřebného počtu tkm až na hodnotu 83 741 tkm, tj. ke snížení asi o 34 %.

Pro nové řízení dopravy v průběhu sklízň je tedy výhodné používat vysoce perspektivní spoje a výjimečně perspektivní spoje, které jsou uvedeny v diagramu (obr. 2). Použití těchto spojů je pro dopravu možné a nevyžaduje žádné zásadní změny ve struktuře a organizaci dopravního procesu.

SOUHRN

Jednou ze základních úloh při analýze dopravního systému je určení množiny dopravních spojů, po kterých lze realizovat přepravu materiálu s minimálními náklady. Množina těchto spojů se potom stává definičním oborem pro tvorbu dalších modelů.

V článku se pojednává o použití specifického modelu teorie grafu a lineárního programování, pomocí kterého se všechny spoje v dopravním systému rozdělují do tří skupin podle perspektivity jejich uplatnění v dopravě. Perspektivita spoje se klasifikuje z několika protichůdných hledisek: z hlediska optimality, z hlediska vhodnosti pro realizaci náhradní přepravy, z hlediska maximální propustnosti a z hlediska vzájemné substituovatelnosti. Informace, jimiž se jednotlivé typy perspektivity kvantifikují, se odvozují z řešení dopravní úlohy lineárního programování, z řešení odpovídající duální úlohy a z vlastností teorie grafu.

Model dopravního systému je vytvořen jako uzlově a hranově ohodnocený graf s odpovídající incidenční maticí; incidenční matice je konstruována jako soustava informačních buněk.

Postup při analýze dopravního systému a metodika aplikace je vysvětlena na příkladech z dispečerského řízení dopravy obilovin v průběhu sklizně.

Došlo dne 11.5.1978

Adresa autorů:

RNDr. Jaroslav Havlíček, ing. Eva Hášová, Vysoká škola zemědělská, 160 21 Praha-Suchdol

Použití matematických metod při operativním řízení dopravy v zemědělském podniku

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 691—709. — 5 tab., 2 obr.

zemědělství, dopravní problém, dopravní systém, síťové grafy, lineární programování, aspekty aplikace

Autoři pojednávají o možnostech využití speciálního modelu pro analýzu a řízení dopravy ve velkém zemědělském podniku. Jde o kombinaci modelu z oblasti teorie grafů a modelu lineárního programování. Tyto propojené modely umožňují řešit čtyřrozměrný dopravní problém z hlediska dodavatele, odběratele, dopravní cesty a dopravních prostředků. Postup je dokumentován na praktickém příkladu. Výsledky se uplatňují v bezprostředním operativním řízení dopravního systému.

V předchozím článku jsme popsali metodický postup aplikace matematického modelu a počítače při operativním řízení dopravy v zemědělském podniku. Při konstrukci modelu i analýze výsledků jsme však předpokládali, že výsledné informace budou sloužit pouze jako podklad pro krátkodobé a bezprostřední řízení dopravy bez provedení zásadních zásahů do struktury dopravního procesu; jediné změny, ke kterým při tomto typu řízení v dopravním systému dochází, jsou přesuny z dosud užívaných tradičních dopravních spojů na nové výhodnější spoje.

Při perspektivním a dlouhodobém plánování a řízení dopravy mohou být ovšem ve struktuře dopravního systému prováděny hlubší změny a pochopitelně i výsledný efekt takových zásahů může být výraznější. V této práci stručně pojednáváme o modelování dopravního systému zemědělského podniku s cílem vytvořit informační podklady pro vyhodnocení možných strukturálních zásahů do procesu dopravy v průběhu dlouhodobého výrobního procesu. Odvození, rozbor a analýza těchto informací již nejsou tak jednoduché, jak tomu bylo v předchozí práci. Jednotlivé uvažované perspektivní zásahy do vnitřní struktury systému, tak jak je podnik předpokládá, jsou modelovány různými typy experimentů na modelu dopravního systému.

V dalším textu navazujeme bezprostředně na text zmíněného předchozího článku. Postup při analýze nejdůležitějších experimentů budeme opět demonstrovat na upraveném modelu dopravního systému sklizně obilovin odštěpného závodu Bochoř oborového podniku Karlovy Vary, který je uveden v tab. I na str. 696.

EMPIRICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ INFORMACE

Informace, pomocí nichž se konstruuje model dopravního systému, se v praxi získávají empirickým pozorováním, měřením a dotazy, z malé části i statistickými odhady na podkladě náhodného výběru. Metodika tvorby těchto informací byla popsána podrobně v práci Havlíček, Dobíáš (1975) a částečně i v práci Knob a kol. (1977). Tyto informace vstupují do modelu a budeme je proto dále nazývat vstupní empirické informace. Po výpočtu optimálního řešení a analýze výsledků se z nich vytvářejí tzv. výstupní empirické informace.

Vstupní i výstupní empirické informace slouží především jako podklady pro bezprostřední operativní rozhodování a řízení dopravního systému, přičemž se nepočítá s hlubšími zásahy do jeho vnitřní struktury.

Při modelování variant řízení dopravního systému, které zatím reálně neexistují, ale které můžeme předpokládat, tj. např. při modelování variant generelů, variant prognostických změn, perspektivních návrhů apod., vkládáme do modelu kromě empirických informací i informace uměle a záměrně vytvořené, jejichž smyslem je provedení experimentu na modelu, kterým napodobujeme předpokládanou variantu řízení dopravního systému. Takové informace budeme dále nazývat experimentální.

Experimentální informace, vstupní i výstupní, slouží nejen jako podklady pro operativní řízení, ale používají se především při dlouhodobém, perspektivním plánování dopravy, při kterém se počítá s hlubšími zásahy do struktury dopravního systému.

PŘEHLED A CHARAKTERISTIKA ZÁKLADNÍCH EXPERIMENTŮ

Předpokládané změny ve struktuře dopravního systému a jim odpovídající experimenty na modelu dopravního systému jsou uvedeny v tab. I.

Kromě těchto experimentů je možno použít další, specifické experimenty; jsou popsány ve výzkumných zprávách (Havlíček, Hášová 1978, Knob a kol. 1977).

I. Přehled základních experimentů na modelu dopravního systému

Název experimentu	Cíl experimentu
Vzájemná adjunkce mezi dodavateli a odběrateli v optimálním řešení dopravního systému.	Posouzení výhodnosti polohy skladovacích kapacit. Posouzení vlivu specializace při odběru produkce.
Změna kapacity odběratele, nebo dodavatele.	Zjištění vhodnosti snížení, nebo zvýšení kapacity skladů. Vhodnost případného zrušení skladu.
Analýza globální propustnosti sítě dopravních spojů.	Zjištění existence jádra neperspektivních spojů. Vhodnost zařazení nového skladu do systému. Charakteristika polohy jednotlivých skladů.
Zařazení nového skladu do systému.	Určení vhodného prostoru pro případné zařazení nového skladu do systému.

ADJUNKCE V OPTIMÁLNÍM DOPRAVNÍM SYSTÉMU

Optimálním řešením jsou si v dopravním systému navzájem přiřazeni jednotliví dodavatelé a odběratelé (viz tabulku informačních buněk na str. 696, nebo diagram na str. 705). Budeme rozlišovat dvojí přiřazení — adjunkci: horizontální a vertikální.

a) Horizontální adjunkce je jednoznačně přiřazení dodavatelů D_i odběratelům S_j pomocí optimálních hodnot $x_{ij} \neq 0$.

Je-li dodavatelů více než odběratelů, potom musí nutně každý odběratel adjungovat více dodavatelů; když budou mít odběratelé vzhledem ke spotřebitelům ideální polohu, budou adjungovat dodavatele v počtu, který je úměrný jejich vlastní kapacitě a objemu dodávané produkce. Obecně ale budou výhodněji položené objekty adjungovat relativně větší počty dodavatelů. Počet adjungovaných dodavatelů tedy určitým způsobem charakterizuje polohu odběratele vůči dodavatelům v dopravním systému. Analogicky můžeme uvažovat o případě, kdy je v systému více odběratelů než spotřebitelů.

Konkrétní počet adjunkcí odběratele je rovněž důležitá informace při rozhodování o eventuální specializaci odběratele, pokud se transportovaná produkce člení na sortimenty. Jestliže dodavatelé produkují několik různých sortimentů produkce, potom odběratel, který adjunguje více dodavatelů, musí mít možnost odběru všech druhů produkce, tj. nemůže svou odběratelskou kapacitu specializovat. Naopak odběratelé, kteří adjungují pouze jednoho nebo málo dodavatelů, mohou se při odběru dodávek specializovat.

Obecně lze říci, že při dopravě různých sortimentů produkce se z hlediska horizontální adjunkce jeví úzká specializace odběratelských objektů jako nevýhodná, protože vyžaduje použití většího počtu dopravních spojů nebo realizaci náhradní přepravy po neoptimálních spojích a tím se zvyšují dopravní náklady.

b) Vertikální adjunkce je jednoznačně přiřazení odběratelů S_j dodavatelům D_i . Pro její analýzu platí obdobné úvahy jako v případě horizontální adjunkce, tj. počet adjunkcí charakterizuje polohu dodavatele vůči odběratelům a může být i kritériem pro úvahy o specializaci produkce.

II. Adjunkční vztahy v optimálním řešení dopravního systému obilovin

Horizontální adjunkce		Vertikální adjunkce	
sklad	počet adjungovaných výr. středisek	výrobní středisko	počet adjungovaných skladů
A	0	1	2
B	0	21	2
C	0	Ostatní výrobní střediska adjungují po jednom skladu	
D	4		
E	19		
G	4		
H	5		

Z optimálního řešení dopravního systému obilovin v tab. I na str. 696 je zřejmé, že adjunkční vztahy v systému jsou velmi nerovnoměrné (tab. II).

Při analýze horizontálních adjunkčních vztahů je nutné porovnat počty adjunkcí s odpovídajícím využitím kapacity skladu. Z tohoto hlediska je kapacita prvních tří skladů A, B a C, které mají nulovou adjunkci, zcela nevyužita. Sklad D adjunguje 4 střediska a jeho kapacita je využita na 33 %, sklady E a G s adjunkcemi 19 a 4 středisek mají kapacitu využítu na 100 %. Sklad H adjunguje 5 středisek a jeho kapacita je využita pouze na 30 %.

V rámci horizontální adjunkce se v uvažovaném systému dopravy sklady *A*, *B* a *C* jeví jako naprosto nevýhodné, dokonce zbytečné; i sklady *D* a *H* mají jen průměrně výhodnou polohu. Naopak sklady *E* a *G* mají polohu velmi výhodnou a bude třeba prověřit ji ještě dalšími typy experimentů.

Z hlediska vertikální adjunkce je s výjimkou dvou výrobních středisek přiřazení finálních skladů výrobním centrům přísně determinované a pokud se nemá optimální plán řízení dopravy zhoršit, je přiřazení nutno respektovat.

Při úvahách o případné specializaci skladů je třeba především zajistit, aby sklad *E*, který adjunguje 19 středisek, měl možnost odebírat a skladovat všechny druhy produkce zrna; zbývající sklady se mohou specializovat nebo částečně specializovat.

Změny specializace výrobních středisek v uvažovaném systému nejsou možné, protože produkce různých sortimentů zrna je determinována přísně plánovanými osevními postupy.

ZMĚNA KAPACITY ODBĚRATELE NEBO DODAVATELE

Analýza vlivu změny kapacity odběratele nebo dodavatele na výslednou informaci se provádí pomocí experimentu na modelu dopravní úlohy lineárního programování, která je součástí popisovaného modelu dopravního systému. V uvažovaném případě má model dopravní úlohy tvar: najít minimum funkce

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij}$$

za podmínek

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_i(\lambda_i), \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = s_j(\mu_j), \quad x_{ij} \geq 0,$$

kde parametry λ_i a μ_j vyjadřují uvažovanou změnu kapacity d_i nebo s_j a nabývají hodnot z intervalu $\lambda_i \in \langle -d_i, \lambda \rangle$, $\mu_j \in \langle -s_j, \mu \rangle$. Teoretické řešení takové úlohy spočívá v realizaci algoritmu vícerozměrné parametrizace úlohy lineárního programování. Výpočetní postupy parametrizace jsou při řešení praktické úlohy velkých rozměrů v podstatě nepoužitelné, a proto jsme vypracovali jednodušší a operativnější postup, který dále stručně popisujeme.

Předpokládejme, že optimální řešení dopravního systému je zapsáno v dopravní tabulce (v tabulce optimálních informačních buněk na str. 696 jsou to informace w_{ij} a x_{ij}); budeme zjišťovat, jaký vliv na řešení dopravy má např. změna kapacity s_a u skladu S_a .

Dá se dokázat, že ke skladu S_a lze v optimální a nedegenerované dopravní tabulce vždy najít jiný sklad S_b s kapacitou s_b takový, že sklady S_a a S_b vytvářejí jistý otevřený obvod, který je znázorněn v tab. III; důkaz je proveden v práci Havlíčka (1978).

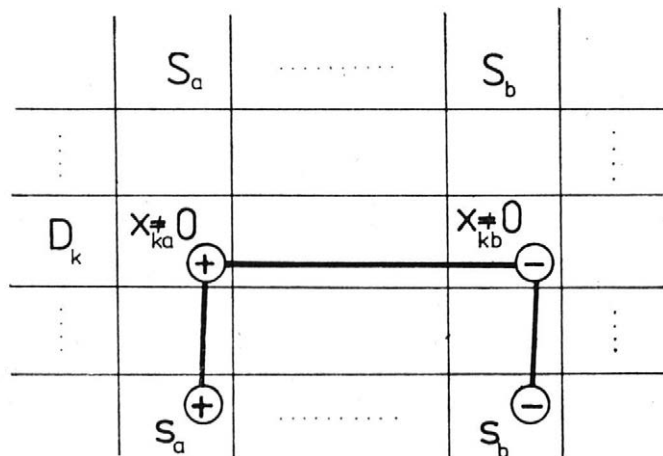
Tento obvod je tedy lomená čára, která vychází z kapacity s_a uvažovaného skladu S_a , lomí se v optimálních buňkách x_{ka} a x_{kb} a končí v kapacitě s_b skladu S_b ; začátek obvodu, rohy a konec obvodu jsou postupně označeny znaménky $++--$. Popsaný obvod budeme dále nazývat otevřeným *H*-obvodem v dopravním modelu.

Otevřený *H*-obvod se liší od známého Dantzigova uzavřeného obvodu v dopravní úloze lineárního programování v několika vlastnostech:

1. Lomená čára není uzavřena.
2. Obvod je označen znaménky $++$ a $--$ nestřídavě.
3. Obvod zasahuje z dopravní tabulky do prostoru kapacit skladů s_j .

Jestliže se nyní kapacity skladu S_a zvýší o hodnotu $\lambda > 0$, nutně se musí snížit o tutéž hodnotu některá jiná kapacita, např. s_b u skladu S_b . Provedeme nyní následující označení: optimální dodávky v buňkách $D_k S_a$ a $D_k S_b$ označíme symboly $x_{ka}^{\oplus}$ a $x_{kb}^{\ominus}$ a analogicky označíme odpovídající sazby symboly $w_{ka}^{\oplus}$ a $w_{kb}^{\ominus}$. Při zvýšení kapacity s_a o hodnotu λ dojde ke stejnému zvýšení u dodávky $x_{ka}^{\oplus}$ a k odpovídajícímu snížení u hodnot $x_{kb}^{\ominus}$ a s_b . Zvolíme-li $\lambda = x_{kb}^{\ominus}$, dojde při přesunech po otevřeném H -obvodu k degeneraci řešení, kterou odstraníme položením $x_{kb} = \varepsilon$, $s_b = x_{kb}^{\ominus} - \varepsilon$, kde ε je velmi malé kladné číslo.

III. Schéma otevřeného H -obvodu, sestrojeného ke skladu S_a v optimálním modelu dopravního systému



Změna kapacity skladu S_a a provedení popsaných přesunů má za následek i změnu hodnoty kritériální funkce; jestliže původní hodnota kritériální funkce byla rovna

$$z = \sum_{i,j} w_{ij} x_{ij},$$

potom se nová hodnota kritériální funkce z' změní takto

$$z' = \sum_{\substack{i \neq k \\ j \neq a, b}} w_{ij} x_{ij} + w_{ka}^{\oplus} (x_{ka} + \lambda) + w_{kb}^{\ominus} (x_{kb} - \lambda), \quad \lambda > 0.$$

Při minimalizaci bude pochopitelně řešení lepší tehdy, jestliže $z' < z$, tj. $z' - z < 0$; dosadíme-li do poslední nerovnosti za hodnoty z a z' , obdržíme kritérium pro případ vhodného snížení kapacity skladu S_a :

$$\begin{aligned} z' - z &= \sum_{\substack{i \neq k \\ j \neq a, b}} w_{ij} x_{ij} + w_{ka}^{\oplus} (x_{ka} + \lambda) + w_{kb}^{\ominus} (x_{kb} - \lambda) - z = \\ &= w_{ka}^{\oplus} x_{ka} + w_{ka}^{\oplus} \lambda + w_{kb}^{\ominus} x_{kb} - w_{kb}^{\ominus} \lambda - w_{ka} x_{ka} - w_{kb} x_{kb}; \end{aligned}$$

odtud, má-li $z' - z < 0$, platí

$$\begin{aligned} w_{ka}^{\oplus} \lambda - w_{kb}^{\ominus} \lambda &< 0, \\ w_{ka}^{\oplus} &< w_{kb}^{\ominus}. \end{aligned}$$

Jestliže při změně kapacity skladu S_a je v odpovídajícím otevřeném H -obvodu sazba $w_{ka}^{\oplus}$ menší než sazba $w_{kb}^{\ominus}$, hodnota kritériální funkce se snižuje.

V následujícím malém příkladě je optimální řešení dopravního systému se 6 dodavateli a 5 sklady. V tabulce jsou sestrojeny tři otevřené H -obvody ke skladům S_1 , S_4 a S_5 (tab. IV).

