

**J. Rohu  
I. Sklenář**

## **AUTOMATIZOVANÝ SYSTÉM SESTAVOVÁNÍ PLÁNŮ KRMENÍ DOJNIC**

● V roce 1974 předložil oborový podnik Státní statky Tachov Výzkumnému ústavu ekonomiky zemědělství a výživy v Praze problém sestavení plánů krmení dojníc na celé zimní krmné období na počítači s využitím laboratorně zjištěných obsahů živin v silážních a senážních jamách. V tomto článku se zaměřujeme na popis řešení problému především po jeho věcné stránce, aniž uvádíme přesný popis použitého matematického modelu, který bude pravděpodobně uveřejněn na jiném místě.

### **FORMULACE ÚLOHY**

Předmětem úlohy je stanovení pořadí otevírání silážních a senážních jam a sestavení krmných dávek pro celé zimní krmné období s cílem dosáhnout vyrovnané užítkovosti s přihlédnutím k rozdílným obsahům živin v jednotlivých silážních a senážních jamách. Jsou dány tyto údaje: počet dojníc, požadovaná užítkovost (na stájový průměr), délka krmného období, skladba krmné dávky a počet silážních a senážních jam s uvedením obsahů živin a celkové hmoty každé z nich. Úkolem je automatické sestavení plánů krmení na celé krmné období, přičemž má být respektována řada požadavků, které lze rozdělit do tří skupin:

● Požadavky na silážní a senážní jámy:

- pořadí otevírání silážních a senážních jam má být rozepsáno na celé krmné období dopředu, přičemž má být dosaženo požadované délky;
- má být otevřena vždy jen jedna silážní a jedna senážní jáma, nepřipouští se použití monodiety;
- zbytek v silážní (senážní) jámě, který stačí na méně než 1 den, se nepoužívá a otevře se nová silážní (senážní) jáma, přičemž složení krmné dávky musí být nově upraveno s ohledem na rozdílný obsah živin v obou jamách.

B) Požadavky na živiny:

- sledované živiny jsou: sušina, vláknina, stravitelné dusíkaté látky, škrobové jednotky, vápník a fosfor;
- u všech živin se požaduje dosažení norem předepsaných pro požadovanou užítkovost.

Není-li u některé kombinace siláže a senáže přesné dosažení možné, připouští se překročení norem při splnění následujících požadavků:

- u sušiny je žádoucí přesné dosažení normy s nejvyšší přípustnou odchylkou 10 %;
- u vlákniny je nutné dosažení minimální hranice (normy), udržení poměru sušiny a vlákniny v mezích od 3,5 do 5 a maximálně 18 % změna obsahu vlákniny při přechodu od jámy k jámě;
- poměr škrobových jednotek a stravitelných dusíkatých látek má být udržen v mezích od 5,4 do 6,2;
- u vápníku a fosforu se povoluje překročení norem až o 100 %, při udržení poměru jejich obsahů v poměru norem.

### C) Požadavky na komponenty krmné dávky:

- krmná dávka je složena ze siláže, senáže, DOB nebo DOG, slámy, melasy a dinatriumfosfátu nebo MKP 3. Připouští se použití jen jedné krmné směsi a jen jedné minerální přísady, v obou případech je však možný výběr ze dvou možností (složení krmné dávky je specifické pro Státní statky Tachov);
- jak siláž, tak senáž má být použita v množství od 5 do 30 kg, jejich součet však nesmí překročit 35 kg;
- v denní krmné dávce má být obsaženo alespoň 0,75 kg jádra, maximálně však 0,25 kg jádra na každý litr mléka;
- slámou se má krýt nejvýše 22 % celkového množství sušiny v krmné dávce;
- melasa má být v denní krmné dávce použita maximálně v množství 0,8 kg;
- potřebné množství minerálních přísad se řídí pouze posledním požadavkem skupiny B a není jinak omezeno;
- předpokládá se, že kromě siláže a senáže mají ostatní komponenty konstantní obsah živin, uvedený v tab. I.

#### I. Konstantní obsahy živin v komponentách (v %)

	Sušina	Vláknina	SNL	ŠJ	Ca	P
DOB	85	8,2	13,8	55	0,42	0,67
DOG	85	5,5	11,6	60,2	0,45	0,64
Sláma	80	—	—	—	—	—
Melasa	—	—	—	41	—	—
Dinatriumfosfát	—	—	—	—	—	8,3
MKP 3	—	—	—	—	29,2	10,8

V uvedeném tvaru je úloha formulována pro předem stanovenou požadovanou užitkovost. Klademe-li si za cíl dosažení maximální užitkovosti

(při splnění uvedených požadavků), můžeme úlohu řešit vícekrát po sobě pro různé užítkovosti a zjistit maximální hodnotu, při které jsou ještě všechny požadavky splněny.

