

VĚDECKÝ ČASOPIS



ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

1377/881

NKF

II

NÁRODNÍ KNIHOVNA



1001732245

7

ROČNÍK 33 (LX)
PRAHA
ČERVENEC 1987
CENA 10 Kčs
ISSN 0044-3883

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÁ
ÚSTAV VĚDECKOTECHNICKÝCH INFORMACÍ
PRO ZEMĚDĚLSTVÍ

Řídí redakční rada: ing. Jiří Fiala, DrSc. (předseda), ing. Miloslav Adam, CSc., ing. Vladimír Dufek, CSc., prof. ing. Marko Ďuriš, CSc., ing. František Fortuník, CSc., ing. Stanislav Haš, CSc., ing. Dušan Hutla, doc. ing. Ján Jech, CSc., ing. Zdeněk Pastorek, CSc., ing. Miroslav Posekaný, ing. Bohumil Studeník, CSc., prof. ing. Vladimír Suchý, CSc., prof. ing. Zdeněk Štefl, DrSc., Josef Višínský, CSc.

Za vedení časopisu odpovídá ing. Jiří Fiala, DrSc.

Redaktorka ing. Jovanka Václavíčková

OBSAH

Bauer F.: Silové poměry v táhlech třibodového závěsu traktoru, zjišťované laboratorním a terénním měřením vzhledem k funkci silové regulace	385
Jílek J.: Matematické modelování konvekčního sušení silné kompaktní profukované vrstvy	395
Růžička J.: Účinnost nízkoteplotního vzduchového kolektoru	405
Haš S., Macháčková M., Štefánik F.: Sdílení tepla ve slunečních kolektorech pro ohřev atmosférického vzduchu	415
Maleř J.: Porovnání linek na lisování stébelnin	425
Ďuriš M., Ďudák J., Ostrožlík M.: Modelovanie liniek na lisovanie slamy v rámci komplexného prúdového zberu obilnín	441

СОДЕРЖАНИЕ

Бауер Ф.: Силовые отношения в тягах трехточечной подвески трактора определяемые лабораторным путем и в местностях с учетом функции силовой регулировки	393
Йилек Й.: Математическое моделирование конвекционной сушки сильно компактного продуваемого слоя	403
Ружичка Й.: Действие низкотемпературного воздушного коллектора	412
Гаш С., Махачкова М., Штефаник Ф.: Теплообмен в солнечных коллекторах для обогрева атмосферического воздуха	423
Малерж Й.: Сравнение линий для прессовки стеблевых кормов	438
Дюриш М., Дудяк Й., Острожлик М.: Моделирование линий для прессования соломы в рамках комплексной уборки зерновых	448

CONTENTS

Bauer F.: Force Relationships in the Draw Bars of the Three-point Hitch of Tractors Determined by Laboratory and Field Measurements with respect of the Function of Force Regulation	393
Jílek J.: Mathematical Modelling of Convection Drying of a Thick Compact Aerated Layer	403
Růžička J.: The Efficiency of a Low-Temperature Air Solar Collector	412
Haš S., Macháčková M., Štefánik F.: Heat Transmission in Solar Collectors for Air Heating	423
Maleř J.: Comparing the Lines for the Baling of Culm Crops	438
Ďuriš M., Ďudák J., Ostrožlík M.: Modelling Straw Baling Lines for Complex Grain Harvest	448

SILOVÉ POMĚRY V TÁHLECH TŘÍBODOVÉHO ZÁVĚSU TRAKTORU, ZJIŠTOVANÉ LABORATORNÍM A TERÉNNÍM MĚŘENÍM VZHLEDEM K FUNKCI SILOVÉ REGULACE

F. Bauer

BAUER, F. (Vysoká škola zemědělská, Brno): *Silové poměry v táhlech tříbodového závěsu traktoru, zjišťované laboratorním a terénním měřením vzhledem k funkci silové regulace*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 385-393.

Lepšímu využití kolových traktorů dosud brání některé nedostatky tříbodového zvedacího zařízení. Aplikace různých typů regulace hydraulického zvedacího zařízení umožňuje zvýšit výkonnost a současně pozitivně ovlivnit kvalitu práce. Uvádíme metodiku laboratorních a terénních měření. Úkolem měření bylo zjistit takový průběh sil v tříbodovém závěsu traktoru, který by odpovídal správné funkci silové regulace traktoru. Příspěvek obsahuje výsledky měření, které potvrzují teoretické předpoklady a prokazují lineární průběh sil v tříbodovém závěsu traktoru v závislosti na odporu pluhu.

kolový traktor; tříbodové zvedací zařízení; odpor pluhu

Průběh sil v táhlech tříbodového závěsu traktoru je důležitý jednak vzhledem k regulační hydraulice traktorů — jako vstupní impuls pro silovou regulaci, jednak také proto, že síly v táhlech významně ovlivňují adhezní síly, zejména prokluz hnacích kol, a tím i tahovou účinnost.

Podle energetické náročnosti agrotechnických operací v zemědělství se orba řadí na přední místo ve spotřebě tzv. přímé energie (nafty). Z těchto důvodů byla uvedená problematika zkoumána na traktoru, který byl agregován s neseným pluhem.

Současná zemědělská praxe má na hydraulické zvedací zařízení určené k ovládání tříbodového závěsu traktoru mnoho požadavků, které se od sebe velmi často liší.

Princip silové regulace spočívá v tom, že reguluje zatížení, v našem případě hloubku orby, aby se v impulsním táhle udržela konstantní síla. Podle požadavků na energii se zdá být nejvýhodnější orba na silovou regulaci, při které se současně zvyšuje výkonnost orebního agregátu (Bauer, 1985a, b).

V praxi se velmi často stává, že právě nedodržená rychlost při orbě bývá příčinou nekvalitní orby. Na úsecích se zvýšeným odporem zhutněné ornice se zvětšuje prokluz, klesá pracovní rychlost traktoru, a tím se snižuje tahový výkon traktoru. Za této situace se snižuje kvalita orby, což se projeví nedokonalým obrácením skývy, menším drobením a mísením. Silová regulace do určité míry odstraňuje uvedené nedostatky, které se mohou projevit při orbě s pluhem na opěrné kolo, při které je regu-

lační hydraulika vyražena z činnosti — jedná se o tzv. volnou polohu.

Použitá silová regulace reaguje na zvýšený odpor pluhu tím, že pomocí impulsního táhla je impuls předán do automatického mechanicko-hydraulického systému. Tento systém sníží zatížení tím, že částečně vyhloubí pluh, a tak přenesení část hmotnosti pluhu na zadní nápravu traktoru, což se v praxi projeví snížením prokluzu a vyrovnaním rychlosti orebního agregátu.

Silová regulace nemusí být vždy nejvýhodnější regulací. Např. při orbě s tímto regulačním systémem v nehomogenní půdě (kamenitá půda) se v důsledku kolísání odporu mění hloubka orby, což může vést k tomu, že nebude dodržena přípustná tolerance hloubky orby daná ČSN.

Dnešní technická dokonalost regulační hydrauliky traktorů Zetor umožňuje zvolit další regulační systémy (např. smíšená poloha) tak, aby kvalita orby odpovídala agrotechnickým požadavkům a byla provedena i s ohledem na energetickou náročnost.

Různá konstrukční řešení však současně vyvolávají změny v citlivosti impulsních táhel, pomocí nichž se impulsy přenášejí do automatického systému regulace, a tím se kvalita regulace ovlivňuje. Změny v citlivosti, které vznikají u mechanicko-hydraulických systémů v důsledku vůlí v čepech projevujících se při změně smyslu sil v impulsních táhlech, do značné míry odstraňují nově elektrohydraulické systémy, které se v poslední době zavádějí na traktory.

METODA

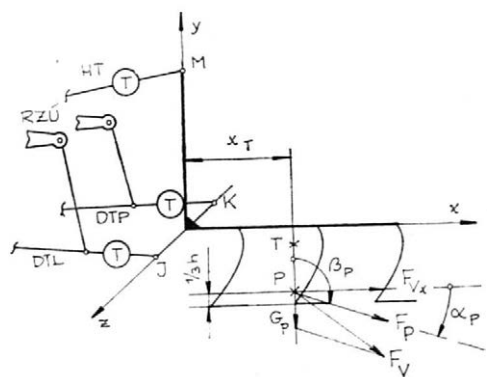
K experimentálnímu měření byl vybrán traktor Zetor 7245, agregovaný s neseným pluhem PH 1-426. Tříbodový závěs traktoru byl opatřen tenzometrickými snímači sil (obr. 1). Rozchod traktoru byl upraven tak, aby odpovídal záběru pluhu. Tlak v zadních pneumatikách byl upraven na hodnotu 130 kPa, v předních pneumatikách na 250 kPa. Působí síly F_P (obr. 1) bylo stanoveno podle literatury (K u c z e w s k ý, 1974). Z literatury vyplývá, že ve vertikální rovině je působí v jedné třetině hloubky orby a v horizontální rovině, tzn. v rovině rovnoběžné s povrchem, je dáno vztahem

$$z = \frac{b}{6} \cdot (3n-1)$$

kde: z — vzdálenost od stěny brázdy

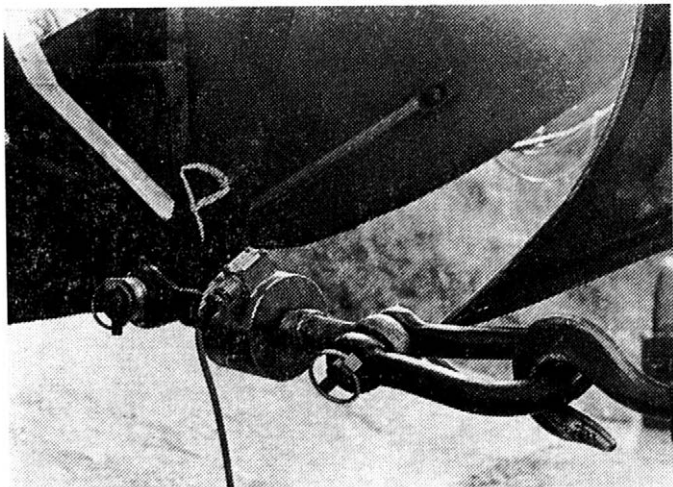
b — záběr orebního tělesa

n — počet orebních těles



1. Schéma závěsu traktoru agregovaného s neseným pluhem — A diagram of hitch in a tractor combined with a mounted plough

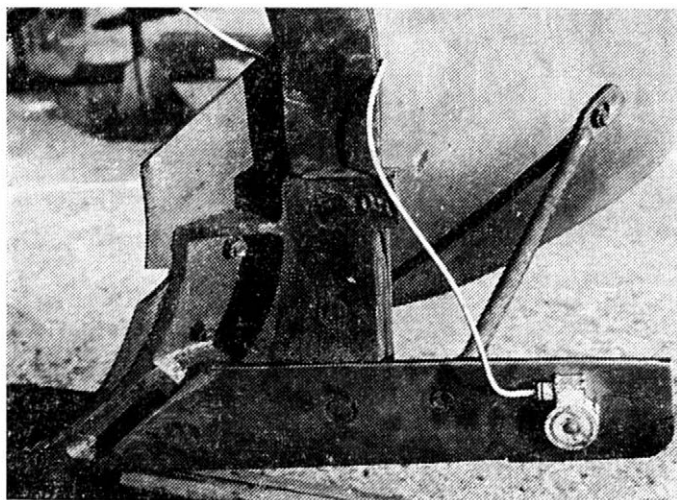
2. Detail uchycení zátěže nahrazující odpor pluhu — A detail of the gripping of the load simulating the plough resistance



Zátěž nahrazující odpor pluhu F_P (detail uchycení zátěže na obr. 2) byla postupně měněna od minimální až po maximální síly odpovídající měrnému odporu půdy 110 kPa — půda velmi těžká. Směrové úhly nositelky síly F_P byly měněny v rozmezí, ve kterém se při skutečné orbě pohybují, a jsou uvedeny v tab. III. Reakce na plazy orebních těles F_R byla měřena na plazu posledního orebního tělesa (obr. 3). Levé zadní kolo bylo podloženo podložkou, čímž se nahradila hloubka brázdy. Celkový pohled na traktor agregovaný s neseným pluhem, včetně zařízení k vytváření zatěžující síly, která nahrazovala odpor pluhu, je na obr. 4.

Stejným orebním agregátem bylo uskutečněno měření v terénu. Abychom při měření v terénu zajistili postupný nárůst odporu pluhu F_P , byla zvolena metoda postupného zahlubování pluhu. Na pozemku určeném pro měření byl vybrán vhodný úsek s minimální svažítostí. Pluh byl na délce 20 m měřeného úseku postupně zahlouben až na maximální hloubku orby, danou mezním orebním poměrem. Při postupném zahlubování docházelo k tomu, že z válce hydrauliky byl pomocí ovládací páčky vnitřního okruhu vypouštěn olej a pluh se vlivem své hmotnosti a sil působících na orební tělesa zahluboval. Aby mohl být zjištěn tažný odpor pluhu F_{Vx} (odpor pluhu v ose x), byl traktor agregovaný s pluhem, u kterého byl zařazen neutrál, tažen jiným traktorem. V laně umístěný tenzometrický snímač měřil tažnou sílu F_{TS} . Úsek, na kterém se orba měřila, byl opakovaně projet se zvednutým

3. Snímač pro měření síly F_R , umístěný na plazu orebního tělesa — Pickup for measuring force F_R , fixed to the landside of the plough body





4. Celkový pohled na traktor agregovaný s neseným pluhem při měření — General view of a tractor combined with a mounted plough in the course of measurement

pluhem a síla v laně byla vzata jako valivý odpor F_v . Odpor pluhu v ose x můžeme vyjádřit takto:

$$F_{Vx} = F_{TS} - F_v$$

Z průběžného záznamu nárůstu sil, který byl zaznamenán s frekvencí 50 Hz, byly vypočteny průměrné hodnoty odpovídající ujeté dráze přibližně 1,5 m. Takto získané hodnoty jsou uvedeny v tab. II a graficky zpracovány na obr. 7.

Pohled na traktor agregovaný s neseným pluhem při terénním měření je na obr. 5. Při měření byl použit telemetrický systém J a R TSE 245. Pro záznam měřených hodnot byl použit měřicí magnetofon 4 Si 7-W a smyčkový oscilograf 8 LS-1. Při měření jsme spolupracovali s VÚTr, k. p., Agrozet Zetor.

VÝSLEDKY A ZÁVĚR

Z celkového souboru měření bylo pro tento příspěvek vybráno experimentální měření č. 7. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. I a zpra-



5. Pohled na orební agregát při terénním měření — A view of the tractor-and-plough combination during tillage — field measurement

I. Hodnoty naměřené při laboratorních zkouškách — The values recorded during laboratory tests

Měření	Odpor pluhu (zátěž) F_{Vx}	Síla v dolním táhle levém F_{DTL}	Síla v dolním táhle pravém F_{DTP}	Síla v horním táhle F_H	Síla na plazy F_R
	[kN]				
7a	2,43	-2,87	-7,66	14,60	-0,54
7b	4,90	0,00	-4,52	11,20	-0,53
7c	7,38	2,23	-2,39	9,34	-0,96
7d	9,31	3,98	-0,94	8,15	-1,19
7e	12,12	6,85	0,94	5,94	-1,53
7f	14,00	8,60	2,01	4,92	-1,73
7g	16,25	10,35	3,39	3,56	-2,00
7h	19,50	13,22	4,90	2,55	-2,32

covány do grafu na obr. 6. Z terénního měření bylo vybráno měření č. 16, naměřené hodnoty jsou obsaženy v tab. II a zpracovány do grafu na obr. 7.

V terénu bylo podle posané metodiky uskutečněno šest měření a ve VÚTr, k. p., Agrozet Zetor 12 měření laboratorních.

Z průběhu sil v tříbodovém závěsu traktoru v závislosti na odporu pluhu F_{Vx} vyplývá, že u dolního táhla levého, dolního táhla pravého a horního táhla je průběh lineární. Dokladem toho je koeficient korelace, uvedený v tab. III a IV.

II. Hodnoty naměřené při terénním měření — The values recorded during field measurements

Měření	Valivý odpor F_v [kN]	Odpor pluhu F_{Vx} [kN]	Síly v tříbodovém závěsu traktoru [kN]			Hloubka orby h [m]
			dolní táhlo levé F_{DTL}	dolní táhlo pravé F_{DTP}	horní táhlo F_H	
16a	5,7	10,844	-1,564	1,484	10,752	0,050
16b	5,7	10,844	0,0	2,226	9,216	0,060
16c	5,7	10,844	1,654	2,968	6,912	0,100
16d	5,7	12,348	4,962	5,194	3,840	0,160
16e	5,7	13,100	4,962	6,678	2,304	0,160
16f	5,7	13,852	5,789	7,420	1,536	0,170
16g	5,7	13,862	6,616	8,904	0,000	0,190
16h	5,7	15,356	8,270	10,388	-1,536	0,195
16ch	5,7	18,364	14,059	14,840	-6,144	0,210
16i	5,7	19,868	16,540	17,066	-7,680	0,220
16j	5,7	24,380	19,848	18,550	-9,216	0,250

III. Souhrnné hodnoty koeficientů regrese a korelace u laboratorních měření — Summarized values of the regression and correlation coefficients for the laboratory measurements

Měření	Dolní táhlo levé		Dolní táhlo pravé		Horní táhlo		Směrový úhel α_P [°]	Směrový úhel β_P [°]
	koeficient regrese k	koeficient korelace r	koeficient regrese k	koeficient korelace r	koeficient regrese k	koeficient korelace r		
1	0,812	0,99	0,513	0,99	-0,310	0,982	22,0	102
2	0,878	0,99	0,608	0,99	-0,519	0,99	22,0	102
3	0,882	0,99	0,565	0,89	-0,531	0,99	22,0	102
4	1,040	0,99	0,486	0,98	-0,585	0,97	22,0	102
5	0,997	0,99	0,726	0,99	-0,692	0,99	17,0	97
6	0,880	0,99	0,581	0,99	-0,500	0,98	17,0	97
7	0,936	0,99	0,715	0,98	-0,691	0,98	14,0	97
8	0,828	0,99	0,518	0,99	-0,401	0,99	14,0	102
9	0,936	0,99	0,384	0,98	-0,330	0,99	16,5	102
10	1,080	0,99	0,617	0,97	-0,729	0,97	13,5	98
11	1,040	0,98	0,492	0,97	-0,589	0,97	16,5	98
12	1,030	0,99	0,526	0,98	-0,625	0,97	18,0	93

Dalším faktem, který můžeme z rozboru naměřených sil vyčíst, je skutečnost, že u všech tří táhel — dvou dolních a jednoho horního táhla dochází ke změně sil. Změna smyslu sil v příslušných táhlech je způsobena tím, že nositelka celkového odporu F_v prochází bodem otáčení; prochází-li bodem M (obr. 1), mění se smysl sil v dolních táhlech, prochází-li klouby dolních táhel osa z (obr. 1), mění se smysl sil v horním táhle.