IV. Příklad dopravního systému s otevřenými H -obvody u skladů S_1 , S_4 a S_5

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	
S_1	40 ⁶ (+)	160 ¹³					(+) 200
S_2			100 ⁴ (-)				(-) 100
S_3	140 ¹³ (-)			20 ⁶	130 ²³	10 ²⁷	(-) 300
S_4				150 ³ (+)			(+) 150
S_5			140 ¹² (+)			110 ²⁸	(+) 250
	180	160	240	170	130	120	

Postup při analýze výhodnosti snižování či zvyšování kapacity skladu ukážeme na příkladě skladu S_5 . V otevřeném H -obvodu je $x_{ka} = x_{35} = 140$, $x_{kb} = x_{32} = 100$, $w_{35}^{\oplus} = 12$, $w_{32}^{\ominus} = 4$. Veličinu λ je možno volit z intervalu $0 \leq \lambda \leq 100$. Protože $w_{35}^{\oplus} > w_{32}^{\ominus}$, při zvýšení kapacity skladu S_5 se hodnota kritériální funkce zvýší, tj. zhorší; změna je tedy nevýhodná. Naopak tomu je výhodná ale opačná změna, tj. snížení kapacity skladu S_5 a zvýšení kapacity skladu S_2 .

Otevřené H -obvody sestrojíme nyní ke každému skladu S_j v systému a analogickým způsobem usuzujeme na výhodnost změny jejich kapacity; pro optimální dopravní systém z tab. IV dostaneme možnosti uvedené v tab. V.

Z tab. V je zřejmé, že v dopravním systému jsou dva sklady, u nichž je velmi výhodné zvýšit kapacitu. Pomocí otevřených H -obvodů je tedy možno sestrojit návrh nového dopravního systému, který má jinou strukturu řízení a který je výhodnější než původní optimální systém (tab. VI).

V novém dopravním systému se změnila kapacity u všech skladů, produkce dodavatelů však zůstává beze změny. Když bude moci podnik své skladové kapacity upravit podle tohoto návrhu, bude realizovat dopravu produkce s hodnotou $z' = 10\,970$ tkm, což je o 16,45 % nižší hodnota než hodnota původního systému v tab. IV, která činila $z = 13\,130$ tkm.

V. Přehled výhodnosti změn kapacit skladů v příkladě dopravního systému

Sklady	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Maximální velikost možné změny, tj. max λ	140	140	150	20	100
$w^{\oplus} - w^{\ominus}$	-7	-8	3	-3	8
Charakter změny	velmi výhodná	velmi výhodná	nevýhodná	výhodná	nevýhodná

Podobným způsobem postupujeme i při analýze změn kapacit dodavatelů.

VI. Nové řízení v příkladě dopravního systému po přesunech po otevřených obvodech

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	
S_1	180 ⁶	160 ¹³	7	8	25	29	340
S_2	9	16	240 ⁴	5	22	26	240
S_3	ε ¹³	20	11	ε ⁶	130 ²³	10 ²⁷	140
S_4	14	21	8	170 ³	20	24	170
S_5	18	25	ε ¹²	7	24	110 ²⁸	110
	180	160	240	170	130	120	

V optimálním systému dopravy obilovin lze v odpovídající dopravní tabulce sestrojit výhodný otevřený H -obvod ke dvěma skladům E a G . Jsou to obvody:

$$\begin{aligned}
 S_e^{\oplus} &\text{---} x_{e,1}^{\oplus} \text{---} x_{h,1}^{\ominus} \text{---} S_h^{\ominus} \\
 S_e^{\oplus} &\text{---} x_{e,21}^{\oplus} \text{---} x_{e,21}^{\ominus} \text{---} S_e^{\ominus}
 \end{aligned}$$

V prvním obvodu se přesune 462 t obilí ze skladu H do skladu E a přitom se sníží hodnota kritériální funkce o 924 tkm. V druhém obvodu se přesune pouze 8 t ze skladu E do skladu G ; snížení činí 32 tkm. Oba sklady E i G mají v původním řízení kapacity zcela využity a proto by měl podnik rozhodnout, zda je v jeho výrobních možnostech je ještě zvýšit nad původně plánovanou horní hladinu skladovacích kapacit.

Při realizaci optimalizačního algoritmu dopravní úlohy lineárního programování se z množiny všech $m \cdot n$ možných dopravních spojů vybírají postupně globálně nejvýhodnější spoje. Pokud je objem převážené produkce relativně malý, realizují se vždy spoje nejvýhodnější a využívají se kapacity odběratelů, které mají výhodné postavení v dopravním systému. Při postupném vzrůstu produkce se obsazují i spoje méně výhodné a při velikém objemu produkce i spoje zcela nevýhodné.

Systém dopravních spojů má jako celek určitou ideální propustnost, která závisí na třech činitelích: na poloze odběratelů, na počtu odběratelů a velikosti jejich kapacit. Na podkladě výše uvedené úvahy je založen experiment, pomocí kterého lze charakterizovat globální propustnost sítě dopravních spojů a výhodnost vzájemné polohy odběratelů a dodavatelů v systému.

Kapacity odběratelů rovnoměrně zvýšíme tak, aby se jejich celkový objem rovnal přibližně dvojnásobku produkce dodavatelů. Potom počítáme optimální řešení dopravního systému pro různé, postupně vzrůstající hladiny produkce, např. pro objem 50 %, 75 % atd. původní produkce a přitom sledujeme rychlost vzrůstu hodnoty kritériální funkce a prioritu ve využívání kapacit jednotlivých odběratelů. Můžeme při tom dojít k následujícím zjištěním:

a) Hodnota kritériální funkce vzrůstá lineárně pro různé zvyšující se hladiny produkce. Důsledek: Systém má dostatečnou propustnost pro uvažovaný tok produkce. Obsahuje dostatečný počet výhodných dopravních spojů.

b) Hodnota kritériální funkce od určité hladiny produkce vykazuje prudký vzrůst. Důsledek: Systém je výhodný pro nižší objem toku produkce. V systému existují nevýhodné spoje, mezi něž by bylo vhodné umístit novou odběratelskou kapacitu a tak snížit celkový počet neperspektivních spojů.

c) Skladovací kapacity se využívají rovnoměrně. Důsledek: Sklady mají v dopravním systému relativně stejně výhodnou polohu. V systému je málo nevýhodných dopravních spojů.

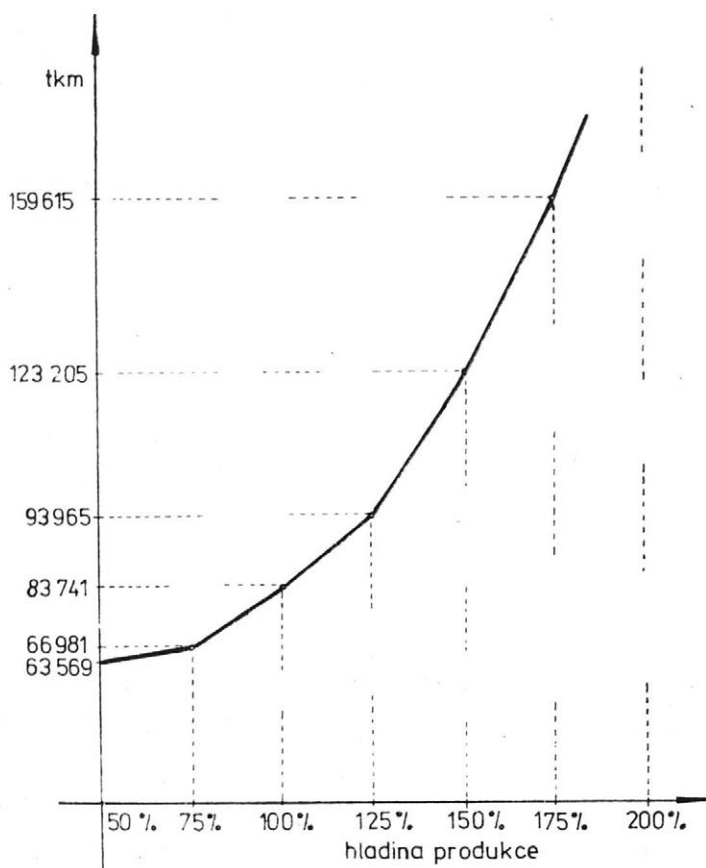
d) Skladové kapacity se využívají nerovnoměrně. Důsledek: Poloha některých skladů je velmi nevýhodná; jestliže zároveň platí případ ad b, nevýhodné spoje vytvářejí jádro, tj. izolovaný subsystém uvnitř sítě dopravních spojů. Centrum jádra neperspektivních spojů je vhodná oblast pro zřízení nové odběratelské kapacity.

Z uvedených kritérií je možno odvodit další podklady pro rozhodování o eventuálním zařazení nového skladu, resp. zrušení stávajících skladovacích kapacit.

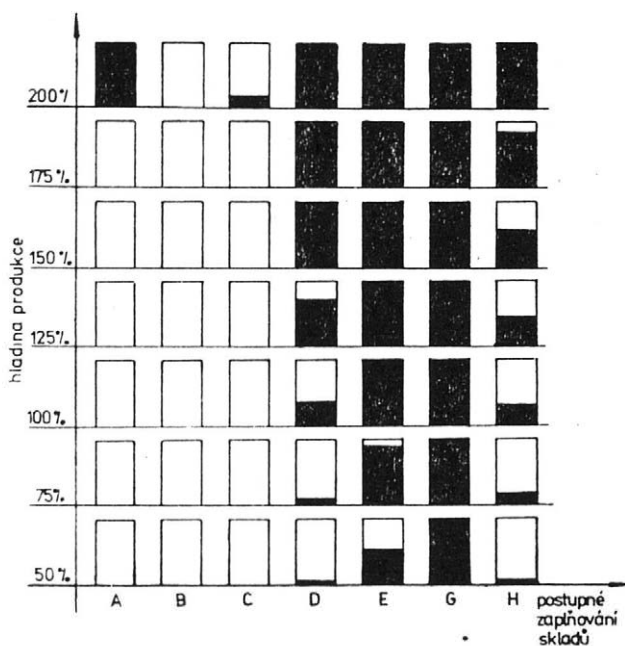
V modelu dopravy obilovin byl proveden experiment pro zjištění globální propustnosti dopravní sítě pro hladiny produkce o objemu 50 % – 200 % původní produkce s délkou kroku 25 %; kapacity skladů byly ponechány v původní velikosti. Pro každou hladinu produkce bylo spočteno odpovídající řešení.

Do hladiny 75 % celkového objemu produkce je vzrůst hodnoty kritériální funkce lineární, při vyšším objemu produkce nastává prudší vzrůst do objemu 125 % produkce. Potom se strmost vzrůstu hodnoty kritériální funkce výrazně zvyšuje (obr. 1).

Zajímavé je rovněž postupné čerpání kapacit jednotlivých skladů, které je zřejmé z obr. 2. Při 50% a 75% hladině produkce se zcela vyčerpává kapacita skladu G a v těsné návaznosti i kapacita skladu E. V dalším pořadí při hladině 100 % a 125 % produkce se částečně využívají kapacity skladů D a H.



2. Postupné čerpání kapacit jednotlivých skladů



V dopravním systému je nedostatek vhodných dopravních spojů pro plánovanou produkci výrobních středisek. Stávající spoje a skladové kapacity vyhovují pro tranzit asi 75 % produkce a zbývajících 25 % produkce se převážně po nevýhodných spojích. Ze všech sedmi skladů mají jen dva sklady (*E* a *G*) výhodnou polohu. Do systému by bylo vhodné zařadit novou skladovou kapacitu, zrušit sklady *A*, *B* a *C* a u skladů *D* a *H* je možno kapacitu skladování snížit.

ZAŘAZENÍ NOVÉHO SKLADU DO SYSTÉMU DOPRAVY

Zařazení nového skladu do dopravního systému má smysl pouze tehdy, jestliže v něm existuje jádro neperspektivních spojů. Existence jádra se dá prokázat provedením předchozího experimentu. Přesná analýza podmnožiny neperspektivních spojů a vyčlenění jádra se dá provést metodou tzv. excelenčních kružnic, která byla vypracována v rámci výzkumného úkolu (Havlíček, Hášová 1978); postup, který je zajímavý a značně komplikovaný, nelze pro nedostatek místa podrobně popsat.

Když vyčleníme neperspektivní spoje z modelu systému a zobrazíme je na mapě, jeví se jejich jádro jako podgraf s výrazně velkým počtem hran ve svém centru. V tomto centru nebo v jeho okolí je oblast, vhodná pro zřízení nebo postavení nového odběratele.

Excelenční oblast, která vznikla po vyčlenění 54 neperspektivních spojů v systému dopravy obilovin, má tvar pravidelného rovnostranného trojúhelníka o délce strany asi 11 km (v konkrétním studovaném případě se jedná o území mezi Hlinkami, Novými Stanovicemi, Pilou, Stružnou a Švinovem na Karlovarsku; uvnitř této oblasti ani v okolí neleží žádný z používaných sedmi skladů *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *G*, *H*).

Analýza excelenční oblasti a případný výběr vhodného místa pro zřízení nového skladu je již činnost, která přísluší pracovníkům zemědělského podniku a odborníkům jiných inženýrských profesí. Při zřízení skladu v teoretickém středu excelenční oblasti se snižuje celkový nutný počet tkm při odvozu celého objemu produkce téměř o 30 %.

SOUHRN

V modelech dopravních systémů se analyzují dva druhy informací: empirická informace, která slouží pro bezprostřední a operativní řízení dopravy bez strukturálních zásahů do vlastností systému, a tzv. experimentální informace, pomoci které se vytvářejí podklady pro dlouhodobé a perspektivní řízení dopravních systémů.

V článku se pojednává o základních typech experimentů na modelu dopravního systému, pomocí nichž se ověřuje vhodnost předpokládaných perspektivních zásahů do struktury systému. Rozebírají se následující typy experimentů: 1. Vzájemná adjunkce mezi odběrateli a dodavateli v dopravním systému. 2. Změna kapacity odběratele nebo dodavatele. 3. Analýza globální propustnosti sítě dopravních spojů. 4. Zařazení nového odběratele do systému. Informace, které z jednotlivých experimentů vyplývají, slouží jako podklady pro rozhodování o případném snížení nebo zvýšení kapacit skladů, zrušení skladu, výstavbě nového skladu a charakterizují vzájemné vztahy mezi jednotlivými prvky dopravního systému.

Postup při realizaci jednotlivých experimentů se ilustruje na modelu dopravního systému sklizně obilovin v zemědělském závodě. Model je konstruován synteticky z modelu teorie grafu a modelu dopravní úlohy lineárního programování.

Literatura

- HAVLÍČEK, J.: Metodika aplikace dopravní úlohy lineárního programování při analýze a optimalizaci dopravního systému zemědělských produktů. Nepublikované sdělení pro ÚVSH, Praha 1978.
- HAVLÍČEK, J. — DOBIÁŠ, J.: Alokační úloha s více centry. Zeměd. Ekon., 23, 1977, č. 4—5.
- HAVLÍČEK, J. — DOBIÁŠ, J.: Teoretický výzkum použití matematických metod a samočinných počítačů pro plánování lesní dopravní sítě. [Výzkumná zpráva.] Bratislava, Slovenská akadémia vied 1975.
- HAVLÍČEK, J. — HÁŠOVÁ, E. — SLABÝ, A.: Dopravní problémy v kooperacích. [Dílčí závěrečná zpráva.] Praha, VŠZ 1978.
- KNOB, M. a kol.: Analýza a optimalizace dopravních systémů u hlavních zemědělských produktů. [Dílčí závěrečná zpráva.] Praha, ÚVSH 1977.

Došlo dne 11. 5. 1978

Adresa autorů:

RNDr. Jaroslav Havlíček, ing. Eva Hášová, Vysoká škola zemědělská,
160 21 Praha-Suchbát

Použití matematických metod při analýze struktury dopravních systémů v zemědělství

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 711—721. — 6 tab., 2 obr., lit. 5

zemědělství, dopravní systém, řízení dopravy dlouhodobé, síťové grafy, lineární programování, experimentování na modelu, aspekty aplikace

Na modelu dopravního systému se provádějí čtyři základní typy experimentů, jejichž cílem je ověření vhodnosti dlouhodobých, perspektivních a závažných zásahů do struktury stávajícího dopravního systému. Jedná se o posouzení změny specializace skladů, změny objemu kapacit, zrušení nebo zřízení nového skladu v systému, určení jádra neperspektivních dopravních spojů a navržení vhodné oblasti pro zřízení nového skladu. Postup je dokumentován na praktickém příkladě.

FORMULACE OKRUŽNÍHO PROBLÉMU A JEHO CHARAKTERISTIKA
V PODMÍNKÁCH ZEMĚDĚLSKÉ VÝROBY

Rostoucí průměrná velikost socialistických zemědělských podniků vyvolala řadu problémů v oblasti organizace a řízení. Jednou ze skupin problémů jsou problémy zemědělské dopravy.

Vzhledem k časté nutnosti optimálního propojení m — prostorově dislokovaných míst se ukazuje jako perspektivně významný problém dopravy patřící do skupiny tzv. „okružních problémů“, někdy též označovaných jako „problém obchodního cestujícího“.

Pomineme-li již známé řešené příklady aplikace okružního problému v zemědělství, jako svoz mléka po dílčích trasách svozu do mlékáren, okruhy zásobování a servisu skupinově nasazených strojů v pracovních špičkách sezón, rozvoz krmiv z centrálních mísíren atd., ukazuje se jako perspektivní nutnost řešení celé řady úloh typu okružního problému, specifického pro podmínky velkých sloučených podniků a služeb zemědělské výroby, např.:

1. Minimalizace celkových přejezdů mezi M hony při jejich obhospodařování při různých polních operacích, v individuálním nebo skupinovém nasazení.

2. Minimalizace délky provozního okruhu při svozu pracovníků.

3. Stanovení optimální celkové a dílčích optimálních variant při řešení asanačního svozu.

4. Optimalizace denního rozvozu a svozu prvotních dokladů z centra podniku na výrobní střediska a zpět.

5. Dílčí a celková optimalizace okruhu úplných a neúplných cest veterinární a inseminační péče.

6. Optimalizace tras pro odběry vzorků různých zemědělských produktů a další problémy.

Všechny uvedené příklady představují svým zadáním tzv. jednoduchý okružní problém, který hledá nejkratší spojení M bodů (uzlů), prostorově dislokovaných, kde M je větší než 2.