## POPIS PROGRAMŮ

Při řešení úlohy byly postupně sestaveny čtyři programy v jazyce FORTRAN, nazvané JAM-1, JAM-2, JAM-2<sup>1/2</sup>, JAM-3. Všechny programy jsou založeny na principu postupného probírání všech možných rozpisů pořadí otevírání silážních a senážních jam a výběru toho z nich, který nejlépe odpovídá uvedeným požadavkům. Jelikož při větších počtech silážních a senážních jam může probírání všech možností klást neúnosně široky na strojový čas, je možno rovněž předepsat počet kroků, po kterém program zastaví a vypíše nejlepší dosažené řešení. Programy se od sebe liší pouze konstrukcí tzv. optimalizační procedury, což je ta část programu, ve které se pro danou silážní a senážní jamu vypočítává složení krmné dávky.

Optimalizační procedura programu JAM-1 byla sestavena tak, aby zaručovala splnění všech požadavků skupin A, B, C, uvedených v první části. K tomu účelu byly požadavky skupin B a C přeformulovány ve tvaru soustavy lineárních nerovností, čímž byla otázka sestavení krmné dávky převedena na úlohu lineárního programování. Při zkušebním provozu na příkladech z praxe, dodaných racionalizačním střediskem o. p. Státní statky Tachov, bylo však zjištěno, že ve více než 50 % kombinací silážních a senážních jam neměla příslušná soustava lineárních nerovností řešení, jinými slovy nebylo možno splnit všechny požadavky na krmnou dávku. Vyskytly se dokonce případy silážních jam, jež nebylo možno zkombinovat ani s jednou ze senážních jam, které byly k dispozici, neboť vzhledem k nízkým obsahům živin nestačilo množství doplňků povolené v požadavcích skupiny C ke krytí norem. Tyto skutečnosti měly za následek, že vypočtená délka celého krmného období činila v průměru pouze 70–80 % požadované délky. Z těchto výsledků bylo patrné, že k dosažení prakticky uspokojivých výsledků je nutné některé požadavky opustit.

Optimalizační procedura nového programu JAM-2 byla proto konstruována tak, aby dávala výsledek (složení krmné dávky pro danou silážní a senážní jamu) v každém případě, i za cenu překročení některých požadavků. Jelikož nebylo zřejmé, kterým požadavkům dát přednost, bylo za kritérium optimality zvoleno minimální procentuální překročení požadavků. Ve zkušebních příkladech dával tento postup dobré výsledky. Ukázalo se, že nezkombinovatelnost jam je v převážné většině případů způsobena nízkým obsahem energie v objemných krmivech, což vede k překročení povoleného množství melasy a jádra.

K dosažení požadované délky krmného období bylo v programu JAM-2 zavedeno omezení na maximální množství siláže a senáže v denní krmné dávce. Program JAM-2 s těmito změnami dával uspokojivé výsledky až na to, že docházelo k nerovnoměrnému čerpání objemných krmiv, takže v některých příkladech při dočerpání siláže na konci krmného období zůstávalo jisté množství nevyužité senáže, nebo naopak. Tento výsledek byl nežádoucí, ačkoliv neodporoval původnímu znění úlohy, ve kterém se s touto eventualitou nepočítalo. K odstranění tohoto jevu nepomohla ani

modifikovaná verze výpočtu maximálních povolených množství siláže a senáže v pozměněném programu JAM-2<sup>1/2</sup>.

Vyřešení tohoto problému přinesl program JAM-3, jehož optimalizační procedura je založena na zcela odlišném principu rovnoměrného čerpání živin. Popíšeme její podrobněji, protože jde o prozatím definitivní verzi. Požadavky skupiny A jsou vždy splněny; vypočtená délka krmného období je přinejmenším rovna požadované, může však být o několik dnů větší. Na konci vypočteného krmného období jsou spotřebovány všechny silážní a senážní jámy a v posledních dvou jamách zůstávají jen malé zbytky.