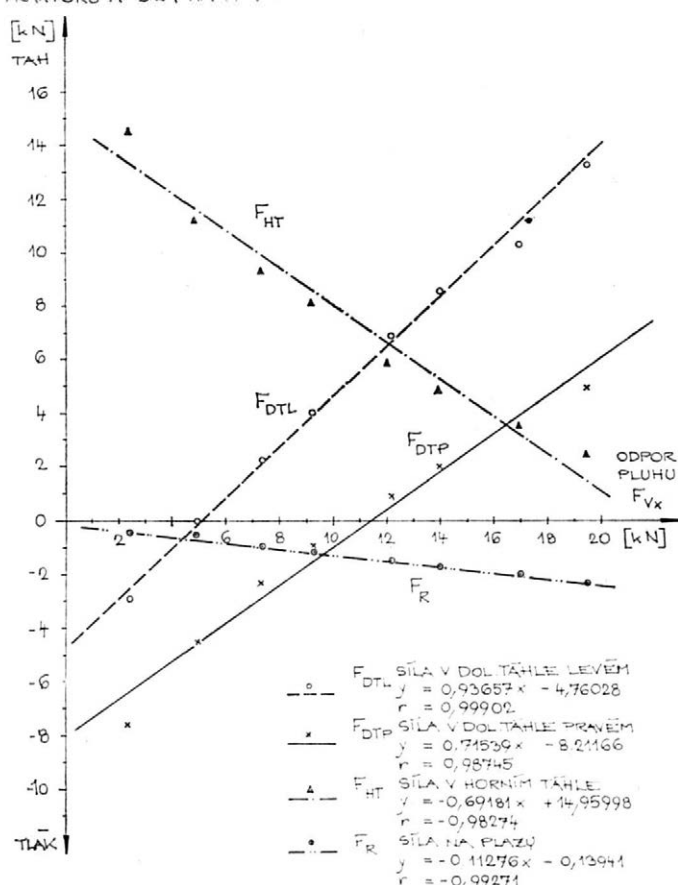
Z rozboru uvedených měření (ale i z dalších, která jsou prováděna ve spolupráci Vysoké školy zemědělské v Brně s k. p. Agrozet Zetor) vy-

IV. Souhrnné hodnoty koeficientů regrese a korelace u terénních měření — Summarized values of the regression and correlation coefficients for the field measurements

Měření	Dolní táhlo levé		Dolní táhlo pravé		Horní táhlo	
	koeficient regrese k	koeficient korelace r	koeficient regrese k	koeficient korelace r	koeficient regrese k	koeficient korelace r
13	1,510	0,99	1,130	0,963	-1,135	0,98
14	0,841	0,97	0,910	0,960	-0,780	0,92
15	1,050	0,95	0,948	0,970	-0,684	0,94
16	1,610	0,97	1,378	0,960	-1,609	0,93
17	1,150	0,96	0,944	0,980	-0,481	0,92
18	1,000	0,94	0,974	0,980	-0,481	0,92

6. Průběh sil v tříbodovém závěsu traktoru a síly na plazy v závislosti na odporu pluhu při laboratorních zkouškách — The course of the forces in the three-point hitch of the tractor and the forces on the landside, in relation to the plough resistance during laboratory tests

SÍLY V TŘÍBODOVÉM ZÁVĚSU TRAKTORU A SÍLA NA PLAZY

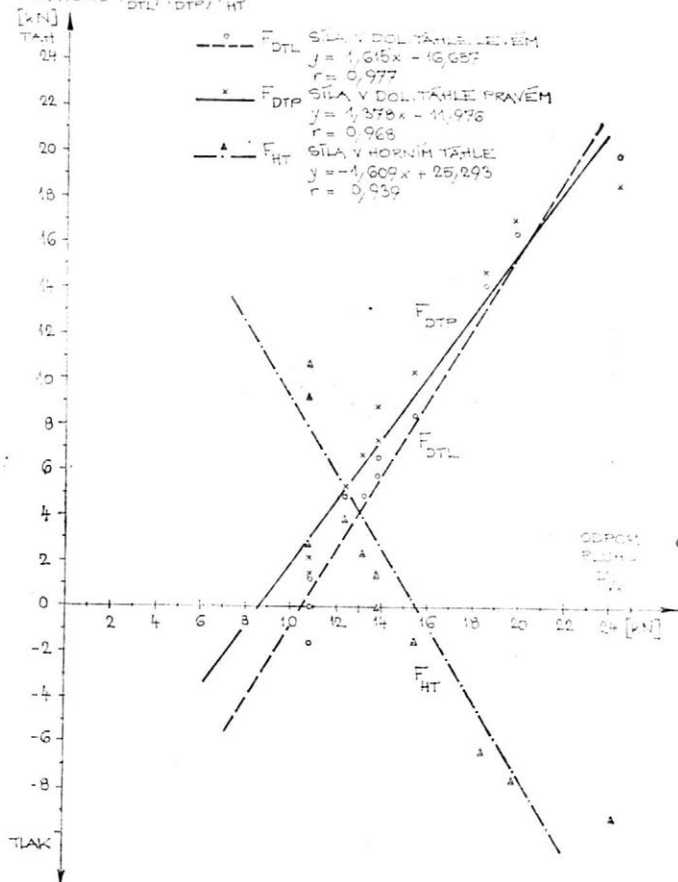


plývá, že ke změně smyslu sil v dolních táhlech nedochází naráz, ale postupně. Tato skutečnost je zřejmě způsobena odporem půdy vůči orebním tělesům a klopným momentem odhrnovaček projevujícím se jako silový účinek (sil a momentů) na tříbodový závěs. Tuto problematiku jsme řešili matematicko-fyzikálním modelem (Bauer a Loprais, 1984).

Z hodnot koeficientu regrese k , uvedených v tab. III a IV, vyplývá, že nejvyšší nárůst síly v závislosti na síle F_{Vx} se projevuje u dolního levého táhla, u něhož jsou dosažené hodnoty koeficientů k nejvyšší. Výjimku z celkového souboru měření představuje pouze měření č. 14, u kterého je koeficient regrese vyšší u dolního pravého táhla.

Znalost silových účinků v tříbodovém závěsu traktoru je důležitá jak vzhledem k vstupnímu impulsu do automatického systému regulační hydrauliky, tak také vzhledem k silovým účinkům adhezních sil. Lepší znalost problematiky regulační hydrauliky traktorů zkvalitní práci traktorové orební soupravy a zároveň pozitivně ovlivní celkovou ekonomičnost.

SÍLY V TŘÍBODOVÉM ZÁVĚSU
TRAKTORU F_{DTL} , F_{DTP} , F_{HT}



7. Průběh sil v tříbodo-
vém závěsu traktoru
v závislosti na odporu
pluhu při terénním mě-
ření — The course of
the forces in the three-
point hitch of the
tractor in relation to the
plough resistance during
field measurement

Použité symboly

x, y, z — souřadnice	T — těžiště
α_p, β_p — směrové úhly	P — působíště celkového odporu
HT — horní táhlo	G_p — tíha pluhu
DTL — dolní táhlo levé	T — tenzometrický snímač
DTP — dolní táhlo pravé	F_p — zatěžující síla (odpor pluhu)
PZU — ramena zvedacího ústrojí	h — hloubka orby

Literatura

- BAUER, F.: Vliv regulační hydrauliky traktoru na vybrané parametry motoru. In: Sbor. Konference kateder a pracovišť spalovacích motorů VŠZ Praha. Praha 1985a, s. 8-16.
- BAUER, F.: Optimalizace přenosu energie u zemědělského traktoru. [Závěrečná výzkumná zpráva.] Vysoká škola zemědělská, Brno 1985.
- BAUER, F. — LOPRAIS, A.: Algoritmus optimalizace tříbodo-
vého závěsu traktoru z hlediska sil působících na traktor. Zeměd. Techn., 30, 1984, č. 12, s. 743-748.
- KUCZEWSKI, J.: Podstawy eksploatacji agregatów rolniczych. Warszawa 1974.

Došlo dne 26. 1. 1987

БАУЕР, Ф. (Сельскохозяйственный институт, Брно): *Силовые отношения в тягах трехточечной подвески трактора определяемые лабораторным путем и в местностях с учетом функции силовой регулировки*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 385-393.

Более широкому применению колесных тракторов до сих пор мешают некоторые недостатки трехточечного подъемного механизма. Применение различных типов регулировки гидравлического подъемного механизма дает возможность повысить производительность и в то же время положительно повлиять на качество работы. Приводим методику лабораторных измерений и измерений в местности. Задачей измерений было определение такого хода сил в трехточечной подвеске трактора, чтобы отвечал правильной функции трактора. Статья содержит результаты измерений, которые подтверждают теоретические предположения и подтверждают линейный ход сил в трехточечной подвеске трактора в зависимости от сопротивления плуга.

колесный трактор; трехточечный подъемный механизм; сопротивление плуга

BAUER, F. (University of Agriculture, Brno): *Force Relationships in the Draw Bars of the Three-point Hitch of Tractor Determined by Laboratory and Field Measurements with respect to the Function of Force Regulation*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 385-393.

Some drawbacks of the three-point jacking equipment still hinder better utilization of wheeled tractors. The use of various types of regulation of the hydraulic jacking equipment enables to increase performance and to influence positively the quality of work. The methods of laboratory and field measurements are described. The purpose of the measurement was to find, in the three-point hitch of the tractor, the best course of forces conforming to adequate function of the force regulation of the tractor. The results of measurements are presented, which confirm theoretical assumptions and demonstrate the linear course of forces in the three-point hitch of tractor as depending on plough resistance.

wheeled tractor; three-point jacking mechanism; plough resistance

BAUER, P. (Landwirtschaftliche Hochschule, Brno): *Kräfteverhältnisse in Zugstangen des Dreipunktanbaus des Traktors ermittelt mit Hilfe der Labor- und Feldmessungen in bezug auf die Funktion der Kraftregelung*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 385-393.

Eine bessere Ausnutzung der Radtraktoren verhindern bisher einige Mängel im Dreipunktanbau. Der Einsatz verschiedener Typen der Regelung der hydraulischen Hebevorrichtung erlaubt uns die Leistung zu erhöhen und gleichzeitig auch die Arbeitsqualität positiv zu beeinflussen. Wir führen die Methodik der Labor- und Feldmessungen an. Die Messungen hatten zum Ziel ein solches Kräfteverhältnis im Dreipunktanbau des Traktors zu ermitteln, das der richtigen Funktion der Kraftregelung des Traktors entspricht. Die vorliegende Arbeit enthält auch Meßergebnisse, die die theoretischen Voraussetzungen bestätigen und den linearen Verlauf der Kräfte im Dreipunktanbau des Traktors in Abhängigkeit vom Widerstand des Pfluges nachweisen.

Radtraktor; Dreipunkthebevorrichtung; Widerstand des Pfluges

Adresa autora:

Doc. ing. František Bauer, CSc., Vysoká škola zemědělská, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vybrané nejnovější tituly z oboru zemědělská technika ve fondu ÚZLK

- Anaerobic digestin of farm waste.** Technical bulletin 7.
Reading 1985. D 73.593/7
- Effektiver Einsatz von Energie in der Gewächshausgemüseproduktion.**
Berlin 1986. D 30.331/238
- Conservation Tillage: January 1980—August 1985.**
Citations from Agricola.
Washington 1986. C 25.908/51
- GÖMLICH, H.: Mensch und Maschine.** Lehrbuch der Agrartechnik.
Bd. 5. Pareys Studentexte 41.
Berlin 1987. D 65.241/41
- HAVLÍČEK, J.: Provozní spolehlivost strojů 1, 2.**
Spolehlivost a obnova, technická diagnostika.
Praha 1987. C 30.088/1,2.
- KÜHN, G.: Maschinen und Anlagen für Pflanzenproduktion.** Bd. 2.
Berlin 1986. D 76.465/2
- Mechanisierung in der Futter- und Tierproduktion.**
Berlin 1986. D 30.331/251

MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ KONVEKČNÍHO SUŠENÍ SILNĚ KOMPAKTNÍ PROFUKOVANÉ VRSTVY

J. Jílek

JÍLEK, J. (Vysoká škola zemědělská, Praha-Suchdol): *Matematické modelování konvekčního sušení silně kompaktní profukované vrstvy*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7): 395–404.

Na základě bilančních a konstitutivních rovnic vnějšího přenosu hmoty a vnějšího přestupu tepla je sestaven matematický model konvekčního sušení silně kompaktní (tj. bez promíchávání) profukované vrstvy. Přitom je využito představy o kontinuálním průběhu všech použitých veličin. Matematický model, daný soustavou čtyř parciálních diferenciálních rovnic, platí pro libovolné uspořádání vzájemného pohybu silně kompaktní vrstvy a sušícího média. Jeho řešením při známých počátečních a okrajových podmínkách dostaneme průběh měrných vlhkostí materiálu a vzduchu a teplot materiálu a vzduchu v závislosti na čase a místě v prostoru.

matematický model; bilanční rovnice; přenos hmoty; přestup tepla

Konvekční sušení profukováním, tj. ventilací silně vrstvy pohyblivé nebo nepohyblivé, kompaktní nebo s promícháváním, je perspektivním způsobem sušení zemědělských plodin — např. píce a zrnin — při využití nízkoteplotních zdrojů energie. Tento sušící způsob se uplatňuje např. v nízkoteplotních pásových sušárnách píce, v senicích při dosoušení sena na rostech studeným nebo přehřátým vzduchem a ve věžových nebo halových silech při aktivní (na rozdíl od přirozené) ventilaci neboli aktivním provzdušňováním zrnin. Úkolem profukování silně vrstvy rostlinného materiálu nemusí být pouze odvod vlhkosti, tedy snížení vlhkosti materiálu, ale také odvod tepla vzniklého dýcháním a fermentací materiálu, tj. snížení teploty materiálu. Při nízkoteplotním sušení může být spotřeba energie na jednotku hmotnosti usušeného materiálu nižší než u sušení vysokoteplotního.

STRUKTURA MATEMATICKÉHO MODELU KONVEKČNÍHO SUŠENÍ

Matematický model konvekčního sušení silně kompaktní profukované vrstvy (dále jen matematický model konvekčního sušení) je vybudován na základě bilančních a konstitutivních rovnic vnějšího přenosu hmoty a vnějšího přestupu tepla. Vnitřní přenos hmoty a vnitřní přestup tepla, tj. přenos hmoty a přestup tepla uvnitř vysoušeného materiálu, zde nejsou analyzovány. Bilanční rovnice jsou formulovány v diferenciálním vyjádření. Model nebere v úvahu úbytek suchého materiálu (sušiny) a s tím spojené teplo uvolněné v důsledku dýchání a fermentace rostlinného materiálu. Úprava odvozeného modelu vzhledem k úbytku sušiny a vzhledem k uvolněnému teplu je triviální.

Matematický model vnějšího přenosu hmoty a tepla konvekčního sušení je konstruován na základě představy (teoretického modelu) kontinuálního rozložení vzhledem k prostoru a kontinuálního průběhu vzhledem k času všech veličin použitých k popisu tohoto procesu. Hodnota každé veličiny v určitém místě prostoru a v určitém čase představuje střední hodnotu vzhledem k dostatečně malému — nikoli však infinitezimálnímu — prostoru a časovému intervalu této veličiny v daném místě a čase. Tato představa do sebe vřazených několika kontinuí veličin je velice

efektivní, neboť vyhlazuje reálný nespojitý průběh těchto veličin v prostoru a čase; ve skutečnosti nemá smyslu mluvit např. o vlhkosti materiálu v místě prostoru vrstvy, ve kterém materiál není. Po základní formulaci matematického modelu je nutné model upravit vzhledem ke skutečnému nespojitému prostorovému průběhu těchto veličin zavedením objemových podílů jednotlivých fází vrstvy materiálu.

Rovnice modelu konvekčního sušení jsou odvozeny pro libovolné uspořádání vzájemného pohybu silné kompaktní vrstvy a sušícího média. Odvození speciálních případů protiproudého, souproutdého a křížoproudého vzájemného pohybu a profukování nehybné vrstvy je potom jednoduché.

BILANČNÍ ROVNICE VNĚJŠÍHO PŘENOSU HMOTY A TEPLA

Bilanční rovnice vyjadřují změnu nebo — ve speciálním případě zákonů zachování — neměnnost určité veličiny systému. Bilanční rovnice celkové energie systému často bývá dělena na bilanční rovnici hmoty a bilanční rovnici vnitřní energie systému (tzv. první věta termodynamiky), neboť v celkové energii vystupují veličiny o hodnotách značně rozdílných řádů.

Sušený materiál charakterizujeme průměrnou teplotou $\Theta(\vec{r}, \tau)$ a průměrnou vlhkostí $u(\vec{r}, \tau)$, přičemž zprůměrnění je provedeno vzhledem k prostorovým souřadnicím uvnitř materiálu, např. vzhledem k tloušťce deskovitého materiálu. Sušící médium charakterizujeme průměrnou teplotou $t(\vec{r}, \tau)$, průměrnou měrnou vlhkostí $x(\vec{r}, \tau)$ a průměrnou intenzitou plošného toku suchého vzduchu $\vec{Q}_{m,L}(\vec{r}, \tau)$, přičemž zprůměrnění je provedeno vzhledem k prostorovým souřadnicím mimočásticového prostoru. Předpokládáme izobarický průběh procesu, tj. nulový gradient tlaku ve směru proudění sušícího média. Východiskem bilančních rovnic je Reynoldsův teorém (Samohýl, 1982)

$$\frac{d}{d\tau} \int_{V_m} b dV = \frac{d}{d\tau} \int_{V_p} b dV + \int_{\partial V_p} b (\vec{v} \cdot \vec{n}) dS = \int_{V_m} v_b \quad (1)$$

vyjadřující skutečnost, že rychlost změny veličiny B , které odpovídá měrná (vzhledem k objemu) veličina b v materiálním objemu V_m (objem obsahující stejný počet částic), je rovna rychlosti změny této veličiny v pevném objemu V_p momentálně shodném s materiálním objemem V_m a intenzitě toku této veličiny přes jeho pevný povrch $\partial V_p \cdot \vec{n}$ je jednotkový vektor kolmý k infinitesimálnímu pevnému povrchu. Veličina v_b označuje produkci veličiny B za časovou jednotku v jednotkovém objemu. Vztah (1) je platný pro veličinu b libovolného tenzorového řádu. Pravou část rovnice (1) lze upravit na tvar

$$\int_{V_p} \left(\frac{\partial b}{\partial \tau} \right) dV + \int_{V_p} (\nabla \cdot b\vec{v}) dV = \int_{V_m} v_b \quad (2)$$

Protože integrační oblast V_m u integrálu pravé strany této rovnice lze zaměnit za integrační oblast V_p , vyplývá z toho

$$\frac{\partial b}{\partial \tau} + (\nabla \cdot b\vec{v}) = v_b \quad (3)$$

Rovnici (3) aplikujeme na vnější přenos hmoty a tepla mezi sušeným materiálem a sušícím médiem. Předpokládáme, že sušený materiál je složen ze dvou fází — sušiny S a vody W — a sušící médium rovněž ze dvou fází — suchého vzduchu L a vodní páry D . Rovnici (3) lze pro vnější přenos hmoty a tepla zapsat odděleně pro jednotlivé fáze nebo pro různé kombinace fází.