Nejkratší spojení (optimální permutace bodů), které hledáme, musí splňovat tyto podmínky:

a) Každým místem (bodem, uzlem) lze projít pouze jednou.

b) Je nutno projít všech M bodů.

c) Spojení dvou bodů v jednom směru a zpět nemusí být totožné co do vzdálenosti, některá spojení mohou být pouze jednosměrná.

d) Do každého uzlu vstupuje a z každého uzlu vystupuje pouze jedna realizovaná cesta z více možných.

e) Dílčí úsek trasy je možné projet opakovaně (mimo vlastní uzel).

f) Nemusí existovat přímé spojení mezi všemi možnými dvojicemi uzlů bez průchodu jiným uzlem.

POPIS ZKOUMANÝCH PROBLÉMŮ ZEMĚDĚLSKÉHO PROVOZU A SLUŽEB

Příklad 1

Mějme prostorově dislokovány hony 1, 2, ..., m , které mají být místy nasazení techniky (komplexní zpracování půdy, sklizeň, linky hnojení, linky agrochemické ochrany) v zadané agrotechnické lhůtě bez určení priority pořadí.

Při skupinovém nebo individuálním nasazení jednotlivých technických linek dochází u velkých zemědělských podniků k neproduktivním přejezdům.

Stanovte pořadí honů pro nasazení techniky s minimalizací celkových přejezdů.

Příklad 2

Mějme velkokapacitní objekt živočišné výroby nebo výrobní skupinu RV, která má v určitém čase zahájit práci na zvoleném místě. Je prováděn svoz K zaměstnanců z m míst, kde $K \geq m$ a $K \leq C$ (kapacita svozného prostředku).

Určete posloupnost míst svozu a zpětného rozvozu s minimální délkou svozného denního okruhu.

Příklad 3

Asanační ústav provádí pravidelnou návštěvu M velkokapacitních objektů ŽV (dvakrát týdně). Mimo to provádí denně svoz z L objektů, kde $1 \leq L \leq M$. Počet L a čísla objektů jsou stanoveny před zahájením trasy na základě hlášeného úhynu zvířat.

Stanovte optimální svoznou trasu pro celý periodicky prováděný prevenční okruh a varianty dílčích svozů s minimálními délkami celkových i dílčích tras.

Příklad 4

Z centra sloučeného zemědělského podniku se provádí poštovním podnikovým automobilem rozvoz dokladů do M středisek, současně se provádí odběr pošty do centra podniku. Auto vyjíždí i vrací se do stejného místa (zvolený uzel č. 1).

Stanovte za existující sítě vozovek minimální okruh svozu.

Příklad 5

Státní veterinární správa kromě pravidelných kontrol objektů živočišné výroby provádí dílčí denní návštěvy objektů za účelem inseminace. Tato inseminace se provádí na proměnlivém počtu objektů v závislosti na denní objednávce.

Stanovte optimální celkovou trasu i dílčí trasy pro výjezdy inseminační skupiny.

Příklad 6

Kontrolní skupiny odebírají vzorky zemědělských výrobků (např. sena, siláže, úsušků apod.).

Pro M míst odběru stanovte celkovou optimální trasu, popř. dílčí okruhy o minimální délce jízdy.

Cílem příspěvku je popis metody, která umožňuje rychlé a efektivní nalezení optimálního, popř. suboptimálního řešení problémů uvedených jako příklady 1 až 6.

OBEZNÁ FORMULACE OKRUŽNÍHO PROBLÉMU PRO UVEDENÉ PŘÍKLADY

Mějme množinu uzlů (bodů) W , tvořenou uzly $U_1, U_2, \dots, U_m$, kde m je konečné číslo.

Spojnice těchto uzlů (cesty, hrany) jsou ohodnoceny číslem (hodnotou) C_{ij} , vyjadřujícím vzdálenost (popř. čas na projetí) z uzlu U_i do uzlu U_j .

$$\text{Hledáme takové } Z_{\min} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{za podmíněk } \sum_{i=1}^m X_{ij} = 1 \quad V^m \sum_{j=1}^m X_{ij} = 1$$

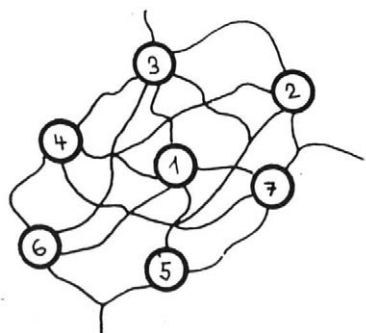
$$\text{kde } X_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

To znamená, že hledáme takovou permutaci ze všech možných posloupností uzlů, kde celkové propojení všech m uzlů nabývá svého minima.

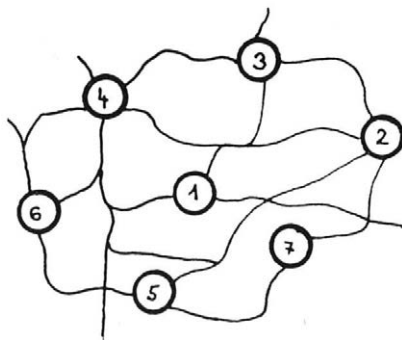
Pokud budeme uvažovat předpoklad, že z libovolného i -tého uzlu existuje přímé spojení (bez nutnosti průchodu dalším uzlem) k libovolně zvolenému j -tému uzlu, budeme pracovat s možnými $m^2 - m$ cestami (příklad A, graficky vyjádřen obr. 1).

Častější je však situace, že nelze tuto podmínku zajistit vzhledem k existující síti cest pro libovolně zvolenou situaci dvojice uzlů U_i, U_j (příklad B, obr. 2).

Maticové vyjádření vzdáleností pro $m = 7$ ukazuje tab. I.



1. Grafické vyjádření příkladu A



2. Grafické vyjádření příkladu B

	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	6	7
1.	M	4	5	4	5	3	3	1.	M	4	4	4	6	7	4
2.	6	M	5	7	8	8	4	2.	5	M	4	7	8	15	4
3.	7	5	M	5	12	8	8	3.	4	5	M	4	M	M	M
4.	5	7	6	M	9	4	8	4.	5	7	5	M	9	4	M
5.	5	8	19	9	M	3	4	5.	8	8	M	9	M	4	5
6.	5	8	8	5	6	M	5	6.	10	15	M	6	4	M	M
7.	4	6	8	10	5	5	M	7.	4	4	M	M	5	M	M

kde M_{ij} je prohibitivní sazba pro zakázané spojení U_i, U_j

HLAVNÍ ZPŮSOBY ŘEŠENÍ ZKOUMANÉ PROBLEMATIKY

Z literatury uvedené v přehledu vyplývá, že řešením okružního problému se v různých modifikacích zabývala řada autorů.

Mezi první aplikace řešení okružního problému patří převod na úlohu celočíselného lineárního programování, řešenou simplexovou metodou (Dantzig 1966). Uvedený postup byl však značně komplikovaný při úlohách větších rozměrů, neboť vyžadoval velký počet iteračních kroků. Některé další nevýhody řešila metoda Croesova (Croes 1958). Použití Croesovy metody a metody Branch and Bound uvádí Černý (1965), který také upozornil na možnost převedení úlohy obchodního cestujícího do úlohy nalezení bezsmýškové cesty plošného grafu.

Původní metodu pro aproximační řešení v blízkosti optima našel Habr (1965, 1966). Tato metoda vycházela z výpočtu frekvencí a byla naprogramována pro samočinný počítač, dále byla ověřena na řadě menších i rozsáhlejších úloh.

Významnější v oblasti řešení okružního problému je metoda větvení a omezení (Branch and Bound), citovaná ve většině příspěvků k řešení zkoumaného problému. Touto metodou se zabývali Little et al. (1963), Agin (1966), Lawler a Wood (1966) a další.

Metodu větvení a omezení pro řešení přiřazovacího problému upravil Kubát (1975), který vzhledem k vlastnostem problému vytvořil přídatná kritéria pro posouzení způsobu, jak vytvářet n uzlů. Metoda byla naprogramována v jazyce FORTRAN.

Převodem problému na řešení síťového grafu u celistvého grafu s podmínkou libovolného spojení dvojice uzlů bez průchodu jiným uzlem se zabýval Loh-Hooi-Tong (1970), podobným způsobem formulovali svoji poznámku k řešení přiřazovacího problému Morávek a Píchová (1972).

Rozsáhlou aplikační práci v oblasti okružního problému v podmínkách zemědělství provedl Barták a kol. (1973, 1970), Barták a Hynar (1973), Barták a Foltýn (1975).

Tyto práce patří k nejuplnějším v této oblasti a úlohy řešené tímto kolektivem jsou vesměs dovedeny do programových popisů a umožňují využití na samočinném počítači.

Různé typy okružních úloh kombinatorickou metodou a prosté přiřazovací úlohy řešili Barták a Foltýn (1975), když v rámci přechodu mezi řešeními navrhli tzv. cyklus změny s pravidelným střídáním prvků $X_{ij} = 1$, $X_{ij} = 0$, ve kterém se ověřuje změna účelové funkce, vzniklá změnou trasy.

V další části postupu pak naznačují kontrolu nalezeného optimálního řešení postupem vycházejícím z Maďarské metody a založeným na úpravě testu optima (u_i, v_j) podle metody MODI.

Z předpokladu souvislé sítě jednohrobových cest a matice sazeb vychází další metoda, v níž Barták a Hynar (1973) použili prohibitivní sazby M pro zakázané cesty. Algoritmus pracující na principu matice minimálních sazeb byl porovnáván z hlediska efektivnosti funkce se Shimbelem, Fordem—Fulkersonem, Warshalem a Dantzigem.

Úvahu o možnosti řešit uvedený problém použitím tzv. Maďarské metody založené na König-Egervaryho principu uvedl v krátké zmínce Souček (1966), avšak bez návodu, jak tuto metodu aplikovat konkrétně na okružní problém. V citované práci bylo použito jednoduché úlohy pro $m = 5$, řešení bylo nacházeno náhodným výběrem nezávislých prvků a bylo konstatováno, že při některém řešení zůstávají dílčí uzavřené okruhy.

Mimo tuto citaci a použití Maďarské metody pro testování nalezeného řešení (Barták a Foltýn 1975) nebylo v dostupné literatuře přímé použití Maďarské metody pro řešení okružního problému v dále popisované podobě nalezeno.

Těžiště prací směřovalo na:

- a) omezování a větvení,
- b) výpočet frekvencí,
- c) nalezení výchozího řešení (vesměs diagonálního) převodem na jinou úlohu a postupné zlepšování testovanými cykly.

I když některé algoritmy byly dovedeny do stadia programů pro počítače, nebyla v literatuře nalezena metoda, jejíž popis by umožňoval jednoduché a rychlé řešení (ruční) i u větších úloh (pro $m = 20$ i více), což by odpovídalo přibližně současným srovnatelným požadavkům velkých sloučených zemědělských podniků.

Obdobně přístupy Dantziga, Ford—Fulkersona, Johnsona a Baracheta (cit. Habr 1960) měly poměrně komplikované a náročné algoritmy, znesnadňující jejich použití v širším záběru pro praktické řešení konkrétních provozních úloh. Širšího použití doznala po naprogramování na samočinný počítač metoda Croesova, zejména pro problematiku mlékárenského průmyslu, dále pak metoda Habrova.

NÁVRH POSTUPU ŘEŠENÍ A ILUSTRACE NA PŘÍKLADU $m = 7$

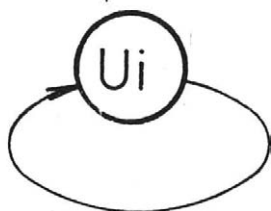
Výchozí úvahy problému svozu

1. Mějme m uzlů (bodů). Minimální počet cest (spojnic), jimiž lze uzavřeným okruhem tyto body propojit, je právě m .

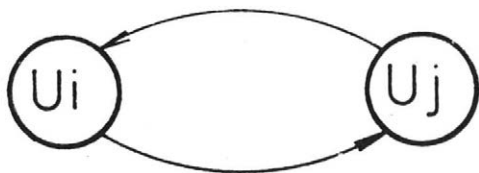
2. Každý uzel (bod) vystupuje současně jako uzel, do kterého jedna cesta vstupuje (spotřebitel v terminologii dopravních úloh) a ze kterého jedna cesta vystupuje (dodavatel). $X_{ij} = 1$

3. V matici M . M tedy hledáme m cest (obsazených polí), obecně existuje M^2 možných cest (v klasické dopravní úloze). Je však nutno přede-
dem vyloučit zpětnou vazbu uzlu, tj. prvky hlavní diagonály. V případě
možného přímého spojení všech uzlů navzájem budeme tedy disponovat
($m^2 - m$) cestami (obr. 3).

4. Při řešení je nutno vyloučit duplicitu cest, tj. současné zařazení
jednoho úseku oběma směry (obr. 4).



3. Přímé spojení všech uzlů navzájem



4. Vyloučení duplicity cest

5. Volbou políčka (cesty) X_{kp} , tj. volbou cesty od uzlu U_k k uzlu U_p ,
musíme současně zablokovat cestu X_{pk} . V konečném řešení při volbě
 m cest současně blokujeme m zpětných cest.

6. Vzhledem k tomu, že jde o silně degenerovaný dopravní problém
 m proměnných v řešení, je předpoklad možnosti řešení jako přiřazovací
dopravní problém (Barták, Hynar 1973, Souček a kol. 1966).

7. Za předpokladu stejné vzdálenosti mezi uzly U_i , U_j a U_j , U_i
budeme pracovat s horní trojúhelníkovou a dolní trojúhelníkovou maticí,
které budou navzájem symetrické podle zakázaných prvků hlavní diago-
nály, matice sazeb (vzdáleností).

8. V případě volby dvou alternativ přímého spojení U_i , U_j budou
uvedené trojúhelníkové matice navzájem nesymetrické.

9. V případě, že jde o příklad B (obr. 2), nelze přímo spojit navzájem
libovolné dvojice uzlů U_i , U_j , obsadíme tedy v matici neexistující přímé
spoje prohibitivními sazbami M , právě tak jako prvky hlavní diagonály.

Odvození postupu řešení zkoumaného problému

S odvoláním na předchozí úvahy 2. a 6. se ukázala možnost řešit
přímo tento zkoumaný problém k optimálnímu, v některých specifických
případech k suboptimálnímu řešení Maďarskou metodou, používanou pro
řešení degenerované dopravní úlohy — přiřazovacího problému. Ex post
po formulaci postupu a ověření popisované metody bylo zjištěno, že se
podobnou zmínkou zabýval Souček (1966) s uvedeným nedostatkem
existujících dílčích cyklů, dále pak Barták a Hynar (1978), kteří část
Maďarské metody používají pro test optima nalezeného řešení. Konkrétní
rozpracování podobného postupu nebylo v dostupné literatuře nalezeno.

Použití König-Egervaryho principu pro řešení okružního problému

Přednosti Maďarské metody nespočívají pouze v jejím snadném a efek-
tivním algoritmu, ale zejména v tom, že z problému jako celku neodděluje
jeho části (subsystémy dílčích obvodů, podtras), ale řeší komplexně,
systémově současně celou množinu uzlů a vazeb mezi nimi.

Při řešení přisuzujeme každému dodavateli nejbližšího spotřebitele, ne však v absolutní podobě, ale vzhledem k systému vzdáleností jako celku.

Tím lze současně optimalizovat uvedený okružní problém, kde každý uzel vstupuje jak v podobě dodavatele jedné cesty (výstupní), tak v podobě spotřebitele jedné cesty (vstupní).

Najdeme-li právě m cest (m spojení uzlů), tento počet je minimálním nutným (podle bodu 1) jediného, všemi uzly probíhajícího okruhu, když každým z uzlů probíhá právě jedenkrát.

Nalezení m cest (spojů) nebo obsazených polí je cílem Maďarské metody, kterou můžeme s odvoláním na úvahy 1. až 9. aplikovat na incidenční matici hran mezi uzly množiny W , s vyloučením prvků hlavní diagonály a prvků, zobrazujících ve skutečnosti neexistující hrany (přímé cesty) z U_i do U_j .

Konkrétní řešení okružního problému s pomocí König-Egerváryho principu je založeno na následující větě:

Věta 1. Pokud v matici realizujeme výběr právě m nezávislých nul, samotných v řádku i sloupci, za podmínek König-Egerváryho věty a kontroly systémem krycích čar a za podmínek stanovených jako 1 a a 1 b, našli jsme řešení okružního problému.

Podmínka 1a: K libovolné nezávislé nule nesmí existovat další zvolená nezávislá nula, symetrická k ní podle hlavní diagonály matice sazeb.

Podmínka 1b: Existující možné podmnožiny z vektoru m nezávislých nul 0, tj. libovolné k -tice nezávislých nul, kde $3 \leq K \leq (m - 1)$ nesmí tvořit dílčí uzavřených obvodů.

Při aplikaci této věty v konstrukci řešení okružního problému se objevuje několik otázek, jejichž řešení nebylo v citované literatuře nalezeno:

1. Postup při výběru nezávislých nul (prvků) v tabulkách větších rozměrů.

2. Postup při algoritmizovaném provádění kontroly řešení systémem krycích čar, zejména na počítači.

3. Postup změny řešení, umožňující opakovanou sekundární redukci uvažovaných prvků.

4. Případné nalezení suboptimálních řešení.

5. Algoritmizované odstranění vzniku dílčích uzavřených obvodů.

Uvedené otázky řeší dále popsany algoritmus, který je v současné době převáděn z ručního výpočtu do programu na počítač.

Popis použitých symbolů při konstrukci úlohy

Úloha bude řešena na čtvercové matici $(C = (c_{ij}))$ $i \in V^m$
 $j \in V^m$

kde $c_{ij} = M_{ij}$ pro $i = j$ M = prohibitivní základní sazba

$c_{ij} \geq c_{ji}$ — symetrická nebo nesymetrická matice pro dvě varianty spojení (U_i, U_j)

$c_{ij} = M_{ij}$ — pro neexistující spojení (U_i, U_j)

Předpoklad 10. Podobně lze formulovat předpoklad, že ne každá z uvedených cest v grafu je propustná oběma směry — princip jednosměrnosti tras spojení uzlů (U_i, U_j) .