Ve skupině B je zaručeno splnění prvních dvou požadavků (dosažení nebo překročení norem všech živin s výjimkou vlákniny), ostatní jsou splněny jen tehdy, je-li to možné. Požadavky skupiny C jsou splněny všechny s výjimkou omezení na slámu (připouští se i více než povolených 22 %) a na jádro, kde se sice provádí optimalizace při výběru DOB resp. DOG, v případě nutnosti se však používá ve větším množství než povolených 0,25 kg na litr (není-li pak výsledek přijatelný, je nutno požadovanou užitkovost snížit). Navíc jsou v programu JAM-3 dva nové prvky: maximální denní dávka melasy je součástí vstupních dat a je tedy možno předepsat i jinou hodnotu než požadovaných 0,8 kg, dále se připouští současně použití dinatriumfosfátu a MKP 3, lze-li tím zajistit přesné dosažení norem vápníku a fosforu. Podle velikosti úlohy a možností strojového času lze v programu předepsat buď prohledání všech možných rozpisů otevírání jam, nebo ukončení výpočtu po provedení zadaného počtu použití optimalizační procedury. Ve druhém případě lze výsledek podstatně zkvalitnit vhodným sestavením pořadí silážních a senážních jam na začátku výpočtu. Otázka, jak toto sestavení v praxi provádět, zůstává zatím teoreticky nevyřešena; pořadí jam se na začátku výpočtu proto volí libovolně.

## PŘÍKLAD

Fungování programu JAM-3 ukážeme na příkladu z praxe. Vstupní údaje jsou: 1845 dojnic, požadovaná užitkovost 7,1 litru, délka krmného období 149 dnů, 7 silážních a 10 senážních jam, jejichž obsahy jsou uvedeny v tab. II (v prvním sloupci SI znamená siláž, SE senáž, ve druhém sloupci je uvedeno číslo jámy, v dalších 6 sloupcích obsahy živin v % a v posledním sloupci hmota jámy ve 100 kg). Dále je předepsáno maximální množství 0,8 kg melasy na kus a den a zastavení programu po provedení 1200 optimalizačních procedur. Užitkovosti 7,1 litru odpovídají normy: 11,94 kg sušiny, 2,2 kg vlákniny, 0,91 kg SNL, 5,4 ŠJ, 43,2 g vápníku a 30,6 g fosforu.

Výpočet trvá necelých 10 min a výsledky počítač vypíše ve formě dvou tabulek. Tab. III udává rozpis otevírání jam a složení krmných dávek. Každý řádek této tabulky odpovídá jisté kombinaci siláže a senáže. V prvních dvou sloupcích je uveden počáteční a konečný den krmení při této kombinaci, ve třetím počet dní, na který tato kombinace vystačí, v dalších dvou sloupcích jsou čísla použité silážní a senážní jámy (podle tab. II), v 6. a 7. sloupci jsou zbytky v silážní a senážní jámě po ukončení této kombinace (ve 100 kg), dalších 8 sloupců pak obsahuje složení krmné dávky v pořadí siláž, senáž, DOB, DOG, sláma, melasa, MKP 3 a di-

II. Vstupní data ilustrativního příkladu

VYPOCET VYBERU JAM

JAMY TYPU SI, POCET = 7

1456 1570 1569 1454 1455 1257 1272

JAMY TYPU SE, POCET = 10

1253 1260 784 1274 1250 1256 1273 1258 1254 1255

OBSAHY JAM

TYP SI/SE	CISLO	SVS %	VL %	SNL %	SJ %	CA %	P %	MNOZSTVI [Q]
SI	1456	17.7000	4.4800	1.2200	10.5700	0.0800	0.0300	8181.0000
SI	1570	17.8400	5.0800	1.1900	10.3000	0.0700	0.0400	4958.0000
SI	1569	19.9900	5.2300	1.3700	11.6600	0.0600	0.0400	13339.0000
SI	1454	15.7200	5.2700	1.2200	8.8200	0.0500	0.0300	7457.0000
SI	1455	16.1700	4.6900	1.5800	9.3200	0.1100	0.0300	9986.0000
SI	1257	25.3000	6.9400	1.9500	11.4000	0.1800	0.0700	2214.0000
SI	1272	20.2900	5.4800	2.4000	11.5100	0.1000	0.0400	4545.0000
SE	1253	42.9300	11.9100	4.5800	18.6000	0.2300	0.1200	2173.0000
SE	1260	44.0700	12.9400	4.2000	19.7300	0.1600	0.1000	2284.0000
SE	784	33.8400	7.7300	4.1100	19.5900	0.2800	0.0800	3816.0000
SE	1274	42.4200	10.6700	4.7200	24.1900	0.2100	0.1000	4335.0000
SE	1250	46.6300	12.3400	4.0400	20.7200	0.3300	0.0900	2678.0000
SE	1256	40.1200	11.4500	3.7800	19.5500	0.2500	0.1000	1542.0000
SE	1273	47.5600	12.5700	4.6200	25.2600	0.3100	0.1000	4840.0000
SE	1258	28.4000	7.9000	2.4600	13.5000	0.1600	0.0700	2371.0000
SE	1254	29.2800	7.8100	2.4300	14.9900	0.2300	0.0700	1500.0000
SE	1255	44.4300	13.1000	3.6100	22.9500	0.2800	0.1200	3000.0000