HMOTNOSTNÍ BILANCE

Rovnice (3) pro přenos hmoty jednotlivých fází má tvar (index m označuje měrnou veličinu vztahenou na objem kontinua)

$$\frac{\partial \varrho_{m,S}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,S} \vec{v}_{m,S}) = v_{\varrho_{m,S}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,W}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,W} \vec{v}_{m,W}) = v_{\varrho_{m,W}} \quad (5)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,L}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,L} \vec{v}_{m,L}) = v_{\varrho_{m,L}} \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,D}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,D} \vec{v}_{m,D}) = v_{\varrho_{m,D}} \quad (7)$$

Vzhledem k předpokládané nulové produkci suchého materiálu a suchého vzduchu

$$v_{\varrho_{m,S}} = 0 \quad (8)$$

$$v_{\varrho_{m,L}} = 0 \quad (9)$$

vyjadřují rovnice (4) a (6) rovnice kontinuity. Podle zákona o zachování hmoty — vlhkosti v materiálu a vlhkosti ve vzduchu — potom platí

$$v_{\varrho_{m,S}} + v_{\varrho_{m,W}} + v_{\varrho_{m,L}} + v_{\varrho_{m,D}} = 0 \quad (10)$$

tj.
$$v_{\varrho_{m,W}} = -v_{\varrho_{m,D}} \quad (11)$$

Veličina $v_{\varrho_{m,D}}$ je zřejmě úměrná hnací síle přenosu hmoty.

Zanedbáme-li vzhledem ke kontinuím S a W prostorově usměrněnou difúzi vody v suchém materiálu, pak platí

$$\vec{v}_{m,W} = \vec{v}_{m,S} = \vec{v}_{m,SW} \quad (12)$$

Zanedbáme-li vzhledem ke kontinuím L a D prostorově usměrněnou difúzi vodní páry v suchém vzduchu, pak platí

$$\vec{v}_{m,D} = \vec{v}_{m,L} = \vec{v}_{m,LD} \quad (13)$$

Uvážíme-li vztahy (11) až (13), lze rovnice (5) a (7) přepsat na tvar

$$\frac{\partial \varrho_{m,W}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,W} \vec{v}_{m,SW}) = -v_{\varrho_{m,D}} \quad (14)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,D}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,D} \vec{v}_{m,LD}) = v_{\varrho_{m,D}} \quad (15)$$

První z těchto vztahů vyjadřuje bilanci vody ve vlhkém materiálu, druhý pak bilanci vodní páry ve vlhkém vzduchu.

TEPELNÁ BILANCE

Rovnice (3) pro přestup tepla jednotlivých fází má při izobarickém procesu tvar

$$\frac{\partial \varrho_{m,shS}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,shS} \vec{v}_{m,S}) = v_{\varrho_{m,shS}} \quad (16)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,whW}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,whW} \vec{v}_{m,W}) = v_{\varrho_{m,whW}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,L} h_L}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,L} h_L \vec{v}_{m,L}) = v_{\varrho_{m,L} h_L} \quad (18)$$

$$\frac{\partial \varrho_{m,D} h_D}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,D} h_D \vec{v}_{m,D}) = v_{\varrho_{m,D} h_D} \quad (19)$$

Vyjádření pravých stran rovnic (16) až (19) je již komplikovanější. Zřejmě lze obecně pravou stranu vyjádřit součtem „hmotnostního“ členu $v'_{\varrho_m h}$ a členu, který bude respektovat „nehmotnostní“ přestup entalpie (tepla) mezi předpokládanými kontinui $v'''_{\varrho_m h, s}$ tj.

$$v_{\varrho_m h} = v'_{\varrho_m h} + v'''_{\varrho_m h} \quad (20)$$

Při vyjádření „hmotnostního“ členu $v'_{\varrho_m h}$ zanedbáváme „nehmotnostní“ přestup tepla. Potom lze rovnice (16) až (19) vyjádřit obecně ve tvaru

$$\frac{\partial \varrho_m h}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_m h \vec{v}_m) = v'_{\varrho_m h} \quad (21)$$

Úpravou tohoto vztahu s uvážením obecného vyjádření rovnic (4) až (7)

$$\frac{\partial \varrho_m}{\partial \tau} + (\nabla \cdot \varrho_m \vec{v}_m) = v_{\varrho_m} \quad (22)$$

dostaneme

$$\varrho_m \frac{Dh}{Dt} + h \cdot v_{\varrho_m} = v'_{\varrho_m h} \quad (23)$$

Ve vztahu (23) je použito materiální derivace, která pro obecnou veličinu b je definována vztahem

$$\frac{Db}{Dt} = \frac{\partial b}{\partial \tau} + (\vec{v} \cdot \nabla) b \quad (24)$$

Dosadíme-li do vztahu (23) rovnici pro měrnou entalpii

$$h = u + p_m V_m \quad (25)$$

a rovnici vnitřní energie proudícího média (Bird aj., 1968)

$$\varrho_m \frac{Du}{Dt} = -(\nabla \cdot \vec{q}_m) - p_m (\nabla \cdot \vec{v}_m) - (\tau_m : \nabla \vec{v}_m) \quad (26)$$

kde: $\varrho_m \frac{Du}{Dt}$ — rychlost přírůstu vnitřní energie objemového elementu
 $-(\nabla \cdot \vec{q}_m)$ — rychlost přívodu tepelné energie objemového elementu
 $p_m (\nabla \cdot \vec{v}_m)$ — vratná rychlost přírůstu vnitřní energie objemového elementu způsobeného kompresí
 $(\tau_m : \nabla \vec{v}_m)$ — nevratná rychlost přírůstu vnitřní energie objemového elementu způsobeného viskózní disipací

obdržíme s opětovným použitím rovnice (22)

$$-(\nabla \cdot \vec{q}_m) - (\tau_m : \nabla \vec{v}_m) + \frac{Dp_m}{Dt} + u \cdot v_{\varrho_m} = v'_{\varrho_m h} \quad (27)$$

Dále zanedbáme vedení tepla v každém kontinuu, tj. $-(\nabla \cdot \vec{q}_m) = 0$, a také zanedbáme nevratný přírůstek vnitřní energie, způsobený viskózní disipací $[(\tau_m : \nabla \vec{v}_m)]$

= 0], neboť přeměna kinetické energie v energii tepelnou je proti ostatním členům vztahů (16) až (19) při běžných malých vzájemných rychlostech sušícího média a sušeného materiálu nepatrná. Dále místo vnitřní energie použijeme entalpii, neboť změna vnitřní energie vody při jejím vypaření se v běžných podmínkách přicházejících při sušení v úvahu (teplota a tlak) liší od odpovídající změny entalpie vody o několik procent. Pak lze rovnici (27) psát ve tvaru

$$v'_{Qm,h} = h \cdot v_{Qm} + \frac{Dp_m}{D\tau} \quad (28)$$

Zanedbáme-li prostorově usměrněnou difúzi vody v suchém materiálu a vodní páry v suchém vzduchu [vztahy (12) a (13)], pak vztahy (16) až (19) nabývají s uvážením rovnic (8), (9), (20) a (28) tvar

$$\frac{\partial Q_{m,shs}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot Q_{m,shs} \vec{v}_{m,sw}) = \frac{Dp_{m,s}}{D\tau} + v'''_{Qm,shs} \quad (29)$$

$$\frac{\partial Q_{m,whw}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot Q_{m,whw} \vec{v}_{m,sw}) = h_w v_{Qm,w} + \frac{Dp_{m,w}}{D\tau} + v'''_{Qm,whw} \quad (30)$$

$$\frac{\partial Q_{m,LhL}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot Q_{m,LhL} \vec{v}_{m,LD}) = \frac{Dp_{m,L}}{D\tau} + v'''_{Qm,LhL} \quad (31)$$

$$\frac{\partial Q_{m,DhD}}{\partial \tau} + (\nabla \cdot Q_{m,DhD} \vec{v}_{m,LD}) = h_D v_{Qm,D} + \frac{Dp_{m,D}}{D\tau} + v'''_{Qm,DhD} \quad (32)$$

Dále sdružíme kontinua S a W v kontinuum SW a kontinua L a D v kontinuum LD . Pak lze rovnice (29) až (32) psát ve sdruženém tvaru

$$\begin{aligned} \frac{\partial(Q_{m,shs} + Q_{m,whw})}{\partial \tau} + (\nabla \cdot Q_{m,shs} \vec{v}_{m,sw}) + (\nabla \cdot Q_{m,whw} \vec{v}_{m,sw}) = \\ = h_w v_{Qm,w} + \frac{D(p_{m,s} + p_{m,w})}{D\tau} + v'''_{Qm,sw} h_{sw} \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(Q_{m,LhL} + Q_{m,DhD})}{\partial \tau} + (\nabla \cdot Q_{m,LhL} \vec{v}_{m,LD}) + (\nabla \cdot Q_{m,DhD} \vec{v}_{m,LD}) = \\ = h_D v_{Qm,D} + \frac{D(p_{m,L} + p_{m,D})}{D\tau} + v'''_{Qm,LD} h_{LD} \end{aligned} \quad (34)$$

kde jsme označili

$$v'''_{Qm,sw} h_{sw} = v'''_{Qm,shs} + v'''_{Qm,whw} \quad (35)$$

$$v'''_{Qm,LD} h_{LD} = v'''_{Qm,LhL} + v'''_{Qm,DhD} \quad (36)$$

Podle zákona o zachování energie platí

$$v_{Qm,shs} + v_{Qm,whw} + v_{Qm,LhL} + v_{Qm,DhD} = 0 \quad (37)$$

a tedy

$$h_w v_{Qm,w} + h_D v_{Qm,D} + v'''_{Qm,sw} h_{sw} + v'''_{Qm,LD} h_{LD} = 0 \quad (38)$$

Vzhledem k platnosti vztahu (11) a vztahu pro „nehmotnostní“ výměnu energie mezi sdruženými kontinui

$$v'''_{Qm,sw} h_{sw} = -v'''_{Qm,LD} h_{LD} \quad (39)$$

musí podle rovnice (38) platit

$$h_w = h_D \quad (40)$$

Tento vztah vyjadřuje skutečnosti, že entalpie vody, která opouští vlhký materiál, je shodná s entálií vody, kterou vlhký vzduch přijímá. S uvážením vztahů (11), (39) a (40) a za předpokladu izobarického procesu vzhledem ke sdruženým kontinuí dostávají rovnice (33) a (34) tvar

$$\frac{\partial(\varrho_{m,shs} + \varrho_{m,whw})}{\partial\tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,shs} \vec{v}_{m,sw}) + (\nabla \cdot \varrho_{m,whw} \vec{v}_{m,sw}) = -h_D v_{\varrho_{m,D}} + v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}} \quad (41)$$

$$\frac{\partial(\varrho_{m,Lh_L} + \varrho_{m,Dh_D})}{\partial\tau} + (\nabla \cdot \varrho_{m,Lh_L} \vec{v}_{m,LD}) + (\nabla \cdot \varrho_{m,Dh_D} \vec{v}_{m,LD}) = h_D v_{\varrho_{m,D}} - v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}} \quad (42)$$

Veličiny $v_{\varrho_{m,D}}$, $v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}}$ vyjadřují místní intenzitu hustoty přenosu hmoty (v případě přenosu $W \rightarrow D$ je $v_{\varrho_{m,D}} > 0$) a místní intenzitu hustoty přestupu tepla (v případě přestupu tepla $LD \rightarrow SW$ je $v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}} > 0$) a lze je určit konstitutivními rovnicemi. Rovnice (41) je energetickou bilancí vlhkého materiálu a rovnice (42) energetickou bilancí vlhkého vzduchu.

V rovnicích (41) a (42) je nutné zvolit určitou entalpickou (teplotní) úroveň přenášené vody (vodní páry), s čímž je spojena relace mezi přenosem entalpie vázané na odpařovanou vlhkost $h_D v_{\varrho_{m,D}}$ a přestupem tepla (entalpie) bez vazby na odpařovanou vlhkost $v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}}$. Mezní případy lze vyjádřit takto:

$$h_D = h_W(\Theta) \Rightarrow v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}} \rightarrow \min \quad (43)$$

$$h_D = h_D(t) \Rightarrow v'''_{\varrho_{m,sw}h_{sw}} \rightarrow \max \quad (44)$$

V prvním mezním případě je z materiálu odváděna kapalná voda o teplotě materiálu ϑ , a proto přívod tepla vlhkému materiálu je minimální, zejména na ohřátí materiálu. V druhém mezním případě je z materiálu odváděna vodní pára o teplotě vlhkého vzduchu t , a proto přívod tepla vlhkému materiálu je maximální; jde zejména o skupenské teplo fázové přeměny, teplo na ohřátí vodní páry z teploty Θ na teplotu t a teplo na ohřátí materiálu. V našem modelu předpokládáme případ daný vztahem

$$h_D = h_D(\Theta) \quad (45)$$

kdy se teplo přivedené materiálu spotřebuje na fázovou přeměnu vody ve vodní páru a na ohřátí materiálu. Vodní pára opouští materiál o teplotě Θ . Zahřátí vodní páry z teploty Θ na teplotu vzduchu t předpokládáme již ve vlhkém vzduchu.

ÚPRAVA BILANČNÍCH ROVNIC

Až dosud byl brán v úvahu hypotetický případ vzájemné prostupnosti všech předpokládaných kontinuí. Ve skutečnosti sdružené kontinuum LD neprostupuje sdruženým kontinuem SW . Proto je třeba dosud odvozené vztahy pro hmotnostní bilanci (14) a (15) a vztahy pro energetickou bilanci (41) a (42) upravit vzhledem k této skutečnosti. Zavedením objemových podílů

$$\varepsilon_S = \frac{V_S}{V} \quad (46)$$

$$\varepsilon_{SW} = \frac{V_S + V_W}{V} \quad (47)$$

lze dosud předpokládané měrné hustoty kontinuí vyjádřit vztahy

$$\varrho_{m,L} = (1 - \varepsilon_{SW}) \varrho_L \quad (48)$$

$$\varrho_{m,D} = (1 - \varepsilon_{SW}) \varrho_D = (1 - \varepsilon_{SW}) x \varrho_L \quad (49)$$

$$\varrho_{m,S} = \varepsilon_S \varrho_S \quad (50)$$

$$\varrho_{m,W} = \varepsilon_S \varrho_S u \quad (51)$$

kde: ϱ_L , ϱ_D , ϱ_S — skutečné hustoty suchého vzduchu, vodní páry a suchého materiálu

Veličina ϱ_S někdy bývá nazývána objemovou hmotností, přičemž póry látky se počítají jako součást objemu materiálu. Vektor měrné rychlosti vlhkého vzduchu $\vec{v}_{m,L,D}$ lze vyjádřit pomocí vektoru intenzity plošného toku suchého vzduchu $\vec{Q}_{m,L}$ vztahem

$$\vec{v}_{m,L,D} = \frac{\vec{Q}_{m,L}}{(1 - \varepsilon_{SW}) \varrho_L} \quad (52)$$

Pro entalpii materiálu, vody, suchého vzduchu a vodní páry předpokládáme platnost těchto vztahů

$$h_S(\Theta) = c_S \Theta \quad (53)$$

$$h_W(\Theta) = c_W \Theta \quad (54)$$

$$h_L(t) = c_L t \quad (55)$$

$$h_D(t) = l_0^\circ \text{C} + c_D t = c_W t + l_t \quad (56)$$

s konstantními měrnými tepelnými kapacitami c_S , c_W , c_L , c_D .

Měrné skupenské teplo fázové přeměny voda—vodní pára l_t při teplotě t lze podle vztahu (56) vyjádřit

$$l_t = l_0^\circ \text{C} - (c_W - c_D) t \quad (57)$$

Zavedením vztahů (45), (48) až (57) do vztahů (14), (15), (41) a (42) a úpravou dostaneme [přičemž entalpie vodní páry na pravé straně vztahů (41) a (42) je vyjádřena rovnicí (45)]

$$\varepsilon_S \varrho_S \frac{\partial u}{\partial \tau} + \varepsilon_S \varrho_S (\nabla \cdot u \vec{v}_{m,SW}) = -v_{Qm,D} \quad (58)$$

$$\frac{\partial (1 - \varepsilon_{SW}) x \varrho_L}{\partial \tau} + (\nabla \cdot x \vec{Q}_{m,L}) = v_{Qm,D} \quad (59)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_S \varrho_S (c_S + u c_W) \frac{\partial \Theta}{\partial \tau} + \varepsilon_S \varrho_S (c_S + u c_W) (\vec{v}_{m,SW} \cdot \nabla \Theta) + \\ + \varepsilon_S \varrho_S c_S \Theta (\nabla \cdot \vec{v}_{m,SW}) = -l_\Theta v_{Qm,D} + v'''_{Qm,SW} h_{SW} \end{aligned} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} (1 - \varepsilon_{SW}) \varrho_L (c_L + x c_D) \frac{\partial t}{\partial \tau} + c_L t \frac{\partial (1 - \varepsilon_{SW}) \varrho_L}{\partial \tau} + (c_L + x c_D) (\vec{Q}_{m,L} \cdot \nabla t) + \\ + c_L t (\nabla \cdot \vec{Q}_{m,L}) = -c_D (t - \Theta) v_{Qm,D} - v'''_{Qm,SW} h_{SW} \end{aligned} \quad (61)$$

Po vyjádření místní intenzity hustoty přenosu hmoty a místní intenzity hustoty přestupu tepla podle konstitutivních rovnic dostaneme soustavu čtyř parciálních diferenciálních rovnic, jejímž simultánním řešením při známých počátečních a okrajových podmínkách obdržíme průběh polí u , Θ , x , t v závislosti na čase a místě v prostoru.

DISKUSE

Publikované matematické modely konvekčního sušení silné kompaktní profukované vrstvy (Bakker-Arkema aj., 1967a, b; Ingram, 1976; Sharp, 1982; Bowden aj., 1983) jsou založeny na jednoduchých bilančních úvahách a jsou odvozeny pouze pro případ nehybné vrstvy. Odvozený model platí pro libovolné uspořádání vzájemného pohybu silné kompaktní (tj. bez promíchávání) vrstvy a sušícího média a je odvozen na základě hmotnostních a energetických (tepelných) bilancí vlhkosti materiálu, suchého materiálu, vlhkosti vzduchu a suchého vzduchu. Přenos hmoty a přestup tepla je řešen metodou objemového zprůměrnění veličin (Whitaker, 1980).

Matematický model byl numericky řešen ve zjednodušeném případě sušení nehybné kompaktní vrstvy řezané vojtěšky. Porovnáním naměřených a vypočtených hodnot byl prokázán dostatečný souhlas. Porovnání bude uvedeno později.