Na základě předpokladů 8., 9. a 10. může nastat případ, že budeme uvedenou metodu aplikovat na nesymetrickou matici sazeb o počtu $(C_{ij}) = m^2 - m - A$ (počet reálných cest), kde m je počet uzlů, A je počet zakázaných spojů mimo hlavní diagonálu.

K -tice dílčího uzavřeného obvodu bude vypadat např.:

1. Spojnice (2,3 3,4 4,2 — obr. 5) budou tvořit trojúhelník kolem prvku hlavní diagonály.

2. Spojnice (2,3 3,5 5,7 7,2) budou tvořit uzavřený obvod podle obr. 6.

	1	2	3	4	
1	M				
2		M	●		
3			M	●	
4		●		M	
...					

5. Trojúhelník kolem prvku hlavní diagonály

6. Uzavřený obvod

	-2	3	4	5	6	7	
1							
2	M	●					
3		M		●			
4			M				
5				M		●	
6					M		
7	●					M	
...							

NAVRHOVANÝ ALGORITMUS ŘEŠENÍ

Postup při úplné matici sazeb $m^2 - m$ prvků $C_{ij} - M$

Ruční výpočet

1. Řádková a sloupcová redukce matice, vytvoření nulových sazeb v řadách.

2. Přidání pomocného sloupce 0_i a řádku 0_j podle sledování počtu nul v řadách.

3. Pro ruční výpočet zakreslíme prostorové rozmístění uzlů bez cest $U_1 \dots U_m$ pro kontrolu každého kroku řešení (v algoritmu pro počítač zobrazeno kontrolním polem a systémem tzv. klopných stavů).

4. Vzestupně podle kritéria 0_i určujeme nezávislé nuly $[0]$, přičemž jako pomocné kritérium volíme $\min. 0_j$ při rozhodování o výběru z více možných nul ve stejné řadě nebo při stejném počtu $0_i = \min.$

5. Zvolenou nezávislou nulu obsadíme v matici tvarem $[0]$; zakreslíme v pomocném grafu cestu (U_i, U_j) a současně vyškrtneme diagonálně symetrický prvek k c_{ij} , tj. c_{ji} , který považujeme v daném kroku za zakázaný pro výběr.

6. Postup podle bodů 4 a 5 opakujeme do nalezení maximálně možného počtu nezávislých nul $\overline{0}$.

7. V případě, že jsme při dodržení platnosti věty 1 vybrali právě m nezávislých nul, našli jsme řešení.

8. V případě, že počet vybraných nezávislých nul je menší než m , provedeme kontrolu systémem krycích čar (odvození pravidel a postupu pro kontrolu krycími čarami přesahuje rámec příspěvku).

a) V případě, že krycí čarou zůstane nepřeskrtnuta symetrická nula 0_{ij} ke zvolené nezávislé nule podle bodu 5, uvažujeme tuto hodnotu jako potenciálně zakázané pole pro další krok (s možností návratu) a v následující tabulce obsadíme toto pole hodnotou $0M1$ (tzv. potenciální prohibitivní sazba).

b) V případě, že zůstane nepokryta sazba $c_{ij} = 0$, výběr nezávislých nul opakujeme v téže tabulce s využitím dalšího vzestupného kritéria K_{ij} , přiřazeného nulovým sazbám, od minimálního K_{ij} , kde $K_{ij} = 0_i + 0_j$. Většinou však to není nutno u praktických, skutečných příkladů. U náhodně sestavených matic však může sloužit jako doplňkový test.

9. Na základě systému krycích čar provedeme sekundární redukci matice podle Maďarské metody a postup opakujeme od bodu 4.

Modifikace algoritmu pro matici s neúplným počtem cest

$(c_{ij} \neq M) = m^2 - m - A$ (případ B)

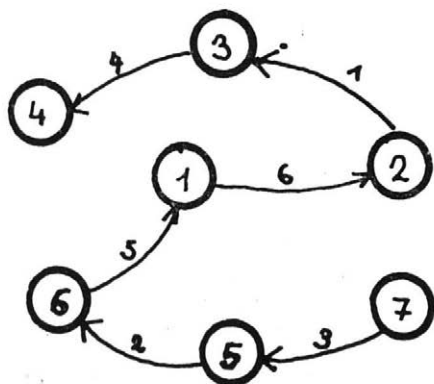
Odlišnosti. Test $0_i, 0_j$ zůstává jako druhé kritérium, vytvoříme další sloupec M_i a řádek M_j , ve kterých budeme sledovat počet prohibitivních sazeb v řadách v jednotlivých krocích. Nezávislé nuly volíme od maximálního M_i . Ostatní body postupu zůstávají shodné.

Popisovaný algoritmus při úplné matici bude naznačen na příkladu A (obr. 1), algoritmus modifikovaný bude naznačen na příkladu B (obr. 2).

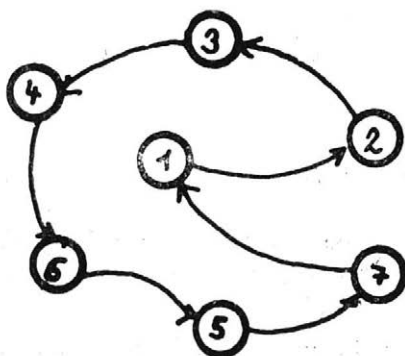
Příklad A

Řešíme minimalizaci svozného okruhu mezi 7 uzly s plným počtem cest. Mezi libovolně zvolenou dvojicí uzlů U_i, U_j existuje přímá cesta o délce C_{ij} — výchozí matice. Po provedené řádkové a sloupcové redukci dostaneme matici C_0 (tab. II, obr. 7).

Matice C_1 — nalezené řešení pro $Z = 32$ ukazuje tab. III, grafické řešení obr. 8.



7. Matice kroku C_0 — příklad A



8. Matice kroku C_1 — příklad A

II. Výchozí matice C_0

	1	2	3	4	5	6	7	O_i	Pořadí vý- běru
1	M	$\overline{0}$	0	0	0	$\overline{0}$	0	6	
2	$\overline{2}$	M	$\overline{0}$	3	3	5	1	1	1
3	2	$\overline{0}$	M	$\overline{0}$	6	4	4	2	4
4	0	2	$\overline{0}$	M	3	0	4	3	
5	1	4	8	5	M	$\overline{0}$	$\overline{1}$	1	2
6	$\overline{0}$	3	2	0	$\overline{0}$	M	1	3	5
7	0	2	3	6	$\overline{0}$	2	M	2	3
O_j	3	2 6	3	3	3	3	1		

III. Matice kroku C_1 — nalezené řešení pro $Z = 32$

	1	2	3	4	5	6	7	O_i	Pořadí
1	M	$\overline{0}$	1	1	1	1	$\overline{0}$	2	2
2	$\overline{2}$	M	$\overline{0}$	3	3	5	0	2	3
3	2	$\overline{0}$	M	$\overline{0}$	6	4	3	1	1
4	0	1	$\overline{0}$	M	3	$\overline{0}$	3	3	5
5	1	3	8	5	M	$\overline{0}$	$\overline{0}$	2	4
6	0	2	2	$\overline{0}$	$\overline{0}$	M	0	4	7
7	$\overline{0}$	1	3	6	$\overline{0}$	2	M	2	5
O_j	3	1	2	2	1	2	4		

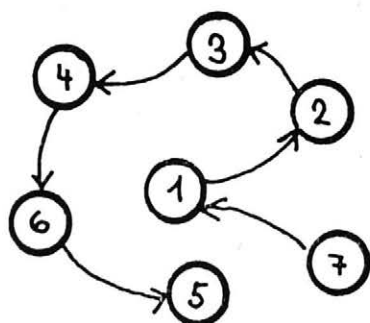
Příklad B

Ukazuje řešení úlohy s neúplnou maticí sazeb. U stejného počtu uzlů jsou voleny jiné vzdálenosti při odlišném systému cest než v příkladu A. Po řádkové a sloupcové redukci dostáváme matici C_0 (tab. IV, obr. 9).

Nalezené řešení úlohy v matici C_1 při hodnotě $Z = 29$ ukazuje tab. V a obr. 10.

IV. Východní matice C_0

	1	2	3	4	5	6	7	M_i	O_i	Poř.
1	M	$\overline{0}$	0	0	2	3	$\overline{0}$	1	4	6
2	$\overline{1}$	M	$\overline{0}$	3	4	11	$\overline{M}$	1	2	5
3	0	$\overline{1}$	M	$\overline{0}$	M	M	M	4	2	2
4	1	3	$\overline{1}$	M	5	$\overline{0}$	M	2	1	4
5	4	4	M	5	M	$\overline{0}$	1	2	1	
6	6	11	M	$\overline{2}$	$\overline{0}$	M	M	3	1	3
7	$\overline{0}$	0	M	M	1	M	M	4	2	1
M_j	1	1	4	2	2	3	4			
O_j	2	2	2	2	1	2	2			

9. Matice kroku C_0 — příklad BV. Matice kroku C_1

	1	2	3	4	5	6	7	M_i	O_i	Poř.
1	M	$\overline{0}$	0	0	2	3	$\overline{0M1}$	2	3	7
2	$\overline{1}$	M	$\overline{0}$	3	4	11	$\overline{0M1}$	2	1	5
3	0	$\overline{1}$	M	$\overline{0}$	M	M	M	4	2	2
4	1	3	$\overline{1}$	M	5	$\overline{0}$	M	2	1	4
5	4	4	M	5	M	$\overline{0}$	$\overline{0}$	2	2	6
6	6	11	M	$\overline{2}$	$\overline{0}$	M	M	3	1	3
7	$\overline{0}$	0	M	M	1	M	M	4	2	1
M_j	1	1	4	2	2	3	6			
O_j	2	2	2	2	1	2	1			

10. Matice kroku C_1 — příklad B

UKÁZKA KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ SVOZNÉHO PROBLÉMU JZD SENICE

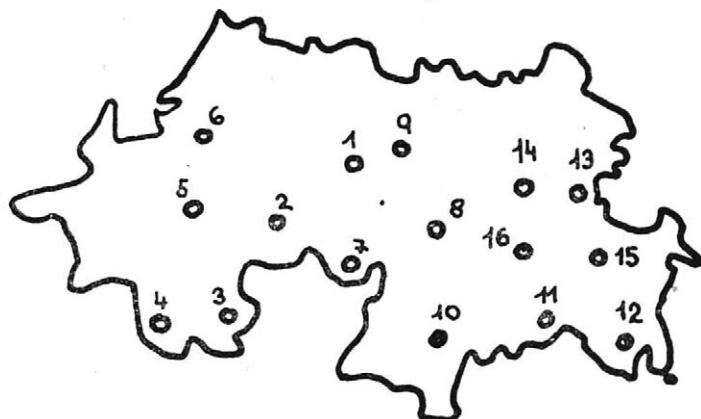
JZD Senice na Hané obhospodařuje cca 9000 ha orné půdy, katastr podniku obsahuje 26 obcí. Mimo centrální, hospodářské a řídicí středisko má dále 15 obcí (míst), jimiž je denně nutno projet při svozu a rozvozu prvotních dokladů, informací a instrukcí.

Osobní vůz (kterýkoliv) s poštou vyjíždí každý den z centrálního střediska U_1 s poštou pro 15 středisek, odtamtud bere poštu pro centrum.

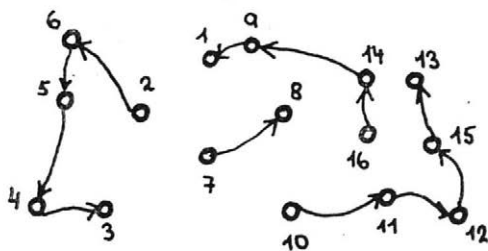
Cílem úlohy bylo nalezení optimálního okruhu mezi 16 body (tab. VI). Matice vzdáleností ukazuje skutečnou síť vozovek v uvedeném katastru. Jednotlivá svozná místa ukazují obr. 11.

11. Jednotlivá svozná místa:

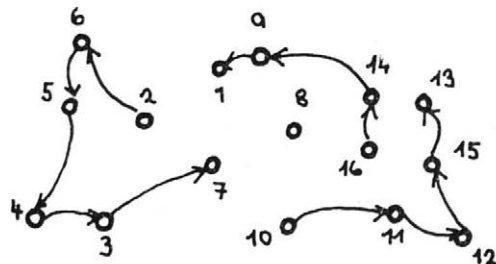
1. Senice 1
2. Senička
3. Olbramice
4. Vilémov
5. Bílsko
6. Cholina
7. Náměšť
8. Loučany
9. Senice 2
10. Drahanovice
11. Slatinice
12. Třepčín 1
13. Lutín
14. Těšetice
15. Třebčín 2
16. Rataje



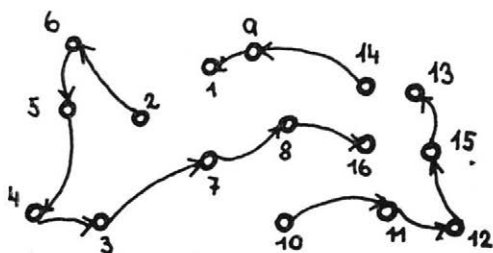
Nalezené řešení je ve čtvrtém kroku (tab. VII), tj. ve třetí sekundární redukci matice sazeb, při hodnotě $Z = 81$ km. Ruční řešení trvalo cca 100 minut, každý krok byl opakovaně kontrolován. Postup tvorby řešení je zřejmý z obr. 12, 13, 14, 15.



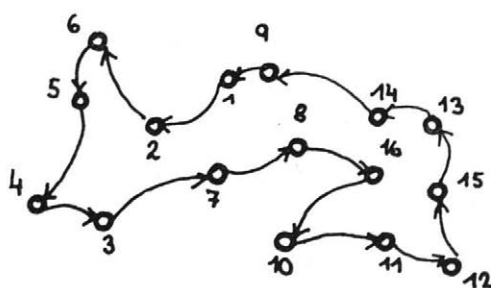
12. Řešení kroku $L = 0$



13. Řešení kroku $L = 1$



14 Řešení kroku $L = 2$



15. Řešení kroku $L = 3$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	M	5	16	16	11	7	9	6	1	15	22	M	17	8	22	18
2	5	M	8	9	7	6	8	7	11	14	25	29	27	13	M	20
3	16	8	M	7	11	M	8	13	17	11	16	25	18	18	24	20
4	16	9	7	M	5	M	11	14	17	17	28	M	30	20	M	25
5	11	7	11	5	M	6	11	14	18	15	M	M	M	19	M	23
6	7	6	M	M	6	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
7	9	8	8	11	11	M	M	3	11	6	17	M	18	13	17	12
8	6	7	13	14	14	M	3	M	8	7	10	M	12	6	11	4
9	1	11	17	17	18	M	11	8	M	17	30	M	29	6	M	23
10	15	14	11	17	15	M	6	7	17	M	5	9	14	12	13	8
11	22	25	16	28	M	M	17	10	30	5	M	4	7	10	4	7
12	M	29	18	M	M	M	M	M	M	9	4	M	M	M	2	M
13	17	27	25	30	M	M	18	12	29	14	7	M	M	9	3	8
14	8	13	18	20	19	M	13	16	6	2	10	M	9	M	10	6
15	22	M	24	M	M	M	M	17	11	M	13	4	2	3	10	M
15	22	M	24	M	M	M	17	11	M	13	4	2	3	10	M	7
16	18	20	20	25	23	M	12	4	23	8	7	M	8	6	7	M

DISKUSE KE ZKOUMANÉMU PROBLÉMU

Citovaná literatura uváděla většinou značně komplikované postupy, protože řešení sítě o počtu uzlů 20 a více bylo již velmi náročné na čas. Při ručním propočtu sítě s počtem uzlů 23 bylo řešení nalezeno popsanou metodou v předem připravených rastroch řádu 23 cca za 160 minut. Lze tedy konstatovat, že uvedený algoritmus pracuje značně efektivně.

Vzhledem k tomu, že počet příkladů vypočítaných popsáním způsobem se v současné době pohybuje kolem 20, nelze dělat definitivní závěry o kvalitě navržené metody.

U všech příkladů vesměs platilo:

a) Algoritmus fungoval snadněji podle skutečné sítě cest z mapy než u teoretických příkladů s uměle koncipovanou sítí cest a vzdáleností.

b) Řešení bylo nalezeno vždy rychle, přídatné kritérium K_{ij} bylo použito pouze jedenkrát.

V dalším postupu bude zřejmě nutné srovnat výsledky s postupem Bartáka podle existujících programů a realizovat program na samočinném

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	M
1	M	<u>0</u>	12	14	10	5	4	6	<u>oM1</u>	9	18	M	14	4	21	13	3
2	<u>3</u>	M	3	7	5	<u>0</u>	2	5	5	7	21	23	23	0	M	14	2
3	12	0	M	<u>3</u>	7	M	<u>0</u>	9	9	2	9	10	19	11	20	12	2
4	12	4	<u>0</u>	M	<u>oM1</u>	M	6	10	9	8	21	M	24	13	M	17	5
5	6	<u>oM1</u>	4	<u>0</u>	M	<u>oM1</u>	5	9	9	5	M	M	M	11	M	14	7
6	<u>oM1</u>	<u>oM1</u>	<u>oM1</u>	M	<u>0</u>	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	15
7	6	3	<u>2</u>	8	8	M	M	<u>0</u>	4	<u>oM1</u>	11	M	13	7	14	5	4
8	6	6	7	14	14	M	<u>oM1</u>	M	4	2	7	M	10	3	11	<u>0</u>	4
9	<u>0</u>	8	13	16	17	<u>oM1</u>	6	7	M	14	26	M	26	<u>oM1</u>	M	19	5
10	13	21	6	15	13	M	0	5	M	M	<u>0</u>	3	10	7	11	<u>2</u>	2
11	22	24	13	28	M	M	13	10	26	<u>oM1</u>	M	<u>0</u>	5	7	3	3	4
12	M	21	13	M	M	M	M	M	M	2	<u>oM1</u>	M	M	M	<u>0</u>	M	12
13	14	7	19	27	M	M	11	9	23	6	1	M	M	<u>0</u>	<u>oM1</u>	1	5
14	6	M	13	18	17	M	7	4	<u>0</u>	5	5	M	<u>5</u>	M	8	M	5
15	21	16	20	M	M	M	12	10	M	7	0	<u>oM1</u>	<u>0</u>	6	M	2	6
16	15	16	17	25	23	M	8	<u>1</u>	19	<u>0</u>	1	M	3	<u>oM1</u>	7	M	4
M_j	3	4	2	3	6	14	4	3	2	4	4	12	4	4	7	4	

počítači, aby bylo možno ověřit metodu na větším souboru příkladů. To se v současné době uskutečňuje.