POCET VOLANI PROC = 1200

III. První výstupní tabulka (složení krmných dávek)

ROZPIS PORADÍ JAM, DAVKOVANÍ A SPOTREBA  
 PŘÍKLADY ZASLANE 22/05/76  
 ULOHA: CHOD. PLANA-09-CHOD. UJEZD

CISLO: 2

T0	T1	DT	#SI	#SE	ZSI	ZSE	SIL	SEN	DOB	DOG	SLA	MEL	MKP	DNF
1	13	13	1456	1253	3109 5072	120 2053	21.15 39016	8.56 15793	0.00	2.20	3.31 79287	0.59 14211	0.00 0	0.02 593
14	20	7	1456	1260	378 7803	1078 1206	21.15 39016	9.33 17222	1.85 23918	0.00	3.13 40428	0.73 9486	0.01 158	0.01 191
21	26	6	1570	1260	2558 2400	45 2239	21.68 40000	9.33 17222	1.85 20501	0.00	2.97 32926	0.74 8190	0.04 396	0.00 0
27	32	6	1570	784	158 4800	2760 1056	21.68 40000	9.54 17599	1.85 20501	0.00	4.08 45183	0.67 7462	0.00 0	0.08 868
33	47	15	1569	784	8127 5212	120 3696	18.83 34744	9.54 17599	0.00	2.20	3.84 106202	0.01 398	0.00 0	0.05 1500
48	70	23	1569	1274	136 13203	810 3525	18.83 34744	8.31 15324	1.85 78587	0.00	3.84 163006	0.42 17912	0.02 1007	0.00 0
71	75	5	1454	1274	5506 1951	44 4291	21.15 39016	8.31 15324	2.17 20031	0.00	4.05 37381	0.80 7380	0.03 267	0.00 0
76	89	14	1454	1250	44 7413	171 2507	21.15 39016	9.70 17904	2.17 56017	0.00	2.80 72400	0.80 20664	0.00 0	0.09 2196

90	97	8	1455	1256	7576 2410	11	16.33 30127	10.37 19135	0.00 0	2.52 37247	3.74 55141	0.80 11808	0.00 0	0.09 1334
98	122	25	1455	1273	44 9942	926 3914	16.33 30127	8.49 15656	0.00 0	2.33 107519	4.10 188967	0.80 36900	0.00 0	0.12 5720
123	127	5	1257	1273	993 1221	143 4697	13.23 24410	8.49 15656	0.00 0	2.35 21712	3.19 29421	0.80 7380	0.00 0	0.12 1112
128	131	4	1257	1258	17 2197	1195 1176	13.23 24410	15.94 29403	0.00 0	2.34 17272	2.59 19118	0.80 5904	0.00 0	0.08 605
132	135	4	1272	1258	3752 793	19 2352	10.75 19833	15.94 29403	0.00 0	2.79 20594	3.57 26347	0.80 5904	0.00 0	0.01 90
136	140	5	1272	1254	2760 1785	12 1488	10.75 19833	16.13 29766	0.00 0	2.35 21652	3.79 34998	0.80 7380	0.00 0	0.13 1176
141	153	13	1272	1255	182 4363	395 2605	10.75 19833	10.86 20036	0.00 0	2.22 53348	3.80 91092	0.80 19188	0.00 0	0.05 1298
CELKOVÁ SPOTREBA:									219555	393159	1021895	180167	1829	16683