Přehled použitého označení veličin

Hlavní značka

- b — objemově měrná bilancovaná veličina
- B — bilancovaná veličina
- c — hmotnostně měrná tepelná kapacita
- h — hmotnostně měrná entalpie
- l_t — hmotnostně měrné skupenské teplo při teplotě t
- $\vec{n}$ — jednotkový vektor
- p — tlak
- q — intenzita plošného tepelného toku
- $\vec{Q}$ — intenzita plošného hmotnostního toku
- $\vec{r}$ — polohový vektor
- S — plocha
- t — průměrná teplota sušícího média
- u — průměrná měrná vlhkost sušeného materiálu
- v — měrný objem
- $\vec{v}$ — rychlost
- V — objem
- x — průměrná měrná vlhkost sušícího média
- ε — podíl objemu fáze nebo fází (označeno indexem) k celkovému objemu
- Θ — průměrná teplota materiálu
- v — intenzita objemové produkce bilancované veličiny
- ϱ — hustota, objemová hmotnost, sypaná hmotnost
- τ — tenzor napětí
- čas

Index nahoře

- ' — „hmotnostní“ člen přenosu entalpie
- ''' — „nehmotnostní“ člen přestupu entalpie (tepla)

Index dole

- D — vodní pára
- L — suchý vzduch
- m — měrný
- materiální (V_m — materiální objem)
- p — pevný
- S — suchý materiál (sušina)
- W — vlhkost v suchém materiálu, voda

Literatura

- BAKKER-ARKEMA, F. W. — BICKERT, W. G. — MOREY, R. V.: Gekoppelter Wärme- und Stoffaustausch während des Trocknungsvorgangs in einem Behälter mit Getreide. Landtechn. Forsch., 17, 1967a, č. 6, s. 175-180.
- BAKKER-ARKEMA, F. W. — BICKERT, W. G. — PATTERSON, R. J.: Simultaneous heat and mass transfer during the cooling of a deep bed of biological products under varying inlet air conditions. J. agric. Engng Res., 12, 1967b, č. 4, s. 297-307.
- BIRD, R. B. — STEWART, W. E. — LIGHTFOOT, E. N.: Přenosové jevy. Praha, Academia 1968. 799 s.
- BOWDEN, P. J. — LAMOND, W. J. — SMITH, E. A.: Simulation of near-ambient grain drying. I. Comparison of simulations with experimental results. J. agric. Engng Res., 28, 1983, s. 279-300.
- INGRAM, G. W.: Deep bed drier simulation with intra-particle moisture diffusion. J. agric. Engng Res., 21, 1976, s. 263-272.
- SAMOHÝL, I.: Racionální termodynamika chemicky reagujících směsí. Praha, Academia 1982. 312 s.
- SHARP, J. R.: A review of low temperature drying simulation models. J. agric. Engng Res., 27, 1982, s. 169-190.
- WHITAKER, S.: Heat and mass transfer in granular porous media. In: Advances in drying. Vol. 1, Washington, Hemisphere Publishing Corporation 1980, s. 23-61.

Došlo dne 1. 10. 1986

ЙИЛЕК. Й. (Сельскохозяйственный институт, Прага-Сухдол): Математическое моделирование конвекционной сушки сильно компактного продуваемого слоя. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7): 395-404.

На основе балансовых и конститутивных уравнений внешнего переноса массы и внешней теплопередачи составлена математическая модель конвекционной сушки сильно компактного (т.е. без перемешивания) продуваемого слоя. При этом применено представление о непрерывном разложении и непрерывном ходе всех применимых величин. Математическая модель, приведенная системой четырех частных дифференциальных уравнений, имеет место при произвольном упорядочении взаимного движения сильно компактного слоя и сушащего носителя. Его решением с известными начальными и конечными условиями получим ход удельной влажности материала и воздуха и температур материала и воздуха в зависимости от времени и места в пространстве.

математическая модель; балансовые уравнения; перенос массы; теплопередача

JÍLEK, J. (University of Agriculture, Praha-Suchdol): *Mathematical Modelling of Convection Drying of a Thick Compact Aerated Layer*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7): 395-404.

A mathematical model of the convection drying of a thick compact (unstirred) aerated layer was compiled on the basis of balance and constitutive equations of the external transfer of mass and external heat transmission. The concept of the continual distribution and continual course of all quantities is involved in the formation of the model. The mathematical model, given by a system of four partial differential equations, holds for any arbitrary variant of the mutual movements of the thick compact layer and the drying medium. Knowing the initial and marginal conditions, the solution of these equations will yield the course of the specific moisture contents of the material and air and the temperatures of the material and air, in relation to time and place in space.

mathematical model; balance equation; mass transfer; heat transmission

JÍLEK, J. (Landwirtschaftliche Hochschule, Praha-Suchdol): *Mathematisches Modellieren der Konvektionstrocknung einer dicken, kompakten, durchgelüfteten Schicht*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 395-404.

Aufgrund von Bilanz- und Konstitutivgleichungen der äußeren Übertragung der Masse und des äußeren Durchdringens der Wärme konnte ein mathematisches Modell der Konvektionstrocknung einer stark kompakten, durchgelüfteten Schicht (ohne jede Durchmischung) aufgestellt werden. Dabei geht man von der Vorstellung einer kontinuierlichen Verteilung und eines kontinuierlichen Verlaufs aller benutzten Größen aus. Das mathematische Modell, gegeben durch ein System von vier partiellen Differentialgleichungen, gilt für eine beliebige Anordnung der gegenseitigen Bewegung einer dicken, kompakten Schicht und des Trocknungsmediums. Seine Lösung bei bekannten Anfangs- und Grenzbedingungen ergibt den Verlauf des spezifischen Feuchtigkeitsgrades des Materials und der Luft sowie der Temperaturen des Materials und der Luft in Abhängigkeit von Zeit und Ort im Raum.

mathematisches Modell; Bilanzgleichung; Übertragung der Masse; Wärmeübertragung

Adresa autora:

Ing. Josef Jílek, Vysoká škola zemědělská, 165 21 Praha-Suchdol

J. Růžička

RŮŽIČKA, J. (Vysoká škola zemědělská, Brno): *Účinnost nízkoteplotního vzduchového kolektoru*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7): 405—413.

Měřili jsme účinnost a pracovní charakteristiku nízkoteplotního slunečního kolektoru. Popsané experimentální zařízení využívá k transformaci sluneční energie obě strany aktivní plochy absorberu, takže je dosahováno stejného přírůstku teploty ohříváného vzduchu při podstatně menších rozměrech solárního systému a při materiálových úsporách. Získané poznatky lze aplikovat na velkoplošné solární systémy.

sušárnství; vzduchový sluneční kolektor; pracovní charakteristika

Využívání sluneční energie v zemědělství není novinkou, pokud předpokládáme pouze podíl sluneční energie na tvorbě biomasy. S rostoucí energetickou náročností druhotného zpracování zemědělských produktů, zejména při jejich tepelném zpracování a skladování, je zapotřebí zvyšovat podíl netradičních a obnovitelných zdrojů energie, mezi které patří i energie slunečního záření.

Na základě analýzy výzkumných prací zabývajících se uvedenou tematikou i na základě zkušeností z realizace solárních zařízení v zemědělských podnicích vyplývá, že nejefektivnější využití solární energie nabízí aplikace vzduchových solárních systémů. Je pravda, že vzduch jako teplosměnné médium solárního kolektoru má četné nevýhody plynoucí z jeho malé tepelné vodivosti a kolísající relativní vlhkosti, ale využití kapalinových solárních systémů, které by pomocí výměníků ohřívaly vzduch, se ukázalo jako ekonomicky i energeticky nevýhodné (Halahya, 1983).

Proto se v zahraničí i u nás budují velkoplošná solární zařízení sloužící k dosoušení sena, tzv. sluneční seníky. Dosoušení sena lze samozřejmě uskutečňovat i nepředehřátým vzduchem, ovšem za cenu neúměrně dlouhé doby dosoušení, kdy lze využít jen malou část dne, po kterou je nízká relativní vlhkost vzduchu. Dosoušení ohřátým vzduchem výrazně zkracuje potřebnou dobu dosoušení, čímž se jednak podstatně zvyšuje kvalita takto zpracované píce, jednak se odstraní nebezpečí jejího znehodnocení, popřípadě samovznícení. Vzhledem k tomu, že teplota vzduchu používaného pro dosoušení zavadlé píce je poměrně nízká, je využití sluneční energie pro jeho ohřev vyhovující. Vzhledem k solární energetice proto řadíme uvedené sluneční seníky mezi tzv. nízkoteplotní solární systémy.

Od maloplošných kolektorů se solární seník liší pouze konstrukčním uspořádáním, tj. skutečností, že vlastní zařízení na transformaci solární energie na tepelnou je buď konstrukční částí střechy seníku, nebo jsou na střeše umístěny příslušné sluneční kolektory. Takto ohřátý vzduch je pak ventilátory vháněn do spodní části seníku pod sušicí rošty. Při vhodné orientaci stavby je možné k ohřevu vzduchu využít i boční stěnu budovy, čímž se zvýší teplota předehříváného vzduchu.

V každém případě však je solární seník pouze určitou modifikací plošných, resp. rovinných slunečních kolektorů a při hodnocení jeho využití je třeba vycházet ze vztahů a doporučení platných pro hodnocení maloplošných slunečních kolektorů. Proto jsme ověřovali použitelnost kritérií hodnocení solárních vzduchových systémů na experimentálním vzduchovém kolektoru zkonstruovaném na katedře teoretických základů techniky VŠZ v Brně.

ÚČINNOST SLUNEČNÍCH KOLEKTORŮ

Pro posouzení kvality solárního systému jsou důležité dvě veličiny: účinnost η , která je mírou využití dopadajícího záření, a parametr A , který charakterizuje pracovní podmínky solárního systému. Účinnost solárního systému vyjadřuje vztah

$$\eta = \frac{W_{uz}}{W} \quad (-)$$

kde: W_{uz} — využitá energie (J)

W — celková energie záření transformovaná kolektorem (J)

Sluneční záření kvantitativně popisuje veličina intenzita ozáření E , jejíž jednotkou je $W \cdot m^{-2}$. Sluneční záření se při dopadu na transparentní kryt kolektoru částečně odráží, částečně absorbuje. Zbývající část záření projde transparentním krytem a dopadá na absorbér. Kvalitu transparentního krytu charakterizuje činitel prostupu τ , kvalita absorbérů je z optického hlediska dána činitelem pohlcení. Absorbérem využitelné záření je pak určeno součinem $E \cdot \tau \cdot \alpha$. Součin $(\tau \cdot \alpha)$ by měl být co nejvyšší, protože výraz $1 - \tau \alpha$ představuje tzv. optické ztráty solárního systému. Velikost součinu $(\tau \cdot \alpha)$ závisí nejen na vlastnostech použitých materiálů, ale také na úhlu dopadu slunečních paprsků θ . Příklad závislosti $(\tau \cdot \alpha) = f(\theta)$ je znázorněn na obr. 1 (Malík, 1982).

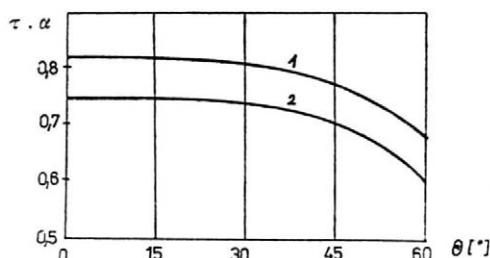
Absorbér se dopadajícím zářením zahřívá, takže jeho teplota je vyšší než teplota okolí. Vzhledem k takto vzniklému teplotnímu spádu mezi kolektorem a okolím dochází k tzv. tepelným ztrátám solárního systému, jejichž velikost snižujeme vhodnou tepelnou izolací. Velikost uvedených ztrát je také úměrná součiniteli tepelných ztrát 1.

Využitelná intenzita ozáření je pak

$$E_{uz} = E \cdot \tau \cdot \alpha - k \cdot (t_k - t_o) \quad (W \cdot m^{-2}) \quad (1)$$

a účinnost slunečního kolektoru

$$\eta = \tau \cdot \alpha - k \frac{t_k - t_o}{E} = \tau \cdot \alpha - k \cdot A \quad (-) \quad (2)$$



1. Závislost optických ztrát kolektoru na úhlu dopadu svazku slunečních paprsků (1 — kolektor s jednoduchým transparentním krytem — tabulové sklo, $d = 3$ mm; 2 — kolektor s dvojitým transparentním krytem — tabulové sklo, $d = 3$ mm; vzájemná vzdálenost skel $a = 4$ cm) — Relation between the optical losses of the collector and the angles of incidence of sunbeams (1 — collector with a single transparent cover — sheet glass, $d = 3$ mm; 2 — collector with a double transparent cover — sheet glass, $d = 3$ mm; distance between glasses $a = 4$ cm)

kde: t_k — střední teplota kolektoru (zpravidla se stanoví jako aritmetický střed vstupní a výstupní teploty pracovního média) ($^{\circ}\text{C}$)
 k — součinitel tepelných ztrát ($\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 t_o — teplota okolí ($^{\circ}\text{C}$)
 E — intenzita ozáření ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
 A — parametr charakterizující pracovní podmínky kolektoru, definovaný výrazem

$$A = \frac{t_k - t_o}{E} \quad (\text{K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1})$$

Ze vztahu (2) vyplývá, že pro $A = 0$ je $t_k = t_o$, čemuž odpovídá práce solárního systému bez tepelných ztrát do okolí. Takovému případu se blíží využívání slunečních kolektorů v letním období, kdy je také účinnost solárních systémů největší. Naopak, je-li teplota okolí nízká, nabývá parametr A vyšších hodnot a účinnost kolektoru je malá. Závislost $\eta = f(A)$ se nazývá charakteristika kolektoru a její průběh je přibližně lineární při nízkých hodnotách parametru A . V případě $(\tau \cdot \alpha) = k \cdot A$ je účinnost kolektoru $\eta = 0$, tj. solární systém veškerou transformovanou solární energii spotřebuje na krytí tepelných ztrát do okolí.

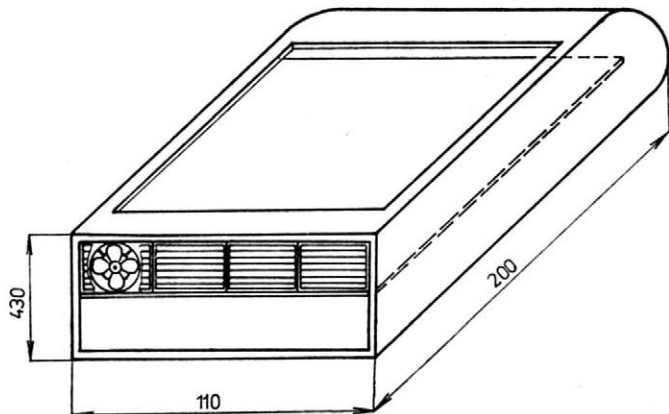
Z uvedeného rozboru vyplývá, že pro posouzení kvality daného solárního systému je rozhodující nejen jeho účinnost, ale také její funkční závislost na parametru A . Při měření je třeba uvážit, že součin $(\tau \cdot \alpha)$ je závislý na úhlu dopadu slunečních paprsků na kolektor. Proto je nutné měřit v době, kdy je slunce nejvýše nad obzorem, a měnit sklon kolektoru tak, aby odchylka normály plochy absorberu nebyla větší než 20° od směru dopadajících slunečních paprsků.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Všechna měření byla provedena na laboratorním modelu slunečního kolektoru zhotoveném na katedře teoretických základů techniky VŠZ v Brně (obr. 2).

Technické údaje

vnější rozměry kolektoru	$0,36 \times 1,00 \times 2,00$	(m)
plocha absorberu	1,58	(m^2)
průřez nasávacího otvoru	0,16	(m^2)
hmotnost kolektoru	28	(kg)
materiál skříně	pozinkovaný plech	
hmotnost absorberu	7,6	(kg)
materiál absorberu	ocelový plech ČSN 11370	
absorpční vrstva	černý neselektivní povrch	
	C 2018/1999	



2. Laboratorní vzduchový kolektor — A laboratory air collector

transparentní kryt
tepelná izolace

tabulové sklo ($d = 4 \text{ mm}$)
IZOMAT ($d = 0,03 \text{ m}$)

Měřené veličiny

intenzita ozáření E		($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
teplota vstupního vzduchu	t_{vst}	($^{\circ}\text{C}$)
teplota vystupujícího vzduchu	$t_{\text{výst}}$	($^{\circ}\text{C}$)
teplota okolí	t_0	($^{\circ}\text{C}$)
rychlost proudícího vzduchu	w	($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
relativní vlhkost okolního vzduchu		(%)

Použité měřicí přístroje

Teploty byly snímány termočlánky CuK₀, které byly oceňovány podle laboratorního rtuťového teploměru. Jejich výstupní napětí bylo zaznamenáno automatickým dvanáctibodovým zapisovačem MKV/12. Srovnávací konce termočlánků byly udržovány na konstantní teplotě 0°C v termosce naplněné směsí destilované vody a ledové drtě.

Intenzita záření byla měřena pyranometrem Schenk 2026, který byl umístěn v rovině absorberu slunečního kolektoru. Výstupní napětí bylo zaznamenáno liniovým zapisovačem LINE RECORDER TZ-4100, jehož posuv byl synchronizován se zapisovačem MKV/12 na hodnotu $0,25 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

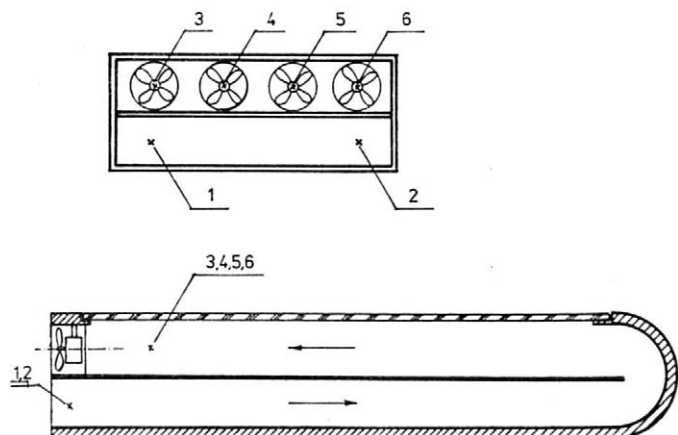
Rychlost vzduchu byla měřena jednak Prandtlovou trubicí (při lokalizaci měřicích míst), jednak vířivým anemometrem při vlastním měření účinnosti slunečního kolektoru.

Vlhkost okolního vzduchu byla měřena laboratorním vlasovým vlhkoměrem.

METODIKA MĚŘENÍ

Měření se uskutečnilo na pracovišti VŠZ v Brně-Pisárkách, ve dnech 11. až 13. 6. 1986, vždy od 10.30 do 13.00 hod SEČ. V uvedených dnech bylo jasno, rychlost větru do $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Měřený kolektor byl umístěn na pevné měřicí stolici tak, aby se normála plochy slunečního kolektoru neodchylovala od směru dopadajícího svazku slunečních paprsků více než o 20° . Účinnost kolektoru byla stanovena pro pět konstantních hodnot hmotnostního toku, které byly nastavovány změnou otáček čtyř ventilátorů umístěných v tělese kolektoru.