Ukázalo se však, že i ruční využití navržené metody může přinést řešení a tím i úspory při svozných okružních jízdách podle naznačených problémů, zvláště ve velkých sloučených zemědělských podnicích.

SOUHRN

Předkládaný příspěvek vymezuje některé typy okružního problému v současných zemědělských podnicích, provádí rozbor dosavadních metod a publikovaných přístupů k řešení.

Zabývá se návrhem způsobu, jak použít König-Egervaryho větu rozšířenou o větu 1 pro snadné a efektivní řešení okružního problému, jaký systém doplňkových kontrol zavést, aby bylo řešení jednotlivých kroků postupně zlepšováno až ke konečnému řešení.

Jsou naznačeny dvě modifikace metody podle systému cest a příklad řešení okružního problému pro 16 uzlů.

Zkušenosti s dosavadními výpočty ukázaly, že jde o efektivní metodu, snadno použitelnou i při ručním způsobu řešení.

Literatura

- AGIN, N.: Optikum Seeking with Branch and Bound. *Man. Sc.* 13, 1966, č. 4.
BARTÁK, R. a kol.: Okružní problém. [Závěrečná zpráva.] Praha, VÚEZVŽ 1973.
BARTÁK, R. a kol.: Zpráva dílčího úkolu X 0 — 1/2, část 3, 4, 5. Praha, VÚEZVŽ 1970.
BARTÁK, R. — FOLTÝN, I.: Kombinatorická metoda a řešení prostých přiřazovacích úloh. *EMO*, 11, 1975, č. 3.
BARTÁK, R. — HYNAR, L.: Optimální cesty. *EMO*, 9, 1973, č. 2.
BOHATÁ, M.: Praktická řešení okružní dopravní úlohy — Metoda kombinovaných frekvencí. *EMO*, 9, 1973, č. 2.
CROES, G. A.: A Method for the Solving Travelling Salesman Problem. *Op. Res.* 6, 1958.
ČERNÝ, M.: Algoritmus řešení okružních dopravních úloh. *EMO*, 1, 1965, č. 4.
DANTZIG, G. B.: Lineárne programovanie a jeho rozvoj. Bratislava, SNTL 1966.
DANTZIG, G. B. — FULKERSON, J. J. — JOHNSON, M. T.: On a Linear Programming Combinatorial Approach to the Travelling Salesman Problem. *Op. Res.* 7, 1959.
GOLDŠTEJN, E. F. — JUDIN, D. B.: Zdači lin. programir. transportnyh problem. Moskva, Nauka 1969.
HABR, J.: Jednoduchá a účinná metoda řešení okružních dopravních úloh. *Zeměd. Ekon.*, 11, 1965.
HABR, J.: Řešení zvláštních optimalizačních úloh v zemědělství. Studijní zpráva. Praha, ÚVTI 1966.
KUBÁT, J.: Řešení obecného distribučního problému s optimalisací kapacity zdrojů metodou větvení a omezování. *EMO*, 11, 1975, č. 3.
LAWLER, E. L. — WOOD, D. E.: Branch and Bound Methods — A Survey. *Op. Res.* 4, 1966.
LOH — HOOI — TONG.: On a Class of Directed Graphs with an application to trafic — Flow problems. *Op. Res.* 1, 1970.
MORÁVEK, J. — PÍCHOVÁ, M.: Poznámka k přiřazovacímu problému. *EMO*, 8, 1972, č. 1.
SOUČEK, E. a kol.: Lineární progrmmování — učební pomůcka. VÚ 401. Praha 1966.
VLACH, M.: Řešení dopravního problému metodou větvení. *EMO*, 2, 1966, č. 4.

Došlo dne 11. 5. 1978

Adresa autora:

Ing. Jaroslav Švasta, CSc., Vysoká škola zemědělská, 160 21 Praha-Suchbát

ŠVASTA J., Vysoká škola zemědělská, 160 21 Praha-Suchbát

Příspěvek k systému řešení okružního problému v podmínkách zemědělské výroby

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 723—737. — 7 tab., 15 obr., lit. 19

zemědělství, dopravní problém, okružní problém, aspekty aplikace

Na příkladu řešení okružního problému dopravy v zemědělském podniku jsou porovnávány různé metody přístupu řešení. Největší pozornost se věnuje možnostem využití tzv. König—Egervaryho věty, kterou autor tvůrčím způsobem modifikuje, a to ve směru potřeb řešeného problému.

Jedním z požadavků kladených na dopravu je její hospodárnost. Vedle opatření technického rázu, mezi něž patří nasazování moderních dopravních prostředků, využívání jejich nosnosti a ložného objemu, zlepšování kvality cest apod., k úspoře nákladů na dopravu podstatně přispívá její správná organizace. Efektivně organizovaná doprava zabraňuje časovým ztrátám a zbytečnému přesunu materiálu, omezuje jízdy naprázdno, zajišťuje nejvhodnější přiřazení dopravních prostředků a přepravovaného materiálu a v neposlední řadě využívá nejkratších spojení mezi místy odeslání a místy určení jednotlivých produktů. Při zajišťování tohoto úkolu jsou účinným nástrojem speciální matematické metody — tzv. metody lineárního programování. Jsou to optimalizační metody, pomocí nichž lze při splnění určitých požadavků na straně odběratelů i dodavatelů zajistit daný objem přepravy stejnorodého produktu s minimálním počtem tunokilometrů, popř. s minimálními náklady.

Nejrozšířenějším tvarem úlohy lineárního programování řešící optimální organizaci dopravy je tzv. dvojrozměrný dopravní problém. V tomto problému je spojení mezi jednotlivými dodavateli a odběrateli charakterizováno pouze jejich vzdáleností. Úplnější zobrazení podmínek, za nichž se doprava uskutečňuje, umožňuje vícerozměrný dopravní model, jehož řešení představuje nejvhodnější přiřazení dodavatelů a odběratelů, ovlivněné nejen jejich vzájemnou polohou, ale ještě dalšími činiteli. Tito činitelé tvoří další dimenze dopravního problému.

Z teoretického hlediska i z hlediska praktických aplikací je z více-rozměrných dopravních problémů nejvíce rozpracován trojrozměrný dopravní problém.

MATEMATICKÁ FORMULACE TROJROZMĚRNÉHO DOPRAVNÍHO PROBLÉMU A ZPŮSOBY JEHO ŘEŠENÍ

Jedna z možných formulací trojrozměrného dopravního problému s m dodavateli, n odběrateli a r alternativami třetí dimenze je tvaru

$$\sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n x_{ijk} = a_i \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n x_{ijk} = d_j \quad \text{pro } j = 1, 2, \dots, r$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r x_{ijk} = b_k \quad \text{pro } k = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, r; k = 1, 2, \dots, n$$

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^n c_{ijk} x_{ijk} \rightarrow \min.$$

Neznámými veličinami x_{ijk} v uvedeném modelu jsou přepravovaná množství uvažovaného produktu od i -tého dodavatele ke k -tému odběrateli při j -té alternativě třetí dimenze.

Konstanty a_i , d_j , b_k představují po řadě limitující požadavky dodavatelů, jednotlivých alternativ třetí dimenze a odběratelů a tvoří tzv. okrajové podmínky daného dopravního problému.

Konstanty c_{ijk} nazýváme sazbami a je jimi ohodnocena přeprava jednotkového množství daného produktu od i -tého dodavatele ke k -tému odběrateli při j -té alternativě třetí dimenze.

Lze dokázat, že výše formulovaný trojrozměrný dopravní problém je řešitelný pouze za podmínky

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^r d_j = \sum_{k=1}^n b_k.$$

Podobně jako u dvojrozměrného dopravního problému, i u trojrozměrné úlohy lze této rovnosti všech okrajových podmínek dosáhnout zavedením fiktivního dodavatele nebo odběratele, popř. fiktivní alternativy třetí dimenze.

Pro řešení trojrozměrného dopravního problému lze modifikovat nebo zobecnit některé metody, známé pro řešení dvojrozměrné úlohy. Šváblová, Marunová (1972) modifikovaly pro získání aproximativního řešení trojrozměrného dopravního problému Habrovu frekvenční metodu. Pro dosažení přesného optimálního výsledku trojrozměrného dopravního problému zobecnily MODI-metodu (1973). Pro oba tyto algoritmy existují ve výpočtením středisku PEF v Českých Budějovicích programy v auto-kódu počítače MSP 2A.

MOŽNOSTI UPLATNĚNÍ TROJROZMĚRNÉHO DOPRAVNÍHO PROBLÉMU V ZEMĚDĚLSTVÍ

Nejčastějším činitelem, který vnáší další rozměr do dopravních úloh, je druh dopravních prostředků. Je zřejmé, že z hlediska úspory času i lepší organizace práce výhodnější jsou moderní, výkonné dopravní prostředky, ale vzhledem k jejich omezenému množství je nutné používat též starších typů dopravních prostředků, často ekonomicky méně vhodných. Formulace dopravní úlohy ve tvaru trojrozměrného dopravního problému umožní stanovit při známých přepravních možnostech uvažovaných druhů dopravních prostředků jejich optimální nasazení na cesty spojující jednotlivé dodavatele a odběratele. Přitom pomocí tzv. prohibitivních sazeb je možné vyloučit některý druh dopravního prostředku z dopravy po cestě, která je pro něj zcela nevýhodná.

Rozhodování o nasazení nejvhodnějšího typu dopravního prostředku na cesty různé kvality a různých délek je v současné době zvláště aktuální v zemědělských podnicích, v nichž na jedné straně je nutné využívat stávajícího traktorového parku, na druhé straně začínají být k dispozici nákladní automobily různých typů.

S alternativní volbou typu dopravního prostředku se setkáváme např. při svozu objemných krmiv (traktorové přívěsy, sběrací velkoobjemové návěsy či nákladní automobily), rozvozu chlévské mrvy (rozmetadla, traktorové přívěsy či nákladní automobily), dopravě zrna od skliznicích mlátiček (různě výkonné traktorové soupravy či nákladní automobily) apod. Při výkupu zemědělských produktů je možné pomocí trojrozměrného dopravního problému rozhodnout o tom, pro které úseky dopravy je vhodné použít vlastních dopravních prostředků příslušných zemědělských podniků a v jakém rozsahu je výhodné zajistit dopravu automobily Zemědělského nákupního a zásobovacího podniku.

Dalším činitelem, který může představovat třetí dimenzi v dopravních úlohách, je čas. Přeprava produktů v různých časových obdobích odlišuje sazby příslušející každé dvojici dodavatele a odběratele, neboť náklady na přepravu jednotkového množství je nutné zvýšit o náklady spojené s uskladněním tohoto množství na různě dlouhé období. Uvedený typ trojrozměrného dopravního problému se vyskytuje např. při dopravě některých zemědělských produktů, u nichž sklizeň a uskladnění probíhá v krátkém časovém období a které jsou pak rozesílány do spotřebitelské sítě během delší doby (např. ovoce nebo zelenina).

Ve tvaru trojrozměrné dopravní úlohy lze formulovat každý návazný dopravní problém s jedním mezičlánkem, tzn. s jedním typem mezistanice, která představuje třetí dimenzi. Návazný dopravní problém lze řešit rozkladem na dva dílčí dvojrozměrné dopravní problémy, v nichž se optimalizuje doprava jednak od dodavatelů k mezistanicím, jednak od mezistanic k odběratelům. Tento způsob řešení návazného problému však vede k optimálnímu výsledku pouze tehdy, jde-li o problém v každé své části vyvážený, tzn. rovná-li se úhrn kapacit dodavatelů součtu kapacit mezistanic a součtu požadavků odběratelů. V obecném případě dostáváme zpravidla různé výsledky návazného problému v závislosti na tom, zda nejdříve optimalizujeme dopravu od dodavatelů k mezistanicím (při tomto postupu může dojít k nevyužití kapacit mezistanic, které mají výhodnou polohu vzhledem k odběratelům), či zda jako první problém řešíme optimalizaci dopravy od mezistanic k odběratelům (v tomto případě naopak může zůstat nevyužita kapacita mezistanic, které jsou výhodně umístěny vzhledem k dodavatelům). Exaktní, skutečně optimální výsledek návazného dopravního problému s jedním mezičlánkem může poskytnout pouze jeho komplexní řešení jakožto trojrozměrného dopravního problému.

S návazným dopravním problémem se v zemědělství setkáváme jak ve vnitropodnikové, tak v mezipodnikové dopravě. Tohoto druhu je např. doprava píce do skladů a odtud do stájí, doprava zrna a brambor k posklizňovým linkám a odtud do výkupu nebo k uskladnění, rozvoz chlévské mrvy na polní hnojiště a potom na pole, doprava hospodářských zvířat na jatky, odkud se vytěžené maso rozváží do spotřebitelské sítě nebo k dalšímu zpracování, doprava obilí do mlýnů přes výkupní střediska apod.

PRAKTICKÉ ZKUŠENOSTI S APLIKACEMI TROJROZMĚRNÉHO DOPRAVNÍHO PROBLÉMU V ZEMĚDĚLSTVÍ

Přednosti řešení dopravních situací pomocí trojrozměrného dopravního problému byly ověřeny v několika zemědělských podnicích Jihočeského kraje.

V JZD Skalice se sídlem v Čimelicích, okres Písek, byl ve tvaru troj-

rozměrného dopravního problému formulován rozvoz chlévské mrvy jednak rozmetadly, jednak traktorovými přívěsy. Podrobný popis této úlohy uvádějí Marunová, Valová (1973).

Okrajovými podmínkami v řešené úloze byla disponibilní množství hnoje v jednotlivých stájích (a_i pro $i = 1, 2, \dots, 9$), potřebná množství hnoje na jednotlivých pozemcích (b_k pro $k = 1, 2, \dots, 22$) a rozsah dopravy, který mohl být zajištěn traktorovými přívěsy a rozmetadly (d_j pro $j = 1, 2$). Množství hnoje rozváženého rozmetadly bylo dáno úhrnnou kapacitou hnojišť, která jsou před podzimním hnojením naplněna, a produkcí hnoje za dva měsíce podzimního hnojení.

Sazby c_{ijk} představovaly náklady na přepravu jedné tuny hnoje od i -té stáje ($i = 1, 2, \dots, 9$) na k -tý pozemek ($k = 1, 2, \dots, 22$) j -tým druhem dopravního prostředku ($j = 1, 2$). Do těchto nákladů byly vedle nákladů na dopravu zahrnuty též náklady na ty pracovní operace, kterými se doprava traktorovými přívěsy a rozmetadly navzájem liší. V úloze bylo použito též prohibitivních sazeb, zabraňujících přepravě hnoje od prasat na pozemky, kde se pěstují brambory.

Neznámými veličinami v řešené úloze bylo přepravované množství hnoje od i -té stáje ($i = 1, 2, \dots, 9$) na k -tý pozemek ($k = 1, 2, \dots, 22$) j -tým druhem dopravního prostředku ($j = 1, 2$).

Ze získaného optimálního výsledku bylo odvozeno suboptimální řešení, ve kterém byl navíc ještě respektován požadavek, aby každý pozemek byl pokud možno pohnojen vždy najednou v co nejkratší době. Ve srovnání s tzv. empirickou variantou (tzn. způsobem rozvozu hnoje stanoveným pouze na základě zkušenosti, bez využití matematických metod) představuje suboptimální řešení úsporu 13,37 % nákladů na dopravu a 13,05 % živé práce. Tento efekt optimalizačního výpočtu je způsoben jednak větším využitím rozmetadel, jednak vhodnějším přiřazením stájí a hnojených pozemků.

Ve tvaru trojrozměrného dopravního problému, v němž třetí dimenzi představoval druh dopravního prostředku, byla též formulována úloha o optimálním rozvozu průmyslových hnojiv v Agrochemickém podniku Mydlovary, okres České Budějovice. Jakožto dopravní prostředky byly v této úloze uvažovány automobily IFA W-50 s rozmetadlem DO 32, TATRA 148, TATRA 148 s přívěsem P 10 a TATRA 148 s výklopníkem SPV 10. Okrajové podmínky dopravního problému tvořily kapacity dvou skladů, plánovaná potřeba průmyslových hnojiv v 16 JZD a objem dopravy, který může být zajištěn jednotlivými druhy dopravních prostředků (byly uvažovány celkem tři způsoby rozdělení úhrnného objemu dopravy mezi čtyři dané druhy dopravních prostředků). Při určování sazeb c_{ijk} , které představovaly náklady na přepravu jedné tuny hnojiva z i -tého skladu ($i = 1, 2$) do k -tého JZD ($k = 1, 2, \dots, 16$) j -tým druhem dopravního prostředku ($j = 1, 2, 3, 4$), bylo použito dopravního tarifu TR-4. Získaná optimální řešení ve všech třech variantách potvrdila jednoznačně výhodnost TATRY s výklopníkem a s přívěsem, a to i při dopravě průmyslových hnojiv na kratší vzdálenosti.

V ACHP Mydlovary byla též jakožto trojrozměrný dopravní problém řešena doprava průmyslových hnojiv ze dvou centrálních skladů do 16 JZD

přes 5 meziskladů. Okrajové podmínky v této úloze představovaly kromě kapacity skladů a požadavků JZD skladovací kapacitu uvažovaných meziskladů. Sazby c_{ijk} představovaly vzdálenosti od i -tého skladu ($i = 1, 2$) ke k -tému JZD ($k = 1, 2, \dots, 16$) přes j -tý mezisklad ($j = 1, 2, \dots, 5$). Neznámými veličinami x_{ijk} byla přepravovaná množství průmyslových hnojiv z i -tého skladu ($i = 1, 2$) přes j -tý mezisklad ($j = 1, 2, \dots, 5$) ke k -tému JZD ($k = 1, 2, \dots, 16$).