## IV. Druhá výstupní tabulka (obsahy živin)

ROZPIS PORADI OTEVIRANI JAM A OBSAHY ŽIVIN

PŘÍKLADY ZASLANE 22/05/76

ULOHA: CHOD. PLANA-09-CHOD. UJEZD

CISLO: 2

T0	T1 [DNY]	DT	# SJ	# SE	ZSI [Q]	ZSE [Q]	SUS [KG]	VL [KG]	SNL [KG]	SJ [SJ]	CA [G]	P [G]	%
1	13	13	1456	1253	3109	120	11.94	2.09	0.91	5.40	46.52	32.99	24.7
14	20	7	1456	1260	378	1078	11.94	2.31	0.91	5.40	43.21	30.64	4.8
21	26	6	1570	1260	2558	45	11.94	2.46	0.91	5.40	48.35	34.28	4.8
27	32	6	1570	784	158	2760	11.94	1.99	0.91	5.40	49.66	35.22	24.4
33	47	15	1569	784	8127	120	11.94	1.84	0.91	5.40	47.92	33.98	24.7
48	70	23	1569	1274	136	810	11.94	2.02	0.91	5.40	43.45	30.81	17.0
71	75	5	1454	1274	5506	44	11.94	2.18	0.95	5.40	45.58	32.32	23.5
76	89	14	1454	1250	44	171	11.94	2.49	0.95	5.40	51.71	36.66	22.7
90	97	8	1455	1256	7576	11	11.94	2.09	0.94	5.40	55.25	39.18	42.8
98	122	25	1455	1273	44	926	11.94	1.96	0.92	5.40	54.76	38.83	31.9
123	127	5	1257	1273	993	143	11.94	2.11	0.92	5.40	60.71	43.05	33.2
128	131	4	1257	1258	17	1195	11.94	2.31	0.92	5.40	59.84	42.44	32.4
132	135	4	1272	1258	3752	19	11.94	2.00	0.97	5.40	48.81	34.61	57.9
136	140	5	1272	1254	2760	12	11.94	1.98	0.92	5.40	58.42	41.43	32.8
141	153	13	1272	1255	182	935	11.94	2.13	0.91	5.40	51.17	36.28	25.8

natriumfosfát (všechny hodnoty v kg). Horní číslo udává množství na kus a den, dolní číslo u siláže a senáže celkovou denní spotřebu, u ostatních komponent množství spotřebované během celé dané kombinace (opět vesměs v kg).

Např. třetí řádek tabulky říká: od 21. do 26. dne krmného období, celkem 6 dní, se krmí siláží č. 1570 a senáží č. 1260, po ukončení zbývá v silážní jámě 255,8 t, v senážní jámě 4,5 t (nepoužitelný zbytek). V denní krmné dávce se používá 21,68 kg siláže, 9,33 kg senáže, 1,85 kg DOB, 2,97 kg slámy, 0,74 kg melasy a 0,04 kg MKP 3. Denně se tedy spotřebuje 40 t siláže a 17,222 t senáže, celkem za těchto 6 dní se spotřebuje 20 501 kg DOB, 32 926 kg slámy, 8 190 kg melasy a 396 kg MKP 3. Z řádku odpovídajícího poslední kombinaci je vidět, že program dosáhl krmného období 153 dnů (o 4 dny více), spotřeboval všechny jámy a po 153. dnu zbylo 18,2 t siláže a 39,5 t senáže. Výsledné pořadí jam po 1200 operacích se shoduje s počátečním pořadím uvedeným v tab. II, z čehož plyne, že toto pořadí bylo zvoleno velmi vhodně (navrhl je ing. J. Rous, pracovník ZSPS Stříbro). Průměrná denní spotřeba jádra činí 2,17 kg (povolená 1,77 kg), což svědčí o nízkém obsahu živin v objemných krmivech.

Řádky tab. IV odpovídají stejným kombinacím siláže a senáže jako v tab. III, rovněž prvních 7 sloupců se shoduje s tab. III, v dalších sloupcích jsou uvedeny obsahy jednotlivých živin (v pořadí sušina, vláknina, SNL, ŠJ, vápník, fosfor) v krmné dávce, v posledním sloupci maximální procentuální překročení požadavků. Z tabulky je zřejmé, že norem sušiny a energie je vždy dosaženo přesně, norma SNL je dosažena nebo málo překročena a poměr Ca/P je udržen v poměru norem.

## ZÁVĚR

Program JAM-3 byl prozatím předán o. p. Státní statky Tachov do zkušebního provozu. Definitivní závěry bude možno učinit až po ukončení zimního krmného období 1976/77. Na základě dosud vypočtených příkladů je však možno říci již dnes, že hlavním limitujícím faktorem pro vyšší užitkovosti je — alespoň v podmínkách tachovského okresu — nízký obsah energie v objemných krmivech. To ukazuje, že při zachování existujících omezení na jádro a melasu je k dosažení vyšších užitkovostí nezbytné zvýšení produkce objemných krmiv.

Došlo dne 9. 8. 1976

---

### Adresa autorů:

Jiří Rohn, Výzkumný ústav ekonomiky zemědělství a výživy, Mánesova 75, 120 58 Praha 2, Ivan Sklenář, Ústav fyziky pevných látek ČSAV, Cukrovarnická 10, 160 00 Praha 6