Před začátkem vlastního měření účinnosti byla měřením Prandtlovou trubicí nalezena v kolektoru vhodná místa pro měření rychlosti a teploty proudícího vzduchu. Byla vybrána taková místa, ve kterých byly hodnoty rychlosti vzduchu stejné jak na straně vstupu, tak na výstupu slunečního kolektoru (obr. 3). Tím byl eliminován možný vliv proudění vzduchu na velikost měřených teplot. V těchto místech byly umístěny termočlánky pro měření teploty vstupujícího vzduchu t_{vst} (body 1, 2 v obr. 3) a teploty vzduchu vystupujícího $t_{\text{výst}}$ (body 3, 4, 5, 6 v obr. 3). Z naměřených teplot pak byly stanoveny střední hodnoty $\bar{t}_{\text{vst}}$ a $\bar{t}_{\text{výst}}$. Měřicí body vystupujícího ohřátého vzduchu leží v ose ventilátorů ve vzdálenosti 12 cm proti směru proudění. Vzhledem k turbulencím vznikajícím v ohybu slunečního kolektoru a vzhledem k malé výšce vstupního i výstupního kanálu jsou rozdíly teplot vzduchu proudícího ve vertikálním směru vůči velikosti měřených hodnot zanedbatelné. Rychlost proudění vstupujícího vzduchu byla před vlastním měřením stanovována téměř



3. Měřicí body v laboratorním vzduchovém kolektoru (1, 2 — měřicí body teploty nasávaného vzduchu; 3 až 6 — měřicí body teploty ohřátého vzduchu) — Measuring points in the laboratory air collector (1, 2 — point of measurement of intake air temperature; 3 to 6 — points of measurement of heated air)

po celém průřezu nasávacího kanálu slunečního kolektoru a rozdíly mezi naměřenými hodnotami byly tak malé, že pro výpočet hmotnostního toku vzduchu lze za směrodatné pokládat hodnoty rychlosti proudění změřené v místech 1 a 2.

ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Účinnost laboratorního vzduchového kolektoru byla stanovena pro pět konstantních hmotnostních toků vzduchu. Pro každou hodnotu hmotnostního toku byla uskutečněna tři měření, přičemž jedno měření trvalo 15 minut (tab. I). Příslušné hodnoty intenzity ozáření a měřených teplot byly určeny z křivek zaznamenaných zapisovači jako střední hodnoty dílčích měření v rozmezí 15minutového měřicího intervalu (Růžička, 1985) podle vztahu

$$\bar{t} = \left(\frac{t_1 + t_6}{2} + \sum_{i=2}^5 t_i \right) \cdot \frac{\Delta\tau_i}{\tau_o} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3)$$

kde: t_1, t_6 — teplota při prvním a šestém odečtu v příslušném patnáctiminutovém intervalu
 t_i — teploty při druhém až pátém odečtu v příslušném patnáctiminutovém intervalu
 $\Delta\tau_i$ — třiminutový interval jednotlivých odečtů
 τ_o — 15minutový měřený interval

Jednotlivé teploty jsou aritmetickým průměrem hodnot naměřených v jednotlivých měřicích bodech.

Obdobným způsobem vypočteme střední hodnotu intenzity ozáření $\bar{E}$ podle vztahu

$$\bar{E} = \left(\frac{E_1 + E_6}{2} + \sum_{i=2}^5 E_i \right) \cdot \frac{\Delta\tau_i}{\tau_o} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (4)$$

kde: $E_{1,6}$ — intenzita ozáření při prvním a šestém odečtu v patnáctiminutovém intervalu
 E_i — intenzita ozáření při druhém až pátém odečtu v patnáctiminutovém intervalu

Účinnost kolektoru se pak stanoví podle vztahu

$$\eta = \frac{Q_m \cdot c \cdot (t_{\text{výst}} - t_{\text{vst}})}{S \cdot \bar{E}} \cdot 100 \% \quad (\%) \quad (5)$$

kde: Q_m — hmotnostní tok ohřívajícího vzduchu ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)
 c — měrná tepelná kapacita vzduchu ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
 S — plocha absorberu (m^2)
 t_{vst} — teplota vstupujícího vzduchu ($^\circ\text{C}$)
 $t_{\text{výst}}$ — teplota vystupujícího vzduchu ($^\circ\text{C}$)
 E — intenzita záření ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)

Parametr A se stanoví podle vztahu

$$A = \frac{t_k - t_o}{E} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}) \quad (6)$$

$$t_k = 0,5 \cdot (t_{\text{vst}} + t_{\text{výst}}) \quad (^\circ\text{C})$$

Výsledky měření jsou uvedeny v tab. I a II, grafické znázornění $\eta = f(Q_m)$ a charakteristika kolektoru $\eta = f(A)$ jsou znázorněny na obr. 4 a 5.

VÝSLEDKY A ZÁVĚR

Všechna uvedená měření se konala v podmínkách odpovídajících poloze měřicího pracoviště. Přesto byly v přijatelných mezích dodrženy podmínky vyplývající z metodiky

I. Účinnost laboratorního vzduchového kolektoru pro pět konstantních hmotnostních toků vzduchu — The efficiency of the laboratory air collector for five constant mass flows of air

n	$\frac{E}{\text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$	$\frac{t_{\text{vst}}}{^{\circ}\text{C}}$	$\frac{t_{\text{výst}}}{^{\circ}\text{C}}$	$\frac{\eta}{\%}$
$Q_m = 0,2525 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, \rho_{\text{vzduch}} = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \varphi = 63 \%, \bar{t}_o = 28,1 ^{\circ}\text{C}$				
1	742,4	28,1	30,0	41,4
2	740,2	27,4	30,4	42,6
3	670,1	27,8	30,0	49,3
$w = 1,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, A = 2,93 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$				
$Q_m = 0,2999 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, \rho_{\text{vzduch}} = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \varphi = 63 \%, \bar{t}_o = 29,0 ^{\circ}\text{C}$				
1	681,8	28,7	30,7	50,7
2	666,1	29,0	30,6	42,8
3	694,4	28,6	30,8	56,4
$w = 1,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, A = 2,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$				
$Q_m = 0,3472 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, \rho_{\text{vzduch}} = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \varphi = 62 \%, \bar{t}_o = 27,3 ^{\circ}\text{C}$				
1	657,3	27,6	29,0	44,0
2	759,9	27,0	29,1	57,0
3	757,6	27,5	29,4	51,5
$w = 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, A = 2,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$				
$Q_m = 0,3950 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, \rho_{\text{vzduch}} = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \varphi = 62 \%, \bar{t}_o = 28,1 ^{\circ}\text{C}$				
1	763,9	27,9	29,4	47,1
2	786,0	28,1	30,0	56,7
3	783,6	28,9	30,9	58,9
$w = 1,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, A = 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$				
$Q_m = 0,4420 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}, \rho_{\text{vzduch}} = 1,15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \varphi = 63 \%, \bar{t}_o = 28,0 ^{\circ}\text{C}$				
1	797,0	29,0	30,5	62,6
2	782,8	28,0	29,5	50,3
3	779,0	27,8	29,4	53,7
$w = 1,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, A = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$				

II. Přehled naměřených hodnot účinnosti vzduchového kolektoru — A survey of the measured values of the efficiency of air collector

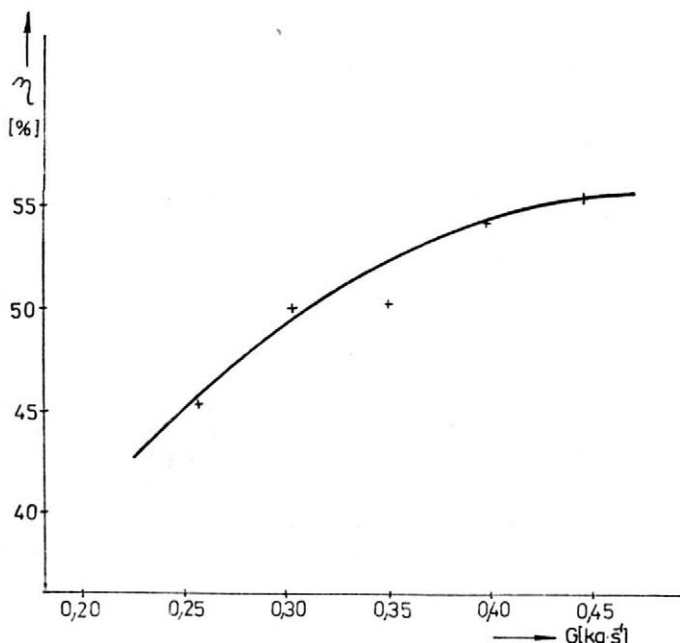
	Q_m	$\bar{E}$	Δt	$\bar{\eta}$
1	0,2525 kg.s ⁻¹	717,5 W.m ⁻²	2,1 K	44,4 %
2	0,2999 kg.s ⁻¹	687,6 W.m ⁻²	1,9 K	50,0 %
3	0,3472 kg.s ⁻¹	724,9 W.m ⁻²	1,8 K	50,8 %
4	0,3950 kg.s ⁻¹	777,8 W.m ⁻²	1,8 K	54,2 %
5	0,4420 kg.s ⁻¹	786,3 W.m ⁻²	1,7 K	55,5 %

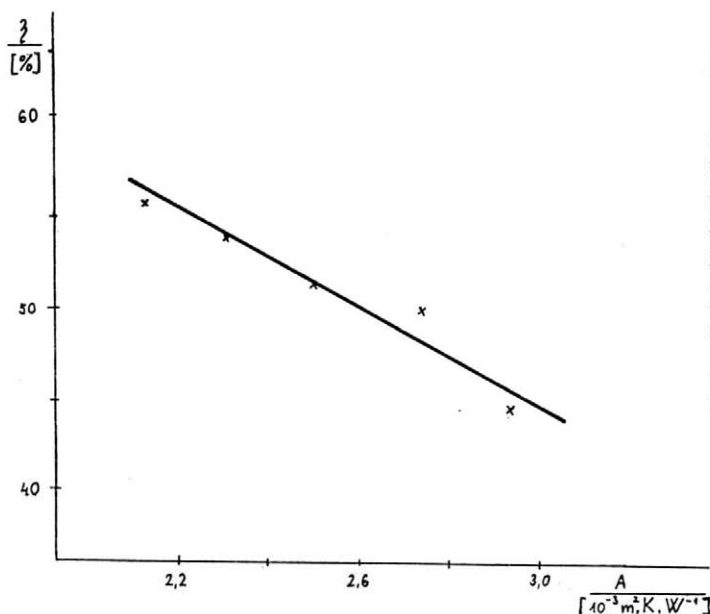
pro hodnocení rovinných slunečních kolektorů v zemích RVHP (Haš, 1979). Maximální rozdíl intenzity ozáření ΔE činil 17,5 %, rozdíl vstupních teplot nasávaného vzduchu Δt_{vst} činil 6,9 %, rozdíl relativní vlhkosti okolního vzduchu po dobu měření činil $\Delta \varphi = 1$ %. Rychlost větru po dobu měření nepřesáhla hodnotu $v = 1,5$ m.s⁻¹.

Závislost střední účinnosti vzduchového kolektoru na hmotnostním toku ohřívajícího vzduchu $\bar{\eta} = f(Q_m)$ je znázorněna na obr. 4. Průběh uvedené funkční závislosti plně odpovídá teoretickým předpokladům, tj. se zvyšujícím se hmotnostním tokem ohřívajícího vzduchu vzrůstá účinnost kolektoru, ovšem za cenu snížení teplotního rozdílu mezi nasávaným a ohřátým vzduchem. Při snížení hmotnostního toku vzduchu se zvýší pracovní teplota kolektoru, čímž se však při téměř stejné venkovní teplotě nepříznivě změní pracovní charakteristika solárního systému (obr. 5). V každém případě lze regulací hmotnostního toku proudícího vzduchu ovlivnit jeho výstupní teplotu podle potřeb vyplývajících z velikosti vlhkosti tepelně zpracovávaného materiálu a relativní vlhkosti nasávaného vzduchu.

Z rozboru výsledků měření účinnosti laboratorního kolektoru vyplývá, že jeho energetická bilance je aktivní. Analyzujeme-li měření č. 3 (tab. II), zjistíme, že při střední intenzitě ozáření $\bar{E} = 720$ W.m⁻² a střední účinnosti kolektoru $\bar{\eta} = 50,8$ %

4. Závislost střední účinnosti vzduchového kolektoru na hmotnostním toku vzduchu $\eta = f(Q_m)$ — Relation of the mean efficiency of air collector to the mass flow of air $\eta = f(Q_m)$





5. Charakteristika laboratorního vzduchového kolektoru $\eta = f(A)$ — (jednotlivé body závislosti odpovídají hmotnostním tokům příslušejícím hodnotám parametru A , uvedeným v tab. I.) — Characteristics of the laboratory air collector $\eta = f(A)$ — (the points of the relationship correspond to the mass flows for the respective values of parameter A as given in Tab. I)

je při uvedeném hmotnostním toku a měrné tepelné kapacitě vzduchu $c = 1010 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ tepelný výkon kolektoru cca 570 W. Vezmeme-li v úvahu výkon ventilátorů $P = 305 \text{ W}$ odpovídající uvedenému měření, odpovídá 1 W vložené elektrické energie 1,87 W energie tepelné. Přitom získaný teplotní rozdíl mezi vstupujícím a vystupujícím vzduchem $\Delta t = 1,8 \text{ K}$ je samozřejmě pro využití v zemědělské praxi malý. Jedná se však o modelové zařízení malých rozměrů, ve kterém se k ohřevu vzduchu využívá obou stran absorbéru. Takové uspořádání, spolu s příznivou pracovní charakteristikou nízko-teplotního solárního systému, naznačuje možnosti nejen materiálových úspor plynoucích ze zmenšení rozměrů absorbéru, ale i snížení prostorové náročnosti při budování velkoplošných vzduchových kolektorů.

Literatura

- HALAHYJA, M.: Solárna energia a jej využitie. Bratislava, Alfa 1983.
 HAŠ, S.: Metodika měření plochých slunečních kolektorů. Směrnice pro země RVHP. Praha 1979.
 MALÍK, K.: Plastické hmoty v solární energii, firemní literatura VÚGPT Gottwaldov, 1982.
 RŮŽIČKA, J.: Optimalizace funkčních parametrů solárních kolektorů při tepelném zpracování zemědělských produktů. [Závěrečná zpráva.] Brno, Vysoká škola zemědělská 1985.

Došlo dne 10. 11. 1986

РУЖИЧКА, Й. (Сельскохозяйственный институт, Брно): Действие низкотемпературного воздушного коллектора. Земед. Techn., 33, 1987 (7): 405-413.

Мы измеряли действие и рабочую характеристику низкотемпературного солнечного коллектора. Описанное экспериментальное устройство применяет для трансформации солнечной энергии обе стороны активной поверхности абсорбера, также достигается одинаковое прибавление температуры обогреваемого воздуха при довольно меньших размерах солярной системы и при экономии материалом. Полученные опыты можно применять на крупноповерхностных солярных системах.

сушильное дело воздушный солнечный коллектор; рабочая характеристика

RŮŽIČKA, J. (University of Agriculture, Brno): *The Efficiency of a Low-Temperature Air Solar Collector*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) :405-413.

The efficiency and working characteristics of a low-temperature solar collector were measured. The described experimental equipment uses both sides of the active area of the absorber for the transformation of solar energy, so that the same increase in the temperature of heated air is obtained with a much smaller size of the solar system and with material savings. The findings can be applied to large-area solar systems.

driers; air solar collector; working characteristics

RŮŽIČKA, J. (Landwirtschaftliche Hochschule, Brno): *Wirksamkeit eines Niedertemperaturluftkollektors*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) :405-413.

Gemessen wurde die Wirksamkeit und die Arbeitscharakteristik eines Niedertemperatursonnenkollektors. Die beschriebene experimentelle Einrichtung nutzt für die Sonnenenergietransformation beide Seiten der aktiven Fläche des Absorbers aus, so daß die gleiche Temperaturzunahme der erwärmten Luft bei wesentlich geringeren Abmessungen des Solarsystems und mit einer Materialersparnis erzielt werden kann. Die gewonnenen Erkenntnisse können auf großflächige Solarsysteme appliziert werden.

Trocknungswesen; Luftsonnenkollektor; Arbeitscharakteristik

Adresa autora:

RNDr. Jiří R ů ž i č k a, Vysoká škola zemědělská, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vybrané nejnovější tituly z oboru zemědělská technika ve fondu ÚZLK

Naučno-techničeskij bjulleten. Vsesojuznyj ordena trudovogo krasnogo znamenja naučno-issledovatel'skij institut mehanizacii sel'skogo chozjajstva. Vyp. 63, 64.
Moskva 1986. C 21.084/63,64

Problemy effektivnosti ispolzovanija tehniki v sel'skom chozjajstve.
Moskva 1986. D 63.114/116

Rozvoj elektronizace a automatizace v zemědělskopřůmyslovém komplexu ČSSR. Sborník ČSAZ č. 104.
Praha 1986. E 42.803/104

Seventh symposium on biotechnology for fuels and chemicals. Biotechnology and bioengineering symposium Nr. 15.
New York 1986. D 79.165

Witterung und Maschineinsatz-Verfahren der Pflanzenproduktion im Spektrum der Witterungsbedingungen. Tagungsbericht 246.
Berlin 1986. D 30.331/246

Zpráva o činnosti Výzkumného ústavu zemědělské techniky.
Praha-Řepy 1987. E 30.630/1987

GRABOWSKI, S.: Analiza ekonomiczna w rolniewie.
Warszawa 1986. E 45.570

SDÍLENÍ TEPLA VE SLUNEČNÍCH KOLEKTORECH PRO OHŘEV ATMOSFÉRICKÉHO VZDUCHU

S. Haš, M. Macháček, F. Štefánik

HAŠ, S. — MACHÁČKOVÁ, M. — ŠTEFÁNIK, F. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha-Řepy; Výzkumný ústav poľnohospodárskej techniky, Rovinka): *Sdílení tepla ve slunečních kolektorech pro ohřev atmosférického vzduchu*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7): 415—424.

Pro podrobnou analýzu a navrhování vzduchových slunečních kolektorů pro ohřev atmosférického vzduchu k dosouzení zemědělských plodin byl upřesněn, doplněn a programově zpracován matematický model sdílení tepla ve slunečních kolektorech čtyř základních druhů: otevřeného (s nekrytým absorberem), uzavřeného se vzduchovým kanálem mezi absorberem a transparentním krytem, uzavřeného třívrstvého s tokem vzduchu pod absorberem a uzavřeného s tokem vzduchu pod absorberem a nad ním. Model byl doplněn výpočtem ohřátí vzduchu, získaného výkonu a účinnosti více kolektorů různých typů a velikostí zapojených za sebou a ozařovaných různou intenzitou slunečního záření.