Řešení optimálního rozvozu průmyslových hnojiv v různých variantách poskytlo vedoucím pracovníkům ACHP Mydlovary důležité informace o ekonomické výhodnosti či nevýhodnosti používaných dopravních prostředků, o vhodnosti počtu, kapacit a rozmístění meziskladů, o zatížení jednotlivých tras, popř. o existenci rovnocenných způsobů přepravy. Využití všech těchto informací jistě přispěje k ekonomickému zefektivnění tak rozsáhlé činnosti, jakou je rozvoz a aplikace průmyslových hnojiv agrochemickým podnikem.

ZÁVĚR

Výsledky trojrozměrných dopravních problémů — podobně jako výsledky všech úloh matematického programování — je nutné chápat především jako podklad pro rozhodování o příslušných optimalizovaných systémech. Přitom v dopravních problémech cenné informace poskytují nejen optimální hodnoty primárních proměnných, ale též odpovídající hodnoty duálních proměnných, pomocí nichž lze zkoumat vliv změn v okrajových podmínkách na ekonomickou efektivnost řešení uvažovaných dopravních situací. Toto experimentování na modelech dopravních úloh umožňuje posoudit vhodnost té či oné varianty ještě před její realizací, což je důležité při rozmísťování dodavatelských a odběratelských středisek, při projektování jejich velikosti, při nákupu dopravních prostředků apod.

Značnou potíž při řešení konkrétních dopravních situací v zemědělských podnicích působí nedostatečná evidence údajů o dopravě. Trojrozměrný dopravní problém je z hlediska přípravy vstupních dat náročnější než dvojrozměrný problém, avšak tuto zdánlivou nevýhodu vyvažuje mnohostrannost informací, které jeho řešení poskytuje. Pro plné uplatnění trojrozměrného dopravního problému v praxi — podobně jako i pro řešení jiných problémů týkajících se ekonomiky dopravy — je bezpodmínečně nutné vybudovat odpovídající informační základnu, která by se stala součástí automatizovaných informačních systémů.

Literatura

- MARUNOVÁ, E. — VALOVÁ, J.: Uplatnění trojrozměrného dopravního problému při optimalizaci rozvozu chlévské mrvy. Zeměd. Ekon. — příloha, 19, 1973, č. 9—10, s. 139—148.
- ŠVÁBOVÁ, M. — MARUNOVÁ, E.: Modifikace Habrovy frekvenční metody pro řešení jednoho typu trojrozměrného dopravního problému. EMO, 1972, č. 3, s. 310 až 322.
- ŠVÁBOVÁ, M. — MARUNOVÁ, E.: Zobecnění MODI-metody pro získání optimálního řešení jednoho typu trojrozměrného dopravního problému. EMO, 1973, č. 2, s. 201—211.

Kolektiv: Závěrečná zpráva subetapy „Výzkum vhodnosti některých matematických metod pro řízení podniku“ dílčího výzkumného úkolu C-11-333-009-03. České Budějovice, PEF VŠZ 1977.

Došlo dne 11.5.1978

Adresa autorky:

RNDr. Eva Vaněčková, CSc., Vysoká škola zemědělská, 370 05 České Budějovice

Integrácia, kooperácia, špecializácia poľnohospodárskych podnikov a vznik veľkých výrobných celkov kladie zvýšené požiadavky aj na vnútro- podnikovú dopravu. Logickým dôsledkom tohoto vývoja je vznik poľno- hospodárskeho nákladného auta, ktoré bolo vyvinuté na rýchlejšie preko- návania väčších vzdialeností a na prepravu pomerne veľkých množstiev hmoty.

Keďže význam vnútropodnikovej dopravy vzrastá, je potrebné sa za- myslieť aj nad jej správnym využívaním. Jedna z možností spočíva v plánovaní spôsobu prepravy. Vhodným plánovaním prepravy sa znížia náklady, čo je veľmi dôležité, pretože zvýšené nároky na vnútro- podnikovú dopravu sa zákonite musia odraziť v raste nákladov z tejto činnosti. Pred organizátormi stojí dopravná úloha, ktorej riešenie spočíva v naplánovaní najkratších ciest v rôznych situáciách, pri splnení požiadaviek na množstvo prepravovanej hmoty. Spôsoby riešenia tejto dopravnej úlohy poskytujú operačná analýza.

V súčasnosti v operačnej analýze sú metódy pre riešenie dopravných úloh pomerne dobre rozpracované. Opierajú sa najmä o poznatky teórie grafov a sietí, ako aj o poznatky niektorých ďalších oblastí matematického programovania, napr. celočíselného programovania (teda aj diskrétného programovania) a špeciálnych metód dopravných úloh.

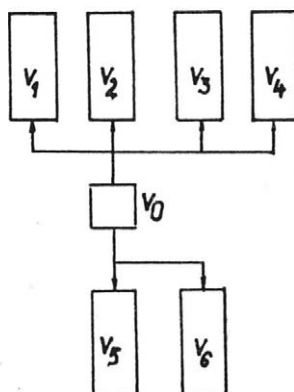
Napriek tomu, že táto problematika je pomerne dlho predmetom skúmania odborníkov z operačnej analýzy a pri jej riešení sa dosiahlo mnoho úspechov, niektoré špeciálne úlohy o rozvoze nevieme dostatočne efektívne riešiť. Jedná sa najmä o tie úlohy, pri ktorých sa dopravné prostriedky vracajú naspäť na miesto odkiaľ vyšli. V praktickom živote sa s týmito úlohami môžeme stretnúť pomerne často.

SKÚMANÁ ÚLOHA

Za účelom lepšieho objasnenia typu úloh o rozvoze, uvádzame konkrét- ny príklad.

Každý deň sa rozváža krmivo z centrálného skladu (v_0) do kooperujú- cich poľnohospodárskych podnikov ($v_1, \dots, v_6$). Poloha podnikov je znázornená na obr. 1. Denná kapacita skladu ($M_0 = 37$ t) postačuje úplne pokryť požiadavky podnikov na množstvá krmiva ($M_1 + \dots + M_6 = 37$ t). Krmivo sa prepravuje jedným nákladným autom s prí- vesom o maximálnej kapacite (r) 8 t. Požiadavky (M_j) jednotlivých

podnikov na množstvách krmiva sú tieto: $M_1 = 7$ t, $M_2 = 7$ t, $M_3 = 5$ t, $M_4 = 9$ t, $M_5 = 4$ t, $M_6 = 5$ t.



1. Približné rozloženie podnikov

Auto, aby vyprázdnilo svoj náklad, je nútené navštíviť viac podnikov. V dôsledku toho sa každý podnik môže stať dočasným dodávateľom krmiva do iného podniku. Po vyprázdnení sa auto vracia do skladu, naložia naň ďalšie krmivo a to opäť prepravuje, pokiaľ nesplní požiadavky všetkých podnikov. Potrebu času (c_{ij}) na prechody (x_{ij}) z jedného podniku do druhého uvádza tab. I.

I. Čas v min na prechody nákladným autom medzi podnikmi v_0 až v_6

	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
v_0	×	50	30	45	60	20	40
v_1	50	×	35	48	70	62	70
v_2	30	35	×	15	22	30	60
v_3	45	48	15	×	20	50	60
v_4	60	70	22	20	×	65	70
v_5	20	62	30	50	65	×	15
v_6	40	70	60	60	70	15	×

Cieľ úlohy. Je potrebné naplánovať také prechody medzi podnikmi, aby po nich nákladné auto prepravilo v čo najkratšom čase požadované množstvo krmiva.

Uvedený príklad úlohy o rozvoze sa môže vyskytovať v rôznych variáciách, napr. nemusí to byť jedno auto, ale viac áut, ktoré sa vydajú na okružné cesty, a chceme, aby súčet ich ciest predstavoval minimálny čas na prepravu hmôt. Môže to byť traktor, ktorý rozváža krmivo a plní ním priamo žlaby. Môže to byť zástupca podniku, ktorý sa vydáva na okružné cesty s dodávkovým autom, aby získal potrebné úzkoprofilové náhradné dielce atď.

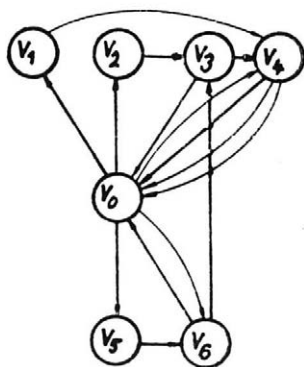
RIEŠENIE ÚLOHY

Skúmanú úlohu môžeme riešiť spôsobom, pri ktorom dostaneme približný výsledok a v niektorých prípadoch aj spôsobom, pri ktorom dostaneme optimálny výsledok. Spôsob riešenia s približným výsledkom je podstatne jednoduchší, realizovateľný s bežne používanými prostriedkami (papier, ceruza, kalkulačka). Naproti tomu spôsob, pri ktorom sa dosiahne optimálny výsledok, je podstatne zložitejší a riešiteľný len pomocou počítača.

Na dosiahnutie približného výsledku je možno použiť z teórie grafov a sietí myšlienku, na ktorej je založené riešenie úlohy o minimálnej kostre a upravenú metódu potencionálov.

Úloha o minimálnej kostre

Podľa Plesníka (1975), ak v kompletom grafe je dvojica vrcholov i, j spojená hranou s ohodnotením $c_{ij} > 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j$), potom má zmysel hľadať taký súvislý faktor, ktorý má minimálny súčet ohodnotení hrán. Tento faktor musí byť kosterou. K takejto úlohe vedie problém časovo najkratšej komunikačnej siete medzi n podnikmi, ak rozvetvovacie body môžu byť len v podnikoch.



2. Znázornenie plánovaných ciest auta pri rozvoze krmiva

Úlohu o minimálnej kostre možno riešiť nasledujúcim algoritmom. Do faktora pozostávajúceho iba z izolovaných vrcholov postupne priberáme hrany. Najprv hranu s najmenšou hodnotou, potom zo zvyšných hrán s najmenšou hodnotou atď., ale tak, aby pritom pridávaná hrana netvorila

kružnicu s prv vybranými hranami. Možno dokázať, že po $n - 1$ výberoch máme nájdenú minimálnu kosť.

Z algoritmu úlohy o minimálnej kostre je možné v úlohe o rozvoze využiť myšlienku vyberania hrán s najmenším ohodnotením, a to takto: Do faktora (obr. 2), ktorý pozostáva z izolovaných vrcholov, postupne pribierame hrany. Najprv vyberieme hranu s najmenším ohodnotením z hrán medzi vrcholom v_0 (skladom) a vrcholmi v_1 až v_6 (podnikmi). Potom vyberieme ďalšiu hranu s najmenším ohodnotením z hrán medzi vrcholom, do ktorého vchádza predchádzajúca vybraná hrana a ostatnými vrcholmi. Toto ďalej opakujeme s prihliadnutím na plnenie daných požiadaviek a špecifických podmienok.

Výsledok tohoto spôsobu riešenia je nasledovný:

— prvý okruh rozvozu (I^1) pozostáva z prechodov x_{05} , x_{56} , x_{60} ; trvá 75 min
— druhý okruh rozvozu (I^2) pozostáva z prechodov x_{02} , x_{23} , x_{30} ; trvá 90 min
— tretí okruh rozvozu (I^3) pozostáva z prechodov x_{06} , x_{63} , x_{34} , x_{40} ; trvá 180 min
— štvrtý okruh rozvozu (I^4) pozostáva z prechodov x_{01} , x_{14} , x_{40} ; trvá 180 min
— piaty okruh rozvozu (I^5) pozostáva z prechodov x_{04} , x_{40} ; trvá 120 min
čas potrebný na rozvoz činí 645 min

Predpokladáme, že v praktickom živote by sa takto rozhodoval každý vedúci. Výsledok však nemôžeme považovať za optimálny (až na vzácné zhody) v dôsledku toho, že graf nie je kosťou, obsahuje kružnice. Ale už takéto riešenie v porovnaní s intuitívnym riešením dáva predpoklad k priblíženiu sa k optimálnej spotrebe času.

Metóda potencionálov

Táto metóda sa používa pri niektorých sieťových dopravných úlohách. Pri úlohe o rozvoze sa nedá úplne aplikovať, takže ňou dosiahnutý výsledok je opäť len približný.

Ako uvádza Bosák (1975), metóda potencionálov dopravnej úlohy je založená na priradovaní potencionálov vrcholom. Nech x je nejaký tok v sieti G . Opora toku je taký faktor $F(x)$ orientovaného grafu G , ktorý obsahuje práve tie hrany $ij \in H(G)$, pre ktoré $0 < x_{ij} < r_{ij}$. Predpokladáme, že $F(x)$ je súvislý faktor. Zvolíme ľubovoľný vrchol $i_0 \in V(G)$ a položíme $u_{i_0} = 0$. Ďalej potencionály určujeme rekurentne takto:

Ak vrchol i má potencionál u_i , potom vrcholu j priradíme potencionál

$$u_j = \begin{cases} u_i + c_{ij} & \text{ak } ij \in H[F(x)] \\ u_i - c_{ij} & \text{ak } ji \in H[F(x)] \end{cases} \quad (1)$$

Zo súvislosti $F(x)$ vyplýva, že každému vrcholu možno priradiť nejaký potencionál. Ak sú splnené podmienky optimality:

$$\begin{aligned} u_j - u_i &\leq c_{ij} & \text{ak } x_{ij} &= 0 \\ u_j - u_i &= c_{ij} & \text{ak } 0 < x_{ij} < r_{ij} \\ u_j - u_i &\geq c_{ij} & \text{ak } x_{ij} &= r_{ij} \end{aligned}$$

tak máme nájdený optimálny tok. V opačnom prípade existuje hrana $(s, t) \in H(G)$ tak, že sa nespĺní niektorá z podmienok optimality. Potom existuje vrchol v , z ktorého sme s a t označili po nejakých cestách v $F(x)$, ktorých zjednotenie spolu s hranou st dáva kružnicu v G . Potom existuje také číslo β , že funkcia x' nasledovne definovaná bude mať opäť tok v G : $x'_{ij} = x_{ij} + \beta$ na hranách ij tejto kružnice, ktoré sú orientované v smere st ; $x'_{ij} = x_{ij} - \beta$ na opačne orientovaných hranách kružnice a $x'_{ij} = x_{ij}$ na hranách mimo tejto kružnice. Pritom číslo $|\beta| > 0$, ale také, aby neporušilo podmienky $0 \leq x'_{ij} \leq r_{ij}$, avšak zvyčajne ho volíme tak, aby bolo čo najväčšie. Znamienka sú takéto:

$$\begin{array}{llll} \beta > 0 & \text{ak} & x_{st} = 0 & \text{a} & u_t - u_s > c_{st} \\ \beta > 0 & \text{ak} & 0 < x_{st} < r_{st} & \text{a} & u_t - u_s > c_{st} \\ \beta < 0 & \text{ak} & 0 < x_{st} < r_{st} & \text{a} & u_t - u_s < c_{st} \\ \beta < 0 & \text{ak} & x_{st} = r_{st} & \text{a} & u_t - u_s < c_{st} \end{array}$$

Hodnota účelovej funkcie $\sum c_{ij}x_{ij}$ pre tok x' je menšia ako $ij \in H(G)$ pre tok x .

Opísanú procedúru môžeme zopakovať (staré potencionály však musíme zotrieť a hľadať nové). Takto možno pokračovať až potiaľ, pokiaľ nebudú úplne splnené podmienky optimality. Teda za podmienok racionálnosti všetkých parametrov siete a za splnenie tzv. nedegenerácie.

Pri tejto metóde sa predpokladá, že je daná sieť G s priepustnosťou hrán $r_{ij} > 0$ a že sú dané čísla m_i (vrchol i sa nazýva žriedlo ak $m_i > 0$, stoka ak $m_i < 0$ a prietokový ak $m_i = 0$). Pričom platia nasledovné podmienky:

$$\begin{array}{ll} 0 \leq x_{ij} \leq r_{ij} & \text{pre } ij \in H(G) \\ \sum_j x_{ij} - \sum_j x_{ji} = m_i & \text{pre } i \in V(G) \end{array}$$

Čísla c_{ij} pre $ij \in H(G)$ sú ocenenia hrán.

V úlohe o rozvoze nie sú splnené podmienky optimality, pretože spôsob prepravy krmiva vytvára kružnice, ktoré nie je možné vylúčiť. A tak plná aplikácia tejto metódy na úlohu o rozvoze nie je možná. Avšak pri snahe zabezpečiť podmienky optimality pre čo najväčší počet prechodov (x_{ij}) môžeme sa ešte viac priblížiť k optimálnej spotrebe času.

Ak preskúmané splnenie podmienok optimality dosiahnutého výsledku využitím myšlienky, na ktorej je založený algoritmus úlohy o minimálnej kstre, zistíme, že ich nespĺňajú nasledovné prechody ($x_{ij} = 0$): x_{12} , x_{13} , x_{24} , x_{64} , x_{65} , pričom prechody, po ktorých sa krmivo neprepravuje, t.j. x_{10} až x_{60} , neberieme do úvahy.

Naznačeným algoritmom metódy potencionálov môžeme zmenšiť hodnotu účelovej funkcie a tak ešte viac sa priblížiť k optimálnej spotrebe času. Pri jeho použití sme dosiahli lepší výsledok, ako v predchádzajúcom prípade:

— prvý okruh rozvozu (I^1) pozostáva z prechodov x_{06} , x_{65} , x_{50} ; trvá 75 min	
— druhý okruh rozvozu (I^2) pozostáva z prechodov x_{05} , x_{52} , x_{20} ; trvá 80 min	
— tretí okruh rozvozu (I^3) pozostáva z prechodov x_{01} , x_{13} , x_{30} ; trvá 153 min	
— štvrtý okruh rozvozu (I^4) pozostáva z prechodov x_{03} , x_{34} , x_{40} ; trvá 125 min	
— piaty okruh rozvozu (I^5) pozostáva z prechodov x_{04} , x_{40} ; trvá 120 min	
čas spotrebovaný na rozvoz čini	553 min

Podmienky optimality nie sú splnené len pri prechode x_{56} . Tento nedostatok v uvedenom príklade nie je možné odstrániť. Každé iné riešenie dosiahnuté algoritmom metódy potenciálov nebude lepšie.

Použitím algoritmu metódy potencionálov (v porovnaní s algoritmom úlohy o minimálnej kostre) poklesla pri plánovanej preprave potreba času o 11,9 %.

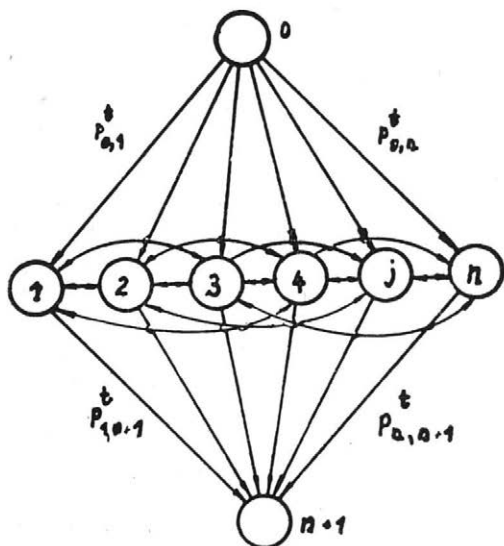
V prípade, že chceme dosiahnuť optimálny výsledok je potrebné riešiť úlohu o rozvoze pomocou algoritmu niektorej z metód diskrétného programovania. Za tým účelom pre úlohu o rozvoze zostavíme matematický model a pritom poukážeme na jeho veľkú náročnosť.

Matematický model úlohy o rozvoze

Pre x_{ij} a c_{ij} platí, že $i, j \in D$. Množina D pozostáva z:

$$D = \{(i, j) \mid i \in (0 \dots n), j \in (1 \dots n+1), (i, j) \neq (0, n+1)\}.$$

Centrálny sklad krmív považujeme ako dodávateľa, ak $i = 0$, ale aj ako spotrebiteľa s nulovou požiadavkou, ak $j = n+1$. Takto sme tieto dve funkcie skladu oddelili od seba. Pritom samozrejme neuvažujeme s prechodmi medzi skladom krmiva ako dodávateľa a skladom krmiva ako spotrebiteľa, t. j. $(i, j) \neq (0, n+1)$, a ani s časom na tento prechod. Takto formulovaná úloha je zobrazená na obr. 3. Na obr. 3 nie sú zobrazené všetky prechody medzi objektmi, pretože by sa stal menej prehľadný.



3. Grafické znázornenie úlohy o rozvoze

V dôsledku toho, že kapacita auta s príviesom ($r = 8$ t) je menšia ako súčet požiadaviek šiestich objektov $\sum_{j=1}^n M_j = 37$ t, auto musí urobiť k okruhových, pričom:

$$k = \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^n M_j}{r} \right\rceil = \left\lceil \frac{37}{8} \right\rceil = 5$$

Pri prvom, druhom, treťom a štvrtom okruhu rozvozu krmiva sa kapacita auta využije úplne, avšak pri piatom okruhu kapacita auta nebude úplne využitá ($r^5 = 5$ t). Auto odvezie už len zostatok krmiva.

Auto s privesom je teda nútené urobiť k okruhov, pričom l -tý okruh ($l = 1 \dots k$) bude charakterizovaný $(n + 1)n$ premennými (prechodmi) x_{ij}^l , t.j. 42 prechodmi:

$$\begin{aligned} & x_{01}, x_{02}, x_{03}, x_{04}, x_{05}, x_{06}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, \\ & x_{21}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}, x_{27}, x_{31}, x_{32}, x_{34}, x_{35}, x_{36}, x_{37}, \\ & x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{45}, x_{46}, x_{47}, x_{51}, x_{52}, x_{53}, x_{54}, x_{56}, x_{57}, \\ & x_{61}, x_{62}, x_{63}, x_{64}, x_{65}, x_{67}. \end{aligned}$$

Pri l -tom okruhu auto s privesom nevykoná všetkých $(n + 1)n$ prechodov, ale len niekoľko. Z toho potom vyplýva, že

$$x_{ij}^l = \begin{cases} 1 & \text{ak prechádza z } i \text{ do } j \\ & (i, j) \in D \\ 0 & \text{inak} \end{cases}$$

Spotrebiteľovi j bude potrebné zložiť z auta v l -tom okruhu na splnenie jeho požiadaviek určité množstvo krmiva, ktoré označíme m_j^l W 0. Pre m_j^l platí nasledovný vzťah:

$$0 \leq \sum_j m_j^l \leq r^l$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

$$0 \leq \sum_j m_j^l \leq 15$$

Z veľkosti požiadaviek spotrebiteľov vyplýva, že ak je auto plné ($r = 8$), uspokojí okrem v_4 hociktorého spotrebiteľa a ešte mu ostane určité množstvo krmiva, ktoré prevezie k inému spotrebiteľovi. Prázdne auto sa vracia do skladu. Z toho vyplýva podmienka pre j -tého spotrebiteľa:

$$\sum_j x_{ij}^l = \sum_j x_{ji}^l \leq 1 \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

t.j. že v l -tom okruhu auto prejde k j -tému spotrebiteľovi len raz, ale aj odide len raz od neho. Je to reálna požiadavka, ktorá vylúči zbytočné navštevovanie j -teho spotrebiteľa viackrát v jednom okruhu.

Pri každom okruhu sa zo skladu krmiva bude vychádzať len raz a rovnako aj vraci sa bude doň len raz. Z toho vyplýva nasledovné obmedzenie:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_{0j}^l &= 1 & \sum_{j=1}^n x_{j, n+1}^l &= 1 \\ (\text{vychádza}) & & (\text{vchádza}) & \end{aligned}$$

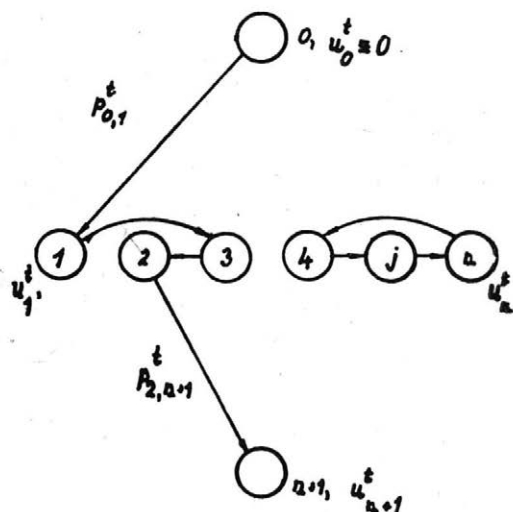
Pri takto formulovanej úlohe o rozvoze môže dôjsť k tomu, že niektorý z okruhov nebude mať začiatok a koniec v sklade krmiva, ale okruh sa vytvorí medzi podnikmi a tak sa nám graf môže rozpadnúť (obr. 4). Aby sme zabránili rozpadu grafu, zavedieme nové veličiny, nové premenné u_j^l , pričom:

$$u_j^l = x_{ij}^l + u_i^l \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n + 1)$$

Tieto veličiny nazveme potenciály, kde $u_0^t \equiv 0$. Teda potenciály stanovíme rekurentne a potom obmedzenie, ktorým zabránime rozpadu grafu, je:

$$u_{n+1} = \sum_{i,j} x_{ij}^t \quad (i, j) \in D$$

Znamená to, že potenciál skladu vo funkcii spotrebiteľa v t -tom okruhu bude musieť byť súčtom prechodov x_{ij}^t .



4. Znázornenie rozpadu grafu úlohy o rozvoze

Každému spotrebiteľovi bude potrebné zložiť také množstvo krmiva v jednotlivých okruhoch, aby sa splnili jeho požiadavky. Z toho potom vyplýva nasledujúce obmedzenie:

$$M_j = \sum_{t=1}^k \sum_{i=0}^n m_j^t x_{ij}^t \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

Účelová funkcia bude mať nasledovný tvar:

$$\min z = \sum_{t=1}^k \sum_{(i,j) \in D} c_{ij} x_{ij}^t$$

Pri tejto konkrétnej úlohe o rozvoze budeme mať až 365 premenných. Jeden okruh bude tvoriť: 42 premenných x_{ij} , 7 premenných (potenciály) u_j a 24 premenných (zložené množstvá krmiva) m_j . Pričom m_j^t rozložíme na 4 premenné:

$$m_j^t = {}^3m_j^t \cdot 2^3 + {}^2m_j^t \cdot 2^2 + {}^1m_j^t \cdot 2 + {}^0m_j^t$$

Táto úloha o rozvoze je pomerne zložitá a čo do komplikácií je veľmi podobná úlohe o obchodnom cestujúcom. V prípade, že kapacita auta sa bude rovnáť sume požiadaviek spotrebiteľov, auto pri rozvoze spraví len jeden okruh a navštívi všetkých spotrebiteľov, pričom má prejazdiť minimálnu vzdialenosť, resp. na prechod má spotrebovať minimálny čas. Takto formulovaná úloha o rozvoze je totožná s úlohou o obchodnom cestujúcom, ktorý má prejsť cez každé mesto aspoň raz a vrátiť sa späť, a to, aby prešiel minimálnu vzdialenosť.

Úloha o rozvoze patrí do úloh diskrétného programovania. Pri nej žiadame, aby t nadobudlo len diskkrétne hodnoty. Je nereálne uvažovať so 4,6 okruhmi, ktoré má auto vykonať.

V súčasnosti dalo by sa povedať, sú metódy diskrétného programovania nie dostatočne efektívne. V úlohe o rozvoze premenná x_i^t nadobúda hodnoty 0 a 1, teda len dve hodnoty. Táto požiadavka úlohu o rozvoze zaraďuje do tzv. bivalentného programovania, ktorého zásady a úvahy využíva pseudobooleovská optimalizácia.

Pseudobooleovská optimalizácia si nevyžaduje predpoklad linearitu a konvexnosti. No na druhej strane je táto metóda dosť prácna a pre väčší počet premenných nie je zvládnuteľná ani na dostupných počítačoch. To platí aj pre uvedenú konkrétnu úlohu o rozvoze, preto ani algoritmus pseudobooleovskej optimalizácie neuvádzame, upozorňujeme len na literatúru: Ivanescu, Rudeanu 1968.

ZÁVER

Ako vyplýva z analýzy úlohy o rozvoze, je pomerne komplikovaná. Bežný výpočtový aparát, ktorý používajú špeciálne metódy dopravnej úlohy nám vystačí len na dosiahnutie približných výsledkov. Presný výsledok sa získava pomerne zložitým spôsobom a ako vyplýva z problematiky, niekedy ho ani nie je možné získať. To by však nemalo byť prekážkou k zamysleniu sa nad spôsobom plánovania prepravy v poľnohospodárskych podnikoch, pretože úspora pri správnom plánovaní prepravy sa pohybuje až do 25 %. Pritom je to úspora, ktorá sa po praktickej stránke dá veľmi ľahko realizovať.

Literatúra

- BOSÁK, J.: Základy teórie grafov a sietí I, II a III. Matematické obzory, 1973 a 1974, č. 4 a č. 5.
IVANESCU, P. L. — RUDEANU, S.: Methods for bivalent programing. Berlin — Heidelberg — New York, Springer-Verlag 1968
PLESNÍK, J.: Teórie grafov a sietí. Prednášky pre postgraduálne štúdium. Bratislava, PFUK 1975.

Došlo dne 21. 12. 1977

Adresa autora:

Ing. Marian Bobrík, Výskumný ústav ekonomiky poľnohospodárstva a potravinárstva, Trenčianska 55, 880 27 Bratislava

BOBRÍK M., Výskumný ústav ekonomiky poľnohospodárstva a potravinárstva, Trenčianska 55, 880 27 Bratislava

Úloha o rozvoze

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 745—753. — 1 tab., 4 obr., lit. 3

zemědělství, doprava, okružní problém, ekonomicko-matematické metody, aspekty aplikace

Rastom vnútropodnikovej dopravy vzrastajú aj náklady. Jedna z možností obmedzenia a rastu nákladov spočíva v správnom plánovaní ciest. Spôsob plánovania ciest poskytujú špeciálne metódy dopravnej úlohy. Najproblematickejšie riešenie majú dopravné úlohy, pri ktorých sa dopravný prostriedok vracia späť, na miesto odkiaľ vyšiel. Sú to tzv. úlohy o rozvoze. Optimálne riešenie týchto úloh sa dá dosiahnuť len pri menšom počte premenných, nakoľko použiteľné algoritmy nie sú dostatočne efektívne. V niektorých prípadoch je potrebné sa uspokojiť aj s približným výsledkom.

SYROVÝ O., Výzkumný ústav zemědělské techniky, 163 07 Praha-Řepy

Analýza současného stavu a perspektivy manipulace a dopravy v československém zemědělství

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 665—680. — 9 tab., 2 obr., 3 foto

zemědělství, manipulace materiálem, doprava, analýza, prognóza

V příspěvku jsou analyzovány nejdůležitější problémy dopravy a manipulace materiálem v československém zemědělství, a to na základě dat o současném stavu. Zároveň jsou nastíněny i perspektivy vývoje těchto činností v nejbližší budoucnosti a jsou uvedeny cesty jejich řešení. Je uveden bohatý číselný materiál.

VANĚČKOVÁ E., Vysoká škola zemědělská, 370 05 České Budějovice

Uplatnění trojrozměrného dopravního problému v zemědělství

Zeměd. Ekon., 24, 1978, č. 10, s. 739—744. — lit. 4

zemědělství, dopravní problém, teoretické pojednání, aspekty aplikace

Autorka se ve svém příspěvku zabývá podstatou a účelností použití vícerozměrného dopravního problému v zemědělství. Největší pozornost je věnována teoretickému základu matematického řešení problému a část článku se opírá o aspekty aplikace modelu v zemědělské praxi.

Svoboda K.: K problematice dopravy v zemědělství	663
Syrový O.: Analýza současného stavu a perspektivy manipulace a dopravy v československém zemědělství	665
Vaněček D.: K některým otázkám ekonomiky a organizace zemědělské dopravy.	681
Havlíček J., Hášová E.: Použití matematických metod při operativním řízení dopravy v zemědělském podniku	691
Havlíček J., Hášová E.: Použití matematických metod při analýze struktury dopravních systémů v zemědělství	711
Švasta J.: Příspěvek k systémovému řešení okružního problému v podmínkách zemědělské výroby	723
Vaněčková E.: Uplatnění trojrozměrného dopravního problému v zemědělství	739
Bobřík M.: Úloha o rozvaze	745

Příloha

Statistické přehledy o čs. a zahraničním zemědělství
(Struktura hrubé zemědělské produkce a jejího užití)

СОДЕРЖАНИЕ

Свобода К.: Относительно проблематики транспорта в сельском хозяйстве	663
Сыровы О.: Анализ настоящего положения и перспективы манипуляции и транспорта в чехословацком сельском хозяйстве	665
Ванечек Д.: Относительно некоторых вопросов экономики и организации сельскохозяйственного транспорта	681
Гавличек Я., Гашова Е.: Применение математических методов при оперативном управлении транспорта в сельском хозяйственном предприятии	691
Гавличек Я., Гашова Е.: Применение математических методов при анализе структуры транспортных систем в сельском хозяйстве	711
Шваста Я.: Статья о системном решении окружной проблемы в условиях сельскохозяйственного производства	723
Ванечкова Е.: Внедрение трехразмерной проблемы транспорта в сельском хозяйстве	739
Бобрик М.: Задание о развозке	745

Приложение

Статистические обзоры о чехословацком и зарубежном сельском хозяйстве
(Структура валовой сельскохозяйственной продукции и ее использование)

CONTENTS

Svoboda K.: On the Problems of Transport in Agriculture	663
Syrový O.: Analysis of the Present Situation and Future Prospects of Material Handling and Transport in Czechoslovak Agriculture	665
Vaněček D.: On Some Problems of the Economics and Organization of Transport in Agriculture	681
Havlíček J., Hášová E.: The Use of Mathematical Methods in Operative Management of Transport in an Agricultural Enterprise	691
Havlíček J., Hášová E.: The Use of Mathematical Methods in the Analysis of the Structure of Transport Systems in Agriculture	711
Švasta J.: A Contribution to the System Solution of the Circuit Problem under the Conditions of Agricultural Production	723
Vaněčková E.: The Application of the Three-dimensional Transport Problem in Agriculture	739
Bobřík M.: The Haulage Problem	745

Supplement

Statistical Surveys of Czechoslovak and Foreign Agriculture
(Structure of Gross Agricultural Production and its Use)

INHALT

Svoboda K.: Zur Problematik des Verkehrs in der Landwirtschaft	663
Syrový O.: Analyse des gegenwärtigen Standes und Perspektiven der Manipulation und des Verkehrs in der tschechoslowakischen Landwirtschaft	665
Vaněček D.: Zu einigen Fragen der Ökonomik und der Organisierung des landwirtschaftlichen Verkehrs	681
Havlíček J., Hášová E.: Anwendung mathematischer Methoden bei der operativen Regelung des Verkehrs im landwirtschaftlichen Betrieb	691
Havlíček J., Hášová E.: Anwendung mathematischer Methoden bei der Analyse der Struktur von Verkehrssystemen in der Landwirtschaft	711
Švasta J.: Beitrag zur Systemlösung des Ringproblems unter den Bedingungen der landwirtschaftlichen Produktion	723
Vaněčková E.: Durchsetzung des dreidimensionalen Verkehrsproblems in der Landwirtschaft	739
Bobřík M.: Aufgabe der Verfrachtung	745

Beilage

Statistische Übersichten über die tschechosl. und ausländische Landwirtschaft
(Struktur der landwirtschaftlichen Rohproduktion und ihrer Anwendung)