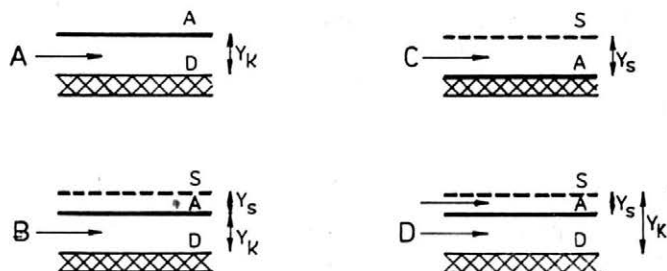
vzduchový sluneční kolektor; účinnost kolektoru; tepelné ztráty; otevřený kolektor; uzavřený kolektor; výkon slunečních kolektorů

V našem zemědělství se v poměrně velké míře rozšiřuje výstavba halových seníků se slunečními kolektory. Provozní měření několika vývojových variant těchto seníků a jeho výsledky umožnily korigovat a upřesnit výpočetní metody pro návrh kolektorů a matematicky ověřit vliv uspořádání a optických vlastností jednotlivých prvků kolektorů na jejich energetickou účinnost. Tím je dán základ pro hodnocení různých typů kolektorů a jejich navrhování.

METODA

Při výzkumném a vývojovém řešení i při praktickém provozním ověřování (Štefánik a Chudý, 1984) byly získány zkušenosti, které pomáhají zpřesnit a zdokonalit původně sestavené

1. Základní typy slunečních kolektorů pro ohřev vzduchu: A — otevřený; B — uzavřený, trojvrstvý (trojplášťový) se vzduchovým kanálem pod absorberem; C — uzavřený dvojvrstvý (dvouplášťový); D — uzavřený trojvrstvý s tokem vzduchu pod absorberem i nad ním; označení vrstev: A — absorber, S — transparentní kryt, D — dno vzduchového kanálu s tepelnou izolací nebo bez izolace)



Basic types of solar collectors for air heating: A — open, B — closed three-layer with an air duct under the absorber; C — closed two-layer; D — closed three-layer with air flow under and over the absorber; layers denoted as: A — absorber, S — transparent cover, D — bottom of air duct with or without thermal insulation)

nebo z literatury převzaté matematické modely slunečních kolektorů pro ohřev vzduchu (Haš, 1982). Bylo ověřeno, že pro zdokonalení souladu vypočtených a naměřených parametrů kolektorů je nutné přesněji stanovit teploty absorberů a transparentních krytů, teploty dna vzduchového kanálu na ploše k absorberu i na ploše vně kolektoru. Bylo zjištěno, že pro součinitele přestupu tepla z absorberu nebo transparentního krytu do okolí nelze pro nízkoteplotní kolektory používat doporučené vztahy (Duffie a Beckman, 1974), které platí jen pro vyšší teploty ohřívání ploch.

Po upřesnění matematického modelu podle výsledků experimentálních prací byl programově zpracován algoritmus výpočtů pro počítač WANG MVP. Výpočetní postup byl doplněn stanovením ohřátí vzduchu a účinnosti při spojení více kolektorů různých typů, velikosti a orientace.

MODEL SDÍLENÍ TEPLA A VÝPOČTU ENERGETICKÝCH PARAMETRŮ KOLEKTORŮ

Model je sestaven pro čtyři typy kolektorů (obr. 1):

- typ A — otevřený dvouvrstvý kolektor,
- typ C — uzavřený dvouvrstvý kolektor,
- typ B — uzavřený třívrstvý kolektor s jedním vzduchovým proudem,
- typ D — uzavřený třívrstvý kolektor s rozděleným vzduchovým proudem.

Pro výpočet tepelných ztrát kolektoru musíme znát součinitele přestupu tepla z aktivních částí kolektoru. K tomu potřebujeme teploty absorberu, popř. transparentního krytu. Běžně se doporučuje zjišťovat je iterační metodou. Při své práci jsme dospěli k poznání, že pro běžnou praxi plně postačuje jejich odhad podle dále uvedeného postupu.

Na základě tepelné bilance v kolektoru je

$$t_A = \frac{\tau \alpha E}{U'} + t_{OK} \quad (1)$$

$$t_S = \frac{t_A (\alpha_{KAS} + \alpha_{RAS}) - U_t (t_A - t_{OK}) + \alpha_K p_S t_f}{\alpha_{KAS} + \alpha_{RAS} + \alpha_K p_S} \quad (2)$$

Průměrnou teplotu vzduchu v kolektoru je možné počítat podle experimentálně stanoveného vztahu:

$$t_f = t_{OK} + 8 \cdot 10^{-4} \frac{ES}{Q_v} \quad (3)$$

Uvedené vzorce lze použít pro všechny typy kolektorů s tím, že pro typ B je α_K na ploše absorberu směrem k transparentnímu krytu nulové, pro typy C a D je $\alpha_{KAS} = 0$.

Celkem odvedený (užitečný i ztrátový) tepelný výkon U' z jednotkové plochy absorberu, vztažený na jednotkový teplotní rozdíl, je (pro účel odhadu píšeme čárkované znaky)

$$U' = U'_t + U'_b + \alpha'_{KA} + \alpha'_{RAD} \quad (4)$$

Pro odhad součinitelů přestupu tepla a tepelných ztrát předpokládáme teplotu okolí kolektoru 20 °C a teplotu dna kolektoru na vnější straně rovněž 20 °C. Pro součinitele přestupu tepla z absorberu a z transparentního krytu do okolí nepoužíváme vzorce doporučované v literatuře o solární technice (např. Duffie a Beckman, 1974) a uvedené i v našich dřívějších pracích (Haš, 1982), ale po zkušenostech volíme vztahy lépe vyhovující poměrům přestupu tepla z velkých ploch při nižších teplotách. Na základě zkušeností jsme stanovili i vztah pro odhad součinitele přestupu tepla z absorberu k transparentnímu krytu, který je závislý na intenzitě slunečního záření. Příslušné vzorce pro odhad součinitelů tepla a tepelných ztrát, potřebné pro stanovení teploty absorberů a transparentního krytu, jsou:

$$\alpha'_{KA} = \alpha_K p_A p_D \quad (5)$$

(pro kolektor typu C je vždy $p_D = 1$)

$$\text{kde: } \alpha_K = 3,657 \frac{w^{0,8}}{(2y_K)^{0,2}} \quad (\text{pro kolektor typu C je } y_K = y_S) \quad (5a)$$

w — rychlost proudění vzduchu — je závislá na typu kolektoru:
pro typ A, B a D

$$w = \frac{Q_v}{b_K y_K} \quad (5b)$$

pro typ C

$$w = \frac{Q_v}{b_K y_S} \quad (5c)$$

$$\alpha'_{RAD} + 6 \frac{\varepsilon_{AK} \cdot \varepsilon_{DK}}{\varepsilon_{AK} + \varepsilon_{DK} - \varepsilon_{AK} \cdot \varepsilon_{DK}} \quad (6)$$

$$U'_b = \left(\frac{1}{6 \varepsilon_{DO}} + \frac{d_b}{\lambda_b} \right)^{-1} \quad (7)$$

$$\alpha'_{KAO} = p_A \left[2 \left(\frac{\alpha E}{6(1 + \varepsilon_A) + 3,8 w_e + U'_b + \alpha_{KA}} \right)^{0,33} + 4,42 \frac{w_e^{0,8}}{L^{0,2}} \right] \quad (8)$$

$$\alpha'_{RAD} = 6 \varepsilon_A \quad (9)$$

$$\alpha'_{RAS} = \frac{6 \varepsilon_A \varepsilon_S}{\varepsilon_A + \varepsilon_S - \varepsilon_A \varepsilon_S} \quad (10)$$

$$\alpha'_{KAS} = 0,54 \frac{E^{0,281}}{y_S^{0,157}} \quad (11)$$

$$\alpha'_{RSO} = 6 \varepsilon_S \quad (12)$$

$$\alpha'_{KSO} = \left(3,4 + 4,42 \frac{w_e^{0,8}}{L^{0,2}} \right) p_S \quad (13)$$

Součinitele tepelných ztrát přední stranou U'_t jsou závislé na typu kolektoru:

$$\text{pro typ A} \quad U'_t = \alpha'_{KAO} + \alpha'_{RAO} \quad (14a)$$

$$\text{pro typ B} \quad U'_t = \left(\frac{1}{\alpha'_{KAS} + \alpha'_{RAS}} + \frac{1}{\alpha'_{KSO} + \alpha'_{RSO}} \right)^{-1} \quad (14b)$$

$$\text{pro typ C a D} \quad U'_t = \alpha'_{KSO} + \alpha'_{RSO} \quad (14c)$$

Uvedeným způsobem odhadnuté teploty absorberu t_A a transparentního krytu t_S se pak používají pro výpočet skutečných hodnot součinitelů přestupu tepla a tepelných ztrát pro jednotlivé typy kolektorů.

Součinitele přestupu tepla:

pro typ B

$$\alpha_{KAS} = 1,613 \frac{(t_A - t_S)^{0,281}}{y_S^{0,157}} \left[1 - 0,0018 \left(\frac{t_A + t_S}{2} - 10 \right) \right] \quad (15)$$

pro typ *A*

$$\alpha_{KAO} = \left[2 (t_A - t_{OK})^{0,33} + 4,42 \frac{w_e^{0,8}}{L^{0,2}} \right] p_A \quad (16)$$

pro typy *B, C a D*

$$\alpha_{KSO} = \left[2 (t_S - t_{OK})^{0,33} + 4,42 \frac{w_e^{0,8}}{L^{0,2}} \right] p_S \quad (17)$$

$$\alpha_{RSO} = \varepsilon_S \frac{C_O}{10^8} (T_S^2 + T_{OK}^2) (T_S + T_{OK}) \quad (18)$$

pro typ *A*

$$\alpha_{RAO} = \varepsilon_A \frac{C_O}{10^8} (T_A^2 + T_{OK}^2) (T_A + T_{OK}) \quad (19)$$

pro typy *B, C a D*

$$\alpha_{RAS} = \frac{\varepsilon_A \varepsilon_S}{\varepsilon_A + \varepsilon_S - \varepsilon_A \varepsilon_S} \frac{C_O}{10^8} (T_A^2 + T_S^2) (T_A + T_S) \quad (20)$$

Součinitel tepelných ztrát přední stranou kolektoru:

pro typ *A*

$$U_t = \alpha_{KAO} + \alpha_{RAO} \quad (21)$$

pro typ *B*

$$U_t = \left(\frac{1}{\alpha_{KAS} + \alpha_{RAS}} + \frac{1}{\alpha_{KSO} + \alpha_{RSO}} \right)^{-1} \quad (22)$$

pro typy *C a D*

$$U_t = \alpha_{KSO} + \alpha_{RSO} + U_d \quad (23)$$

Ve vzorcích (22) a (23) je zahrnuta také ztráta prostupem dlouhovlnného záření transparentním krytem, charakterizovaná součinitelem tepelných ztrát U_d , který se počítá s použitím vztahu

$$U_d = 4 \tau_t \varepsilon_A \frac{C_O}{10^8} \frac{(T_A + T_S)^3}{8} \quad (24)$$

Pro stanovení tepelných ztrát zadní stranou kolektoru je třeba znát součinitele přestupu tepla konvekcí a sáláním ze zadní strany do okolí. Pro střešní kolektory, pod nimiž vystupuje sušící vzduch ze sušené vrstvy materiálu, lze předpokládat, že teplota okolí dna t_{OKD} je o 1 K nižší než teplota venkovního vzduchu. Dále lze přijmout předpoklad, že teplota dna kanálu na vnější straně kolektoru t_{DO} je závislá na opatření dna tepelnou izolací. U kolektorů s izolací dna je $t_{DO} = t_{OKD}$. Kolektory bez tepelné izolace (s kovovým dnem) mají teplotu dna na vnějším povrchu stejnou, jako je teplota dna na vnitřním povrchu — $t_{DO} = t_{DK}$.

Teplotu povrchu dna kolektoru na straně proudícího ohřívajícího vzduchu jsme navrhli určovat na základě tepelné bilance jako průměrnou hodnotu podle vzorce

$$t_{DK} = \frac{t_A \alpha_{RAD} - U_b (t_A - t_{OKD}) + \alpha_{KD} t_f}{\alpha_{RAD} + \alpha_{KD}} \quad (25)$$

Při výpočtu musíme tuto hodnotu opět odhadnout tím, že použijeme přibližné vztahy: pro součinitel přestupu tepla sáláním z absorberu ke dnu kanálu hodnotu α'_{RAD} podle vztahu (6), pro součinitel tepelných ztrát zadní stěnou kolektoru hodnotu U'_b podle vztahu (7). Součinitel přestupu tepla do proudícího vzduchu ze dna kanálu α_{KD} je s využitím vztahu (5a):

$$\alpha_{KD} = \alpha_K \cdot p_D \quad (26)$$

Střední teplota vzduchu v kolektoru t_f se vypočítá opět podle vztahu (3).

Po výpočtu odhadnuté teploty dna t_{DK} lze počítat další skutečné hodnoty součinitelů. Výpočet součinitelů přestupu tepla prouděním a sáláním ze dna kolektoru do okolí jsme opět upřesnili (podle vztahů, které pro přestup tepla udávají Čihelka aj., 1985), takže je:

$$\alpha_{KDO} = \text{sgn}(t_{DO} - t_{OKD}) \cdot 0,93 |t_{DO} - t_{OKD}|^{0,33} \quad (27)$$

$$\alpha_{RDO} = \varepsilon_{DO} \frac{C_o}{10^8} (T_{DO}^2 + T_{OKD}^2) (T_{DO} + T_{OKD}) \quad (28)$$

$$U_b = \left(\frac{1}{\alpha_{KDO} + \alpha_{RDO}} + \frac{d_b}{\lambda_b} \right)^{-1} \quad (29)$$

$$\alpha_{RAD} = \frac{\varepsilon_{AK} \varepsilon_{DK}}{\varepsilon_{AK} + \varepsilon_{DK} - \varepsilon_{AK} \varepsilon_{DK}} \frac{C_o}{10^8} (T_A^2 + T_{DK}^2) (T_A + T_{DK}) \quad (30)$$

Výkon slunečních kolektorů je ovlivňován mírou přenosu tepla proudícím vzduchu a mírou tepelných ztrát do okolí. Dokonalost přenosu tepla proudícím vzduchu charakterizuje činitel sdílení tepla v kolektoru F' . Míru tepelných ztrát charakterizuje součinitel celkových ztrát U_L . Obě hodnoty lze pro všechny typy kolektorů stanovit na základě tepelné bilance z přenosových rovnic. V základě tyto vztahy stanovil Parker (1981). Po určitém zjednodušení je lze reprodukovat v této formě:

pro kolektory typů A a B

$$U_L = \frac{H(U_t + U_b) + (\alpha_{KA} + \alpha_{KD}) U_t \cdot U_b}{M} \quad (31)$$

$$F' = \frac{M}{H + U_b(\alpha_{KA} + \alpha_{RAD} + U_t) + U_t(\alpha_{RAD} + \alpha_{KD})} \quad (32)$$

$$H = \alpha_{KA} \cdot \alpha_{KD} + (\alpha_{KA} + \alpha_{KD}) \alpha_{RAD} \quad (33a)$$

$$M = H + \alpha_{KA} U_b \quad (33b)$$

pro kolektor typu C

$$U_L = \frac{\alpha_{KS} [\alpha_{KA} (U_t + U_b) + U_t U_b] + \alpha_{KA} U_b U_t + \alpha_{RAS} (\alpha_{KS} + \alpha_{KA}) (U_t + U_b)}{R} \quad (34)$$

$$F' = \frac{R}{\alpha_{KS} (\alpha_{KA} + U_b) + \alpha_{KA} U_t + \alpha_{RAS} (\alpha_{KA} + \alpha_{KS} + U_t + U_b) + U_t U_b} \quad (35)$$

$$\alpha_{KS} = \alpha_K \cdot p_s \quad (36a)$$

$$R = \alpha_{KS} \cdot \alpha_{KA} + \alpha_{KA} U_t + \alpha_{RAS} (\alpha_{KS} + \alpha_{KA}) \quad (36b)$$

pro kolektor typu D při stejné teplotě proudícího vzduchu nad absorbérem i pod ním

$$U_L = \frac{G}{L} \quad (37)$$

$$F' = \frac{L}{Y} \quad (38)$$

$$G = 4\alpha_{KS} \alpha_{KA} U_t U_b + 2\alpha_{RAS} [(\alpha_{KS} + \alpha_{KA}) (\alpha_{RAD} U_t + U_t U_b + \alpha_{RAD} U_b) + \alpha_{KS} \alpha_{KA} U_t] + 2\alpha_{RAD} U_b (\alpha_{KS} + \alpha_{KA} + \alpha_{KS} U_t + \alpha_{KA} U_t) + \alpha_{KS} U_t [\alpha_{KS} (2\alpha_{KA} + \alpha_{RAS}) + \alpha_{RAD} (\alpha_{KS} + 2\alpha_{KA})] + \alpha_{KS} U_b [\alpha_{KS} (\alpha_{RAD} + 2\alpha_{KA}) + \alpha_{RAS} (\alpha_{KS} + 2\alpha_{KA})] \quad (39a)$$

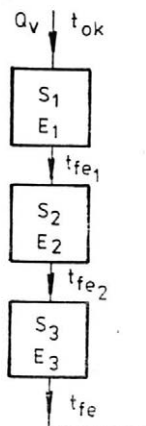
$$L = 2\alpha_{KS}\alpha_{KA}(\alpha_{KS} + U_b + U_t) + 2\alpha_{KA}U_tU_b + \alpha_{RAS}[(\alpha_{KS} + 2\alpha_{KA})(\alpha_{KS} + \alpha_{RAD} + U_b) + \alpha_{KS}\alpha_{RAD}] + \alpha_{RAD}(\alpha_{KS} + 2\alpha_{KA})(\alpha_{KS} + U_t) \quad (39b)$$

$$Y = 2\alpha_{KS}\alpha_{KA}(\alpha_{KS} + U_t + U_b) + 2\alpha_{KA}U_tU_b + \alpha_{RAS}[(\alpha_{KS} + \alpha_{RAD})(\alpha_{KS} + 2\alpha_{KA} + U_t + U_b) + U_b(2\alpha_{KA} + U_t) + \alpha_{KS}\alpha_{RAD}] + \alpha_{RAD}[\alpha_{KS}(\alpha_{KS} + 2\alpha_{KA} + U_b + U_t) + 2\alpha_{KA}U_t + U_tU_b] \quad (39c)$$

Vypočtené hodnoty U_L a F' dosadíme do známých vztahů pro výpočet kolektorů (Haš, 1982) a dostaneme hodnotu teploty vzduchu vycházejícího z kolektoru:

$$t_{fe} = \frac{\alpha\tau}{U_L} E \left[1 - \exp \left(- \frac{F' U_L S}{\rho Q_v c} \right) \right] + t_{OK} \quad (40)$$

Sluneční kolektory pro ohřev vzduchu k dosoušení zemědělských produktů se umísťují nejen na střechu, ale i na svislé boční stěny halových skladů nebo sušáren. Ohřívání vzduchu pak postupně prochází jednotlivými kolektory. Do prvního kolektoru vstupuje atmosférický vzduch z okolí sušárny o teplotě t_{OK} . Do dalších kolektorů vstupuje již přehřátý vzduch o teplotě t_{fe1} , popř. t_{fe2} (obr. 2). Ze skupiny kolektorů pak vystupuje vzduch ohřátý na konečnou teplotu t_{fe} .



2. Schéma zapojení kolektorů za sebou (Q — tok vzduchu, S — plocha kolektorů, E — intenzita záření, t_{ob} — teplota okolí, t_{fe} — výstupní teploty vzduchu z jednotlivých kolektorů) — Diagram of collector connection in series (Q — air flow, S — collector surface area, E — radiation intensity, t_{ob} — ambient temperature, t_{fe} — temperatures of the air leaving the collectors)

Protože rovnice (40) je stanovena pouze pro případ ohřevu okolního vzduchu, nelze ji použít pro stanovení teploty vzduchu vystupujícího z kolektorů, které nasávají vzduch o teplotě vyšší než t_{OK} . Pro takové případy je nutné použít k řešení případu podle obr. 2 vztahů:

$$t_{fe} = \frac{F_{R3}}{\rho Q_v c} [(\tau\alpha)_3 E_3 - U_{L3}(t_{fe} - t_{OK})] + t_{fe2} \quad (41)$$

$$F_{R3} = \frac{\rho Q_v c}{U_{L3}} \left[1 - \exp \left(- \frac{F'_3 U_{L3} S_3}{Q_v \rho c} \right) \right] \quad (41a)$$

$$t_{fe2} = \frac{F_{R2}}{\rho Q_v c} [(\tau\alpha)_2 E_2 - U_{L2}(t_{fe1} - t_{OK})] + t_{fe1} \quad (42)$$

$$F_{R2} = \frac{\rho Q_v c}{U_{L2}} \left[1 - \exp \left(- \frac{F'_2 U_{L2} S_2}{Q_v \rho c} \right) \right] \quad (42a)$$

$$t_{fe1} = \frac{F_{R1}}{\rho Q_v c} [(\tau\alpha)_1 E_1] + t_{OK} \quad (43)$$

$$F_{R1} = \frac{\rho Q_v c}{U_{L1}} \left[1 - \exp \left(- \frac{F'_1 U_{L1} S_1}{Q_v \rho c} \right) \right] \quad (43a)$$

Řešením rovnic (41) až (43) a zavedením substitucí ve tvaru

$$K_n = \frac{(\tau \alpha) n}{U_{Ln}} (1 - \kappa_n) \quad (44)$$

$$\kappa_n = \exp \left(- \frac{F'_n U_{Ln} S_n}{Q_v \rho c} \right) \quad (44a)$$

dostáváme řešení konečné výstupní teploty ze tří kolektorů spojených za sebou:

$$t_{fe} = K_3 E_3 + K_2 E_2 \kappa_3 + K_1 E_1 \kappa_2 \kappa_3 + t_{OK} \quad (45)$$

Zobecněním řešení pro n kolektorů za sebou dostane rovnice (45) tvar

$$t_{fe} = K_n E_n + \sum_{i=1}^{n-1} K_i E_i \prod_{k=i+1}^n \kappa_k + t_{OK} \quad (46)$$

Výkon a účinnost n kolektorů jsou pak

$$P = \rho Q_v c (t_{fe} - t_{OK}) \quad (47)$$

$$\eta = \frac{P}{\sum_1^n S_n E_n} \quad (48)$$

DISKUSE

Problematika využití slunečního záření je řešena v mnoha zemích. Poslední období se soustřeďuje zejména na studium i na praktické aplikace slunečních vzduchových kolektorů pro dosoušení zemědělských plodin. Většinou jde o praktické experimenty, bez hlubších teoretických rozborů zjištěných výsledků a bez jejich zobecňování. Základní popis přenosu energie ve vzduchových kolektorech sice uvádějí už Duffie a Beckman (1974), ale zpřesňování fyzikálních zákonitostí sdílení tepla pro různé typy kolektorů uvádějí až Niles (1978), Parker (1981) a Grimm (1984).

Vycházeli jsme z těchto poznatků, navázali jsme na naše dřívější práce (Haš, 1982) a srovnáním s vlastními i s publikovanými výsledky měření jsme zpřesnili celý matematický model přenosových dějů a doplnili jej o výpočetní postup pro stanovení ohřátí vzduchu a účinnosti jednotlivých kolektorů i kolektorové soustavy halových sušáren. Tak byl připraven praktický matematický aparát pro navrhování a hodnocení vzduchových kolektorů.

ZÁVĚR

Mají-li být nová energetická zařízení využívána, je potřeba nejen vycházet z experimentálních ověřování, ale také vytvořit teoretickou základnu a výpočetní metody pro navrhování a projektování těchto zařízení. Programové zpracování výpočetního postupu pro vzduchové sluneční kolektory, které bylo součástí naší práce, umožní optimalizovat technické řešení kolektorů různých typů a stanovit jejich energetické účinky. Energetická účinnost ovšem není jediným rozhodujícím měřítkem užitečnosti jednotlivých typů kolektorů.

V další práci proto dále využijeme získaných výsledků a výpočetní program doplníme o technologické a ekonomické pohledy.

Seznam symbolů a veličin

α_{KDO}	— součinitel přestupu tepla konvekcí z vnější plochy dna kanálu do okolí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{KAS}	— součinitel přestupu tepla konvekcí mezi absorbérem a transparentním krytem ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{KSO}	— součinitel přestupu tepla konvekcí z transparentního krytu do okolí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{KAO}	— součinitel přestupu tepla konvekcí z absorbéru do okolí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{RAS}	— součinitel přestupu tepla sáláním z absorbéru k transparentnímu krytu ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{RAD}	— součinitel přestupu tepla sáláním z absorbéru ke dnu kanálu ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{RSO}	— součinitel přestupu tepla sáláním z transparentního krytu do okolí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{RAO}	— součinitel přestupu tepla sáláním z absorbéru do okolí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{RDO}	— součinitel přestupu tepla sáláním z vnější plochy dna kanálu do okolí ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_K	— součinitel přestupu tepla do proudícího vzduchu z rovinné desky ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{KA}	— součinitel přestupu tepla do proudícího vzduchu z absorbéru ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{KS}	— součinitel přestupu tepla do proudícího vzduchu z transparentního krytu ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
α_{KD}	— součinitel přestupu tepla do proudícího vzduchu ze dna kanálu ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
w_e	— rychlost větru ($m \cdot s^{-1}$)
w	— rychlost proudu vzduchu v kolektoru ($m \cdot s^{-1}$)
t_A, T_A	— teplota absorbéru, absolutní teplota absorbéru ($^{\circ}C, K$)
t_S, T_S	— teplota transparentního krytu ($^{\circ}C, K$)
t_{DO}, T_{DO}	— teplota vnější plochy dna kanálu ($^{\circ}C, K$)
t_{DK}, T_{DK}	— teplota vnitřní plochy dna kanálu ($^{\circ}C, K$)
t_{OK}, T_{OK}	— teplota okolí ($^{\circ}C, K$)
t_{OKD}, T_{OKD}	— teplota vzduchu pod kolektorem ($^{\circ}C, K$)
t_f	— střední teplota vzduchu v kolektoru ($^{\circ}C$)
t_{fe}	— teplota vzduchu vystupujícího z kolektoru ($^{\circ}C$)
y_K	— výška vzduchového kanálu (m)
y_S	— vzdálenost transparentního krytu nad absorbérem (m)
C_O	— součinitel sálání černého tělesa ($5,67 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$)
ε_S	— emisivita transparentního krytu (1)
ε_A	— emisivita absorbéru na straně dopadajícího záření (1)
ε_{AK}	— emisivita absorbéru na straně, kam nedopadá záření (1)
ε_{DK}	— emisivita dna kanálu směrem do kanálu (1)
ε_{DO}	— emisivita dna kanálu ve směru do okolí (1)
U_t	— součinitel tepelných ztrát přední stranou kolektoru ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
U_b	— součinitel tepelných ztrát zadní stranou kolektoru ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
d_b	— tloušťka zadní izolace (m)
λ_b	— součinitel tepelné vodivosti izolace ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
U_L	— součinitel celkových ztrát kolektoru ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)
F'	— činitel sdílení tepla v kolektoru (1)
Q_v	— objemový průtok vzduchu ($m^3 \cdot s^{-1}$)
S	— plocha kolektoru (m^2), je $b_K \cdot L$
ρ	— hustota vzduchu ($kg \cdot m^{-3}$)
c	— měrná tepelná kapacita vzduchu ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
F_R	— činitel využití energie v kolektoru (1)
η	— účinnost kolektoru (1)
b_S	— šířka rozvinutého transparentního krytu (m)
b_K	— šířka kolektoru (m)
b_A	— šířka rozvinutého absorbéru (m)
τ_t	— činitel prostupu transparentního krytu pro dlouhovlnné záření (1)
τ	— činitel prostupu transparentního krytu pro sluneční záření (1)
L	— délka vzduchového kanálu (m)
α	— činitel pohlcení absorbéru (1)
P	— výkon kolektoru (W)
E	— intenzita slunečního záření ($W \cdot m^{-2}$)
p_A	— koeficient příčného tvaru absorbéru (1), $p_A = b_A/b_K$
p_S	— koeficient příčného tvaru krytu (1), $p_S = b_S/b_K$
p_D	— koeficient podélného tvaru dna kanálu (1) $p_D = 1,0$ — pro hladké dno $p_D = 1,3$ — pro dno s výstupky

Literatura

CIHELKA, J. a kol.: Vytápění, větrání a klimatizace. Praha 1985.

DUFFIE, A. J. — BECKMAN, W. A.: Solar energy thermal processes. New York 1974.

GRIMM, W.: Grundlagen zur Berechnung und Dimensionierung von großflächigen Sonnenkollektoren zur Luftanwärmung. Grundle. Landtechn., 1984, č. 1.

HAŠ, S.: Charakteristiky slunečních kolektorů pro ohřev vzduchu. Zeměd. Techn., 28, 1982, č. 12, s. 707-719.

NILES, P. W. a kol.: Design and performance of an air collector for industrial crop dehydration. Solar Energy, 20, 1978, s. 19-23.

PARKER, B. F.: Derivation of efficiency and loss factors for solar air heaters. Solar Energy, 26, 1981, s. 27-32.

ŠTEFÁNIK, F. — CHUDÝ, D.: Overenie solárnych systémov so vzduchovými kolektormi na solárnych seníkoch. [Výskumná správa.] Rovinka, Výskumný ústav poľnohospodárskej techniky 1984.

Došlo dne 4. 12. 1985

ГАШ, С — МАХАЧКОВА, М. — ШТЕФАНИК, Ф. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственной техники, Прага-Ржепы; Научно-исследовательский институт сельскохозяйственной техники, Ровинка): Теплообмен в солнечных коллекторах для обогрева атмосферического воздуха. Земед. Techn., 33, 1987 (7) : 415-424.

Для подробного анализа и предложения воздушных солнечных коллекторов для обогрева атмосферного воздуха для досушивания сельскохозяйственных продуктов была уточнена, дополнена и программно разработана математическая модель деления тепла в солнечных коллекторах четырех основных видов: открытого (с незакрытым абсорбером), закрытого с воздушным каналом между абсорбером и прозрачным покрытием, закрытого трехслойного с током воздуха под абсорбером и закрытого с током воздуха под абсорбером и над ним. Модель была дополнена расчетом обогрева воздуха, полученной мощности и действием большего количества различных типов и размеров включенных за собой и облучаемых различной интенсивностью солнечной радиации.

воздушный солнечный коллектор; действие коллектора; потери тепла; открытый коллектор; закрытый коллектор; мощность солнечных коллекторов

HAŠ, S. — MACHÁČKOVÁ, M. — ŠTEFÁNIK, F. (Research Institute of Agricultural Engineering, Praha-Rěpy; Research Institute of Agricultural Engineering, Rovinka): Heat Transmission in Solar Collectors for Air Heating. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 415-424.

A mathematical model of heat transmission in solar collectors of four basic types was specified, refined and written in form of a programme for the heating of air used for the final drying of agricultural crops. The following types of collectors were involved: open collector with uncovered absorber, closed collector with an air duct between the absorber and the transparent cover, three-layer closed type with air flowing under the absorber, and closed collector with air flowing under and over the absorber. The model was complemented by the calculation of air heating, of the achieved performance and of efficiency of several collectors of different types and sizes connected in series and exposed to solar radiation of different intensity.

air solar collector; collector efficiency; heat losses; open collector; closed collector; solar collector performance

HAŠ, S. — MACHÁČKOVÁ, M. — ŠTEFÁNIK, F. (Forschungsinstitut für Landtechnik, Praha-Řepy; Forschungsinstitut für Landtechnik, Rovinka): *Wärmeübertragung in Sonnenkollektoren für die Erwärmung der atmosphärischen Luft*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 415-424.

Für eine eingehende Analyse und Entwürfe der Luft-Sonnenkollektoren für die Erwärmung der atmosphärischen Luft zur Nachtrocknung von landwirtschaftlichen Kulturen wurde ein mathematisches Modell der Wärmeübertragung in Sonnenkollektoren von vier wichtigsten Typen präzisiert, ergänzt und programmäßig bearbeitet; es geht um offene (mit unbedecktem Absorber), geschlossene (mit Luftstrom zwischen Absorber und transparentem Deckel), dreischichtige geschlossene (mit Luftstrom unter dem Absorber) und um geschlossene (mit Luftstrom unter und über dem Absorber) Kollektoren. Das Modell wurde mit der Berechnung der Lufterwärmung, der gewonnenen Leistung und der Wirksamkeit mehrerer Kollektoren von verschiedenen Typen und Größen, die nacheinander geschaltet und mit einer unterschiedlichen Intensität der Sonnenstrahlung bestrahlt wurden, vervollkommenet.

Luft-Sonnenkollektor; Wirksamkeit der Kollektoren; Wärmeverluste; offener Kollektor; geschlossener Kollektor; Leistung der Sonnenkollektoren

Adresy autorů:

Ing. Stanislav Haš, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, K šancím 50, 163 07 Praha 6 - Řepy

Ing. František Štefánek, RNDr. Mária Macháčková, Výskumný ústav poľnohospodárskej techniky, Rovinka u Bratislavy, 900 42 Dunajská Lužná

J. Maleř

MALEŘ, J. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha-Řepy): *Porovnání linek na lisování stébelnin*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 425-439.

Porovnávali jsme tři linky na lisování stébelnin: linku na standardní balíky, linku na velkoobjemové válcové balíky a linku na velkoobjemové hranolové balíky. Linka na standardní balíky má sezónní výkonnost 200 až 400 ha. Přímé jednotkové náklady klesají z 996,4 Kčs. ha⁻¹ na 474,6 Kčs. ha⁻¹; potřeba živé práce je 6,5 až 13 h. ha⁻¹, potřeba nafty 35 až 60 l. ha⁻¹, potřeba kovu 3,77 až 7,54 kg. ha⁻¹, potřeba skladovacího prostoru 15,8 m³. t⁻¹ při měrném investičním nákladu 1111 Kčs. t⁻¹. Linka na velkoobjemové válcové balíky má sezónní výkonnost 300 až 500 ha. Přímé jednotkové náklady klesají z 597,3 na 345,2 Kčs. ha⁻¹, potřeba živé práce je 1,5 až 3 h. ha⁻¹, potřeba nafty 18 až 36 l. ha⁻¹, potřeba kovu 2,49 až 4,14 kg. ha⁻¹, potřeba skladovacího prostoru 9,9 m³. t⁻¹ při měrném investičním nákladu 693 Kčs. t⁻¹. Sezónní výkonnost linky na velkoobjemové hranolové balíky je 600 až 1000 ha. Přímé jednotkové náklady klesají z 585 na 342,9 Kčs. ha⁻¹ (při pořizovací ceně lisu 900 000 Kčs) nebo z 451,6 na 262,9 Kčs. ha⁻¹ (při pořizovací ceně lisu 500 000 Kčs). Potřeba živé práce je 0,75 až 1,50 h. ha⁻¹, potřeba nafty 12,25 až 24,50 l. ha⁻¹, potřeba kovu 2,35 až 3,91 kg. ha⁻¹, potřeba skladovacího prostoru 6,41 m³. t⁻¹ při měrném investičním nákladu 448 Kčs. t⁻¹.

lisy; balíky slámy standardní, hranolové, válcové; výkonnost; přímé náklady; potřeba práce, nafty, kovu, skladovacího prostoru; investiční náklady

Pracovní postupy při lisování stébelnin se v sedmdesátých letech značně zdokonalily a rozšířily. Vedle lisů na válcové balíky (Maleř, 1979, 1981a) se objevily i lisy na hranolové balíky (Maleř, 1981b).

Ve druhé polovině sedmdesátých let uvedla firma HESSTON Corp. principiálně nový lis na hranolové balíky. Tento lis dosáhl pozoruhodné výkonnosti a spolehlivosti. Na konstrukci tohoto lisu bylo v USA uděleno 11 patentů.

Lisy na hranolové balíky HESSTON 4800 (event. jejich licenční výroba FIATAGRI 4800) se od roku 1980 rozšířily i do ČSSR. V sezóně 1986 pracovaly u nás již 33 tyto lisy.

METODA

Cíl řešení:

- vyšetřit sezónní výkonnost a provozní spolehlivost lisu na velkoobjemové balíky HESSTON 4800 v ČSSR;
- porovnat linky na lisování stébelnin vzhledem k nákladům, potřebě práce, potřebě nafty, kovů, skladovacích prostorů, investičních nákladů a dopravních prostředků.

Postup řešení:

— sezónní výkonnost lisů na hranolové balíky v ČSSR byla vyšetřována jednak formou dotazníků u všech vlastníků tohoto lisu, jednak víceletým sledováním nasazení těchto lisů v JZD Moravská Nová Ves (okres Břeclav),

— současně se sledovala sezónní výkonnost lisů na velkoobjemové válcové balíky (licenční výroba typu HESSTON 5700) i sezónní výkonnost lisů na standardní balíky (Fortschritt K-454);

— na základě zjištěných sezónních a hodinových výkonností jednotlivých lisů (linek) bylo vypočítáno rozpětí nákladů, potřeba práce, nafty, kovu, skladovacích prostorů a investičních nákladů.

VLASTNÍ PRÁCE

SEZÓNŇÍ VÝKONNOST A SPOLEHLIVOST LISU NA HRANOLOVÉ BALÍKY

Dosažené sezónní výkonnosti lisu na hranolové balíky HESSTON 4800 jsou uvedeny v tab. I. Z této tabulky je patrné, kolik sezón stroj v jednotlivých zemědělských podnicích pracoval a jaké dosáhl sezónní výkonnosti. Rozpětí sezónní výkonnosti je poměrně široké. Vyloučíme-li z tab. I stroje, které nepracovaly vlivem opožděné dodávky plnou sezónu, pak má sezónní výkonnost rozpětí 241 až 1667 ha (dosažený průměr 655 ha . sez⁻¹). Vysokých sezónních výkonností dosahovaly podniky, které pro nasazení tohoto lisu zajistily vhodné kooperace. Vzhledem k poměrně vysoké pořizovací ceně je nasazení v kooperaci s vhodnými zemědělskými podniky základním předpokladem, aby bylo dosaženo přijatelných ekonomických ukazatelů. Proto jsme u linky na velkoobjemové hranolové balíky do výpočtu předpokládali poměrně náročné rozpětí sezónní výkonnosti 600 až 1000 ha. Tyto stroje by měl vlastnit pouze ten zemědělský podnik, který zajistí jejich využití nad 600 ha za sezónu.