STATISTICKÉ PŘEHLEDY

o československém a zahraničním zemědělství
PŘÍLOHA ČÍSLA 10 ČASOPISU ZEMĚDĚLSKÁ EKONOMIKA

ČÍSLO
9
STRUKTURA HRUBÉ
ZEMĚDĚLSKÉ PRODUKCE
A JEJÍHO UŽITÍ

1978

Struktura hrubé zemědělské produkce v %

ČSSR

Rok	Na hrubé zemědělské produkci se podílí		Na tržní produkci se podílí		Na tržní produkci do státních fondů se podílí		Podíl tržní produkce na hrubé zemědělské produkci			Podíl tržní produkce do státních fondů na hrubé zemědělské produkci		
	rostlinná	živočišná	rostlinná	živočišná	rostlinná	živočišná	celkem	rostlinná	živočišná	celkem	rostlinná	živočišná
1936	53,3	46,7	37,3	62,7	.	.	41,7	29,1	56,1	.	.	.
1948	57,3	42,7	50,2	49,8	49,1	50,9	37,9	33,2	44,3	33,4	28,6	39,9
1950	50,5	49,5	39,6	60,4	40,1	59,9	45,7	35,9	55,7	41,1	32,6	49,7
1955	53,0	47,0	38,6	61,4	37,9	62,1	45,3	33,0	59,2	40,6	29,0	53,6
1960	50,6	49,4	36,8	63,2	35,2	64,8	50,6	36,8	64,7	47,0	32,7	61,6
1965	44,0	56,0	28,5	71,5	27,7	72,3	56,1	36,3	71,7	54,2	34,1	70,0
1970	45,3	54,7	35,8	64,2	27,3	72,7	62,2	49,0	73,1	52,9	31,9	70,3
1971	45,2	54,8	36,3	63,7	26,3	73,7	64,5	51,9	75,0	53,6	31,2	72,1
1972	45,1	54,9	36,5	63,5	27,7	72,3	66,2	53,7	76,5	55,9	34,3	73,5
1973	45,8	54,2	38,1	61,9	28,2	71,8	68,5	57,1	78,2	56,7	34,9	75,0
1974	45,5	54,5	38,3	61,7	27,6	72,4	70,0	58,9	79,3	57,8	35,1	76,7
1975	44,6	55,4	38,5	61,5	29,7	70,3	73,1	63,1	81,2	62,0	41,2	78,7
1976	42,9	57,1	38,4	61,6	29,4	70,6	75,0	67,2	80,9	63,7	43,8	78,7
1977	45,4	54,6	40,5	59,5	31,1	68,9	74,1	66,1	80,8	62,4	42,8	78,7

Struktura hrubé zemědělské produkce v %

ČSR

Rok	Na hrubé zemědělské produkci se podílí		Na tržní produkci se podílí		Na tržní produkci do státních fondů se podílí		Podíl tržní produkce na hrubé zemědělské produkci			Podíl tržní produkce do státních fondů na hrubé zemědělské produkci		
	rostlinná	živočišná	rostlinná	živočišná	rostlinná	živočišná	celkem	rostlinná	živočišná	celkem	rostlinná	živočišná
1936	51,1	48,9	34,6	65,4	.	.	44,6	30,2	59,7	.	.	.
1948	54,5	45,5	46,7	53,3	45,4	54,6	42,4	36,3	49,8	38,2	31,8	45,9
1950	49,7	50,3	40,0	60,0	40,0	60,0	47,7	38,4	56,9	44,0	35,4	52,4
1955	51,9	48,1	37,4	62,6	36,7	63,3	46,0	33,1	60,0	42,6	30,1	56,0
1960	50,6	49,4	36,8	63,2	35,1	64,9	53,3	38,7	68,2	50,1	34,7	65,8
1965	43,5	56,5	28,3	71,7	27,4	72,6	58,5	38,0	74,2	56,8	35,8	72,9
1970	44,8	55,2	35,1	64,9	27,2	72,8	64,7	50,6	76,1	55,9	33,9	73,8
1971	43,9	56,1	35,3	64,7	25,8	74,2	67,2	54,1	77,5	56,7	33,3	75,0
1972	44,8	55,2	36,2	63,8	27,6	72,4	67,9	55,0	78,5	58,0	35,8	75,9
1973	44,8	55,2	36,9	63,1	27,5	72,5	69,7	57,5	79,6	58,8	36,1	77,2
1974	44,1	55,9	36,5	63,5	26,5	73,5	71,2	58,9	81,0	60,1	36,0	79,0
1975	43,3	56,7	37,2	62,8	28,9	71,1	74,6	64,1	82,7	64,3	42,9	80,6
1976	41,3	58,7	36,4	63,6	28,4	71,6	76,6	67,6	82,9	66,7	45,9	81,2
1977	45,0	55,0	39,4	60,6	30,5	69,5	75,0	65,6	82,6	64,0	43,4	80,9

Struktura hrubé zemědělské produkce v %

SSR

Rok	Na hrubé zemědělské produkci se podíli		Na tržní produkci se podíli		Na tržní produkci do státních fondů se podíli		Podíl tržní produkce na hrubé zemědělské produkci			Podíl tržní produkce do státních fondů na hrubé zemědělské produkci		
	rostlinná	živočišná	rostlinná	živočišná	rostlinná	živočišná	celkem	rostlinná	živočišná	celkem	rostlinná	živočišná
1936	60,8	39,2	50,0	50,0	.	.	32,0	26,3	40,9	.	.	.
1948	64,2	35,8	64,1	35,9	65,1	34,9	26,9	26,8	27,0	21,6	21,9	21,1
1950	52,5	47,5	38,4	61,6	40,2	59,8	40,2	29,4	52,2	33,3	25,5	41,9
1955	55,5	44,5	41,7	58,3	41,3	58,7	43,7	32,8	57,2	35,9	26,8	47,4
1960	50,5	49,5	36,9	63,1	35,6	64,4	44,7	32,6	57,1	40,1	28,2	52,2
1965	45,1	54,9	29,0	71,0	28,2	71,8	50,6	32,5	65,6	48,3	30,2	63,2
1970	46,5	53,5	37,4	62,6	27,8	72,2	56,9	45,8	66,5	46,4	27,7	62,6
1971	47,8	52,2	38,6	61,4	27,5	72,5	59,3	47,9	69,6	47,4	27,3	65,8
1972	45,7	54,3	37,2	62,8	27,7	72,3	62,6	51,0	72,4	51,4	31,2	68,4
1973	47,9	52,1	40,8	59,2	29,9	70,1	66,0	56,2	74,9	52,1	32,6	70,1
1974	48,2	51,8	42,1	57,9	30,4	69,6	67,6	59,0	75,5	53,1	33,4	71,4
1975	47,4	52,6	41,5	58,5	31,6	68,4	70,0	61,3	77,9	57,2	38,2	74,4
1976	46,1	53,9	42,5	57,5	31,9	68,1	71,9	66,3	76,6	57,9	40,0	73,2
1977	46,3	53,7	42,8	57,2	32,6	67,4	72,4	66,9	77,1	58,9	41,5	74,0

Struktura rostlinné a živočišné produkce v %

ČSSR

Rok	Na rostlinné produkci se podílejí						Na živočišné produkci se podílejí					
	zrniny	technické plodiny	pícniny a krmné okopaniny	brambory	zelenina	ovoce a vinné hrozny	jatečný dobytek celkem	z toho		jatečná drůbež	mléko	vejce
								jatečný skot	jatečná prasata			
1936	29,7	6,7	20,7	22,7	5,2	7,2	28,8	14,4	11,6	2,8	44,4	7,0
1948	33,6	8,1	17,7	17,2	8,0	10,4	30,6	12,8	15,2	1,5	35,1	7,4
1950	32,0	9,2	16,0	22,2	6,2	10,1	40,3	14,0	23,7	2,5	32,5	7,9
1955	30,9	9,5	22,0	19,1	6,6	7,0	38,4	12,9	23,1	3,7	34,6	8,5
1960	33,4	11,9	20,2	12,0	6,2	10,4	41,0	14,4	24,5	4,2	33,0	9,0
1965	37,4	10,4	23,9	10,3	6,5	4,4	45,8	16,3	28,0	4,4	30,8	10,7
1970	38,3	8,5	21,1	10,2	5,6	8,9	39,5	15,4	22,3	6,9	30,4	10,8
1971	45,4	8,3	19,0	9,6	4,8	5,9	40,4	15,8	23,0	7,3	30,2	11,1
1972	43,2	8,8	20,3	10,1	5,3	5,8	41,1	15,6	24,2	7,5	30,2	11,0
1973	45,3	8,0	17,0	9,6	4,5	7,9	40,6	16,2	23,2	7,5	30,9	10,7
1974	48,3	9,0	18,3	8,4	4,6	5,5	41,6	16,8	23,5	7,6	30,5	10,9
1975	44,7	9,5	19,0	6,8	4,9	7,9	42,7	17,0	24,7	7,9	30,1	10,9
1976	47,1	7,6	16,6	8,6	3,9	8,9	41,5	16,4	24,3	8,2	29,6	10,8
1977	46,0	9,5	18,4	6,6	4,6	7,3	41,3	15,7	24,9	8,5	29,1	10,7

Struktura rostlinné a živočišné produkce v %

ČSR

Rok	Na rostlinné produkci se podílejí						Na živočišné produkci se podílejí					
	zrniny	technické plodiny	píce a krmné okopaniny	brambory	zelenina	ovoce a vinné hrozny	jatečný dobytěk celkem	z toho		jatečná drůbež	mléko	vejce
								jatečný skot	jatečná prasata			
1936	28,9	6,2	21,2	23,7	5,0	6,5	30,4	15,7	11,8	2,3	44,5	7,5
1948	33,0	8,6	17,4	18,0	7,0	10,1	33,8	15,0	16,3	2,2	35,0	8,1
1950	29,6	9,9	15,6	24,6	6,0	9,7	39,3	14,0	22,7	2,4	32,1	8,8
1955	29,5	9,7	22,7	20,1	6,1	6,2	38,1	12,8	22,7	3,1	34,6	9,2
1960	31,9	12,4	19,8	12,4	5,8	10,7	40,9	15,0	23,6	3,3	33,5	9,7
1965	35,7	10,1	24,1	12,1	6,2	3,4	44,5	16,2	26,6	4,0	32,0	11,1
1970	37,4	8,6	21,4	12,3	4,8	7,4	40,0	15,9	22,1	6,4	30,6	11,2
1971	45,8	8,6	19,3	10,1	4,1	4,4	40,2	16,0	22,5	6,7	30,6	11,5
1972	43,0	8,7	20,2	11,9	4,5	4,2	40,5	16,0	23,4	6,8	30,6	11,1
1973	44,7	8,2	17,6	10,7	3,9	5,6	40,7	16,3	23,2	6,9	31,3	10,7
1974	47,4	8,8	19,6	9,2	4,1	4,1	41,7	17,2	23,3	7,0	31,0	10,9
1975	43,7	9,6	19,8	7,6	4,2	6,3	42,6	17,4	24,3	7,3	30,7	10,9
1976	45,7	7,8	17,4	9,7	3,5	7,5	42,1	17,4	23,9	7,5	30,4	10,8
1977	44,9	10,2	19,7	7,4	4,1	5,2	41,6	16,7	24,3	7,9	30,0	10,3

Struktura rostlinné a živočišné produkce v %

SSR

Rok	Na rostlinné produkci se podílejí						Na živočišné produkci se podílejí					
	zrniny	technické plodiny	píce a krmné okopaniny	brambory	zelenina	ovoce a vinné hrozny	jatečný dobytek celkem	z toho		jatečná drůbež	mléko	vejce
								jatečný skot	jatečná prasata			
1936	31,9	8,2	19,4	20,1	5,8	9,1	21,9	8,7	10,7	5,1	44,2	6,8
1948	34,7	7,2	18,5	15,4	10,0	11,2	20,5	6,2	11,6	3,2	35,7	5,2
1950	38,0	7,4	17,1	16,1	6,7	11,2	43,1	14,1	26,3	2,8	33,6	5,5
1955	34,0	9,2	20,5	16,9	7,8	8,8	39,1	12,9	24,0	5,4	34,9	6,7
1960	36,5	10,8	21,0	11,0	7,2	9,8	41,2	13,0	26,6	6,3	32,0	7,6
1965	41,3	11,1	23,3	6,1	7,2	6,6	49,0	16,5	31,5	5,6	27,8	9,6
1970	40,0	8,2	20,3	5,9	7,2	11,8	38,6	14,5	22,7	8,1	29,9	9,9
1971	44,6	7,8	18,4	8,7	6,3	8,7	40,7	15,2	24,1	8,5	29,3	10,5
1972	43,7	9,0	20,5	6,6	6,9	9,0	42,4	15,0	26,0	9,0	29,3	10,7
1973	46,5	7,5	15,9	7,4	5,7	12,4	40,4	16,0	23,2	8,8	30,2	10,9
1974	50,0	9,3	16,0	6,8	5,6	8,2	41,3	15,9	24,0	9,1	29,4	11,0
1975	46,5	9,1	17,5	5,3	6,3	10,8	42,9	16,1	25,7	9,3	28,8	11,1
1976	49,6	7,4	15,3	6,6	4,7	11,5	40,2	14,2	25,0	9,9	27,8	11,0
1977	48,4	8,1	15,6	5,1	5,6	11,7	40,6	13,6	26,1	9,8	27,1	11,5

Struktura užití produkce vybraných skupin rostlinných výrobků v %

Ukazatel		Tržní produkce do státních fondů			Ostatní prodej			Netržní produkce			Z toho samozásobení		
		1965	1970	1977	1965	1970	1977	1965	1970	1977	1965	1970	1977
ČSSR	Rostlinná produkce celkem	34,1	31,8	42,8	2,2	17,2	23,3	63,7	51,0	33,9	6,3	5,9	2,3
	z toho: zrniny	33,6	25,7	38,4	3,4	35,3	42,6	63,0	39,0	19,0	0,7	0,4	0,0
	brambory	30,3	32,7	51,8	1,5	4,3	11,2	68,2	63,0	37,0	8,7	7,1	4,9
	zelenina	47,9	48,5	61,1	6,0	11,6	14,8	46,1	39,9	24,1	42,6	35,6	20,1
	ovoce a vinné hrozny	37,2	43,9	64,7	7,7	18,9	21,1	55,1	37,2	14,2	52,0	33,6	13,4
ČSR	Rostlinná produkce celkem	35,8	33,9	43,4	2,2	16,7	22,2	62,0	49,4	34,4	5,3	4,2	1,6
	z toho: zrniny	36,5	28,0	39,6	3,8	35,2	41,5	59,7	36,8	18,9	0,5	0,2	0,0
	brambory	33,3	35,8	56,2	1,6	4,9	13,1	65,1	59,3	30,7	6,6	4,9	3,8
	zelenina	49,7	57,3	62,1	5,8	11,8	15,0	44,5	30,9	22,9	40,6	26,0	18,6
	ovoce a vinné hrozny	39,5	44,9	59,9	6,9	20,0	27,4	53,6	35,1	12,7	50,3	30,6	11,1
SSR	Rostlinná produkce celkem	30,2	27,7	41,4	2,3	18,1	25,5	67,5	54,2	33,1	8,5	9,3	3,6
	z toho: zrniny	27,9	21,3	36,1	2,6	35,5	44,6	69,5	43,2	19,3	1,0	0,7	0,1
	brambory	17,2	19,5	39,0	1,1	1,6	5,5	81,7	78,9	55,5	18,2	16,4	8,0
	zelenina	44,4	36,5	59,7	6,4	11,4	14,5	49,2	52,1	25,8	46,5	48,6	22,4
	ovoce a vinné hrozny	34,5	42,7	69,0	8,6	17,5	15,3	56,9	39,8	15,7	54,0	37,2	15,4

Struktura užití produkce vybraných skupin živočišných výrobků v %

Ukazatel		Tržní produkce do státních fondů			Ostatní prodej			Netržní produkce			Z toho samozásobení		
		1965	1970	1977	1965	1970	1977	1965	1970	1977	1965	1970	1977
ČSSR	Živočišná produkce celkem	70,0	70,3	78,7	1,5	2,7	2,1	28,5	27,0	19,2	18,2	15,7	9,6
	z toho: jatečný dobytek	82,0	85,7	93,1	0,1	0,2	0,0	17,9	14,1	6,9	17,9	14,1	6,9
	jatečná drůbež	49,2	73,7	87,9	9,4	6,0	4,7	41,4	20,3	7,4	41,4	20,3	7,4
	mléko	73,8	79,7	88,6	1,4	2,0	0,9	24,8	18,3	10,5	7,9	8,3	3,4
	vejce	53,3	44,4	48,3	4,4	12,9	11,8	42,3	42,7	39,9	41,8	39,6	36,3
ČSR	Živočišná produkce celkem	72,9	73,9	80,9	1,1	2,2	1,7	26,0	23,9	17,4	14,9	13,2	8,2
	z toho: jatečný dobytek	85,1	87,5	94,2	0,1	0,2	0,0	14,8	12,3	5,8	14,8	12,3	5,8
	jatečná drůbež	55,0	81,8	92,4	6,9	4,6	3,5	38,1	13,6	4,1	38,1	13,6	4,1
	mléko	79,9	87,5	92,3	0,9	0,9	0,5	19,2	11,6	7,2	3,5	2,8	1,1
	vejce	54,8	48,3	51,6	3,4	12,2	10,2	41,8	39,5	38,2	41,4	36,9	35,1
SSR	Živočišná produkce celkem	63,2	62,6	74,0	2,4	3,8	3,1	34,4	33,6	22,9	26,0	21,2	12,6
	z toho: jatečný dobytek	75,0	81,4	90,7	0,1	0,4	0,1	24,9	18,2	9,2	24,9	18,2	9,2
	jatečná drůbež	39,4	59,7	80,2	13,8	8,3	6,7	46,8	32,0	13,1	46,8	31,9	13,1
	mléko	57,1	62,2	79,7	2,8	4,5	2,0	40,1	33,3	18,3	20,1	20,6	9,0
	vejce	49,3	34,7	42,2	7,0	14,6	14,7	43,7	50,7	43,1	42,9	46,4	38,6