V zemědělské praxi převládá pozitivní hodnocení lisů na hranolové balíky, protože tento nový postup v provozních ukazatelích výrazně převyšuje dosavadní pracovní postupy.

JZD Moravská Nová Ves zajišťuje od roku 1985 servis všech dovezených lisů HESSTON-FIATAGRI 4800 i školící a poradenskou službu. Při zajišťování servisu bylo zjištěno, že po dobu nasazení těchto lisů v ČSSR došlo pouze k jedné závažné poruše, a to u lisu pracujícího v JRD Šala (v důsledku uvolnění závlačky u táhla se ohnulo všech šest vázacích jehel). Z opravářského hlediska a zkušeností se 33 stroji je třeba považovat stroj za spolehlivý, pracující s minimálními poruchami.

Lis HESSTON 4800 je využíván především ke sklizni slámy, jen okrajově ke sklizni sena. Pro sklizeň sena chybí vhodné konzervační přípravky.

Udávané přednosti linky na velkoobjemové hranolové balíky:

— umožňuje rychlou (včasnou) sklizeň,
— pole je možné okamžitě podmínout (je-li využíván akumulární vůzík);

— stohy zabírají minimální plochu, kryté skladovací prostory se podstatně lépe využívají;

— manipulace s hranolovými balíky na farmách živočišné výroby pomocí mobilních rozebíračů je poměrně jednoduchá;

— při vysoké sezónní výkonnosti (nad 600 ha . sez⁻¹) přináší nový pracovní postup zlepšení všech ekonomických ukazatelů.

I. Dosažené sezónní výkonnosti lisu na hranolové balíky HESSTON-FIATAGRI 4800
 — The area cleared over a season by the HESSTON/FIATAGRI 4800 square baler

Zemědělský podnik	Dosažená sezónní výkonnost (ha . sez ⁻¹)						
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Stroje dodané do roku 1984							
JZD "Jana Černého", Moravská Nová Ves (69155)	970	905	1130	1140	1065	980	740
JRD Vrbová (PS 94665)	550	550	550	550	550	550	550
JZD "Vysočina", Polná (PS 58613)		408	420	720	650	550	370
JZD "Budoucnost", Blatnice (PS 69671)				30	385	340	241
Státní statek, Znojmo (PS 66901)				630	364	650	700
Vojenské statky a lesy, Lipník nad Bečvou (PS 75131)				970	1146	1453	1667
Státní statek, Praha 5, Holečkova 8 (PS 15000)					350	780	667
JZD "Rudá hvězda", Modletice (PS 25170)						680	670
Státní statek, Nová Bystrice (PS 37833)						631	837
Agropodnik, Bzenec (PS 69681)						620	578
Stroje dodané v roce 1985							
JZD "Kelečsko", Kelč (PS 75643)						800	940
JZD "Mír" Jeseník nad Odrou (PS 79001)						624	598
JZD "SČSP" Chýně (PS 25301)						320	823
JZD "Jana Černého", Moravská Nová Ves (PS 69155)						710	935
JRD "Družba", Šala (PS 92714)						386	580
JRD Budmerice (PS 90086)						70	650
JZD "9. května", Chroustovice (PS 53863)						720	1010
Státní statek, Brno, Údolí 11 (PS 65859)						627	1150
Vojenské statky a lesy, Lipník n/Bečvou (PS 75131)						1020	1267
JRD "Podjavorie", Slatinské Lazy (PS 96225)						290	425
JRD "SNP", Kolárovo (PS 94603)						650	1120
Stroje dodané v roce 1986							
JRD "Červená zástava", Nenince (PS 99126)							454
JRD "ČSSP Nový život", Dobrá Niva (PS 96261)							243
JRD "ČSSP Nový život", Dobrá Niva (PS 96261)							260
Státní statek, Znojmo (PS 66901)							398
JRD Lehnice (PS 93037)							450
JRD Lehnice (PS 93037)							400
Státní statek, Mikulov (PS 69201)							285
Státní statek, Mikulov (PS 69201)							300
Státní statek, Mikulov (PS 69201)							300
JZD "Mír", Velké Bílovice (PS 69102)							416
Státní statek, Jesenské (PS 98002)							350

POROVNÁNÍ LINEK NA LISOVÁNÍ STĚBELNIN

Do porovnání byly zahrnuty tři linky na lisování stěbelnin:

A. Linka na standardní balíky

Sestava linky: lis na standardní balíky (1 kus), traktor 60 až 75 kW (1 kus), přívěs s nástavbou (3 kusy), traktor 60 až 75 kW (3 kusy), pásový dopravník, dieselaagregát (event. traktor).

II. Sklizeň slámy lisy na standardní balíky (předpokládané přímé jednotkové náklady direct unit costs in relation to the performance)

Linka	Pořizovací cena (Kčs)	Odpisy a opravy			
		(%)	(Kčs.rok ⁻¹)	využití v lince (%)	podíl na linku (Kčs)
Lis (1 ks)	60 000	10 + 10	12 000	100	12 000
Traktor 60–75 kW (1 ks)	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Přívěs s nástavbou (3 ks)	70 000	12 + 12	16 800	20	3 360
	70 000	12 + 12	16 800	20	3 360
	70 000	12 + 12	16 800	20	3 360
Traktor 60–75 kW (3 ks)	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Pásový dopravník	60 000	6 + 6	7 200	50	3 600
Dieselagregát event. traktor	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Celkem	1 330 000		309 600		73 680

Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň (v závislosti na výkonosti)

Dosažená sezónní výkonnost (ha.sez ⁻¹)	200	300	400
Odpovídající hodinová výkonnost (ha.h ⁻¹)	1	1,50	2
Potřeba živé práce na sklizeň (h.ha ⁻¹)	13	8,66	6,50
Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň (Kčs.ha ⁻¹)	996,4	680,10	474,68

B. Linka na velkoobjemové válcové balíky

Sestava linky: lis na válcové balíky (1 kus), traktor 60 až 75 kW (1 kus), manipulační návěs (2 kusy), traktor 60 až 75 kW (2 kusy).

C. Linka na velkoobjemové hranolové balíky

Sestava linky: lis na hranolové balíky (1 kus), traktor 110 až 120 kW (1 kus), manipulační návěs (2 kusy), traktor 60 až 75 kW (2 kusy).

Tato linka byla posuzována alternativně pro sestavu s pořizovací cenou lisu 900 000 Kčs.

NÁKLADY (obr. 1)

Výpočet přímých jednotkových nákladů je uveden v tab. II—V a bylo k němu použito metodiky, kterou uvedl Špelina (1983).

Pořizovací cena

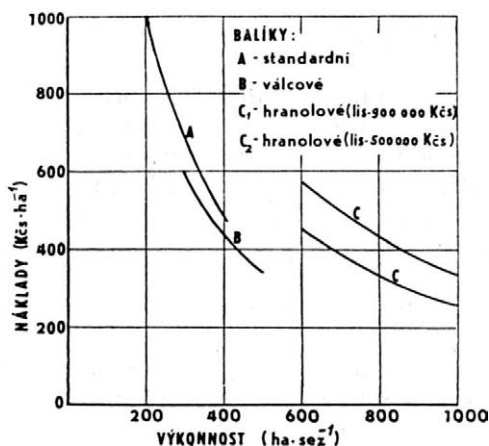
Použili jsme zaokrouhlených platných cen. U linky C jsme ceny odhadli, a to u manipulačního návěsu na 80 000 Kčs a u lisu na hranolové balíky na 500 000 Kčs a 900 000 Kčs.

Odpisy a opravy			Energie a mzdy							Pro- vázek (Kčs. .ha ⁻¹)
sezónní výkonnost (ha)			(l.h ⁻¹)	(Kčs. .h ⁻¹)	počet lidí	(Kčs. .h ⁻¹)	hodinová výkonnost			
200	300	400					1	1,5	2	
(Kčs. ha ⁻¹)							(Kčs. ha ⁻¹)			
60,0	40,0	30,0								48
48,0	32,0	24,0	12	72	1	20	92	61,3	46	
16,8	11,2	8,4								
16,8	11,2	8,4								
16,8	11,2	8,4								
48,0	32,0	24,0	12	72	1	20	92	61,3	46	
48,0	32,0	24,0	12	72	1	20	92	61,3	46	
48,0	32,0	24,0	12	72	1	20	92	61,3	46	
18,0	12,0	9,0			8	120	120	80,0	60	
48,0	32,0	24,0	12	72	1	20	92	61,3	46	
368,4	245,6	136,7	60	360	13	220	580	386,5	290	48

Odpisy a opravy

Náklady na odpisy a opravy se určují podle hektarů sklizených za sezónu. U zemědělských strojů je doba odepisování deset let, u traktorů a návěsů osm let. Náklad na opravu nesmí překročit pořizovací cenu, proto se procento odpisů rovná procentu nákladů na opravy.

Zatímco lisy jsou v lince využity celoročně na 100 %, traktory a univerzální přívěsy pouze na 20 %, u manipulačních návěsů na velkoobjemové balíky se předpokládá 50% využití při sklizni a 50% využití při posklizové manipulaci, tj. při přepravě balíků na místo spotřeby.



1. Přímé jednotkové náklady na lisování slámy do balíků — Direct unit costs of straw baling

Sezónní výkonnosti

U linky na sklizeň lisy na velkoobjemové hranolové balíky se počítá s důsledným uplatněním kooperací, proto se předpokládá vysoká výkonnost 600 až 1000 ha za sezónu. Rovněž u lisů na válcové balíky se předpokládá, že budou postupně využívány v kooperaci a že dosáhnou přibližně poloviční sezónní výkonnosti 300 až 500 ha. U lisů na standardní balíky se kooperace nepředpokládá, proto je i sezónní výkonnost nižší — 200 až 400 ha.

Náklady na energii a na mzdy

Náklady na energii a na mzdy se přepočítávají podle hektarů sklizených za hodinu. Základní spotřeba nafty u traktoru 110 až 120 kW je $25 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ (při využití výkonu motoru na 60 %), u traktoru 60 až 75 kW $12 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ (při využití výkonu motoru na 70 %). Cena nafty včetně olejů činí 6,— Kčs. l^{-1} . Mzdy a náklady na kvalifikovaného pracovníka představují 15 Kčs. h^{-1} .

Hodinové výkonnosti

U lisů na hranolové balíky se dosahuje hodinové výkonnosti 2—3—4 ha. h^{-1} , u lisu na válcové a standardní balíky je výkonnost přibližně poloviční — 1—1,5—2 ha. h^{-1} .

Náklady na provázek

U lisů na hranolové balíky je vhodný provázek z materiálu polypropylen 50 000 decitexů; cena za 1 kg (200 m) tohoto provázku je 13,6 Kčs. Spotřeba provázku je $360 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$, tj. 24 Kčs. ha^{-1} .

U lisu na válcové balíky je vhodný provázek z materiálu polypropylen 20 000 decitexů, jehož cena za 1 kg (500 m) je 14,8 Kčs. Spotřeba provázku je $1200 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$, tj. 36 Kčs. ha^{-1} .

U lisu na standardní balíky je vhodný tentýž provázek a jeho spotřeba je $1600 \text{ m} \cdot \text{ha}^{-1}$, tj. 48 Kčs. ha^{-1} .

Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň

K nákladům na odpisy a opravy na jeden hektar sezónní výkonnosti se připočítávají jednak náklady na energii a mzdy na hektar hodinové výkonnosti, jednak náklady na spotřebu provázku na jeden hektar.

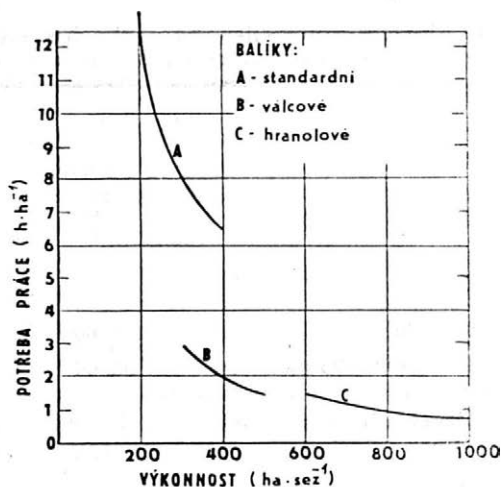
POTŘEBA ŽIVÉ PRÁCE (obr. 2)

Velikost potřeby živé práce závisí na dosažené hodinové výkonnosti. Potřeba pracovníků je uvedena v tab. II až V. U linky na standardní balíky je potřeba živé práce v rozpětí 6,5 až 13 h. ha^{-1} , u linky na válcové balíky klesá na 1,5 až 3 h. ha^{-1} a u linky na hranolové balíky dále klesá na 0,75 až 1,0 h. ha^{-1} . Vysoká potřeba živé práce je závažným nedostatkem linky na sklizeň standardních balíků.

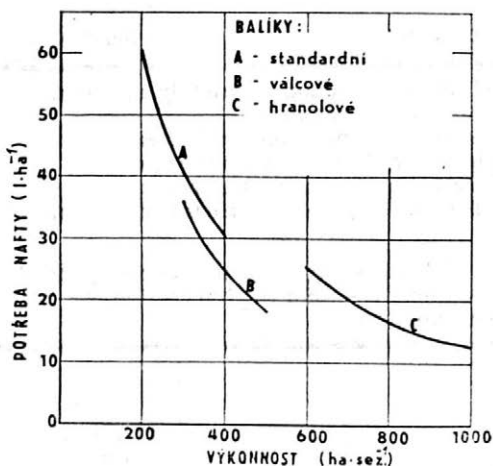
POTŘEBA NAFTY (obr. 3)

Potřeba nafty závisí na dosažené hodinové výkonnosti a na mechanickém stavu vznětových motorů linky a je uvedena v tab. II až V. U linky na standardní balíky je potřeba nafty na sklizeň 35 až 60 l. ha^{-1} (vy-

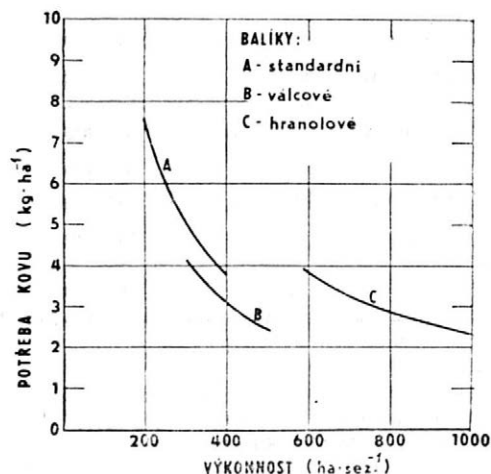
2. Potřeba živé práce při lisování slámy do balíků — Labour requirement for straw baling



3. Potřeba nafty při lisování slámy do balíků — Diesel oil consumption during straw baling



4. Potřeba kovu (náhradních dílů) při lisování slámy do balíků — Consumption of metal (spare parts) during straw baling



III. Sklizeň slámy lisy na velkoobjemové válcové balíky (předpokládané přímé balers (assumed direct unit costs in relation to the performance)

Linka	Pořizovací cena (Kčs)	Odpisy a opravy			
		(%)	(Kčs. rok ⁻¹)	využití v lince (%)	podíl na linku (Kčs)
Lis (1 ks)	200 000	10 + 10	40 000	100	40 000
Traktor 60–75 kW (1 ks)	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Manipulační návěs (2 ks)	70 000	12 + 12	16 800	50	8 400
	70 000	12 + 12	16 800	50	8 400
Traktor 60–75 kW (2 ks)	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Celkem	940 000		217 600		85 600

Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň
(v závislosti na výkonnosti)

Dosažená sezónní výkonnost (ha. sez ⁻¹)	300	400	500
Odpovídající hodinová výkonnost (ha. h ⁻¹)	1	1,5	2
Potřeba živé práce na sklizeň (h. ha ⁻¹)	3	2	1,5
Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň (Kčs. ha ⁻¹)	597,33	433,90	345,20

IV. Sklizeň slámy lisy na velkoobjemové hranolové balíky — varianta s pořizovací výkonnosti) — Straw harvesting by big square balers — variant with the baler performance)

Linka	Pořizovací cena (Kčs)	Odpisy a opravy			
		(%)	(Kčs. rok ⁻¹)	využití v lince (%)	podíl na linku (Kčs)
Lis (1 ks)	900 000	10 + 10	180 000	100	180 000
Traktor 110–120 kW (1 ks)	250 000	12 + 12	60 000	20	12 000
Manipulační návěs (2 ks)	80 000	12 + 12	19 200	50	9 600
	80 000	12 + 12	19 200	50	9 600
Traktor 60–75 kW (2 ks)	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Celkem	1 710 000		374 400		230 400

Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň
(v závislosti na výkonnosti)

Dosažená sezónní výkonnost (ha. sez ⁻¹)	600	800	1000
Odpovídající hodinová výkonnost (ha. h ⁻¹)	2	3	4
Potřeba živé práce na sklizeň (h. ha ⁻¹)	1,5	1	0,75
Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň (Kčs. ha ⁻¹)	585,0	429,98	342,90

Odpisy a opravy			Energie a mzdy							Pro- vázek (Kčs. .ha ⁻¹)
sezónní výkonnost (ha)			(l.h ⁻¹)	(Kčs. .h ⁻¹)	počet lidí	(Kčs. .h ⁻¹)	hodinová výkonnost			
300	400	500					1	1,5	2	
(Kčs. ha ⁻¹)							(Kčs. ha ⁻¹)			
133,33	100	80,0								36
32,00	24	19,2	12	72	1	20	92	61,3	46	
28,00	21	16,8								
28,00	21	16,8								
32,00	24	19,2	12	72	1	20	92	61,3	46	
32,00	24	19,2	12	72	1	20	92	61,3	46	
285,33	214	171,2	36	216	3	60	276	183,9	138	36

cenou lisu 900 000 Kčs (předpokládané přímé jednotkové náklady v závislosti na purchase price of 900 000 crowns (assumed direct unit costs in relation to the

Odpisy a opravy			Energie a mzdy								Pro- vázek (Kčs. .ha ⁻¹)
sezónní výkonnost (ha)			(l.h ⁻¹)	(Kčs. .h ⁻¹)	počet lidí	(Kčs. .h ⁻¹)	hodinová výkonnost				
600	800	1000					2	3	4		
(Kčs. ha ⁻¹)							(Kčs. ha ⁻¹)				
300	225	180,0									24
20	15	12,0	25	150	1	20	85	56,66	42,5		
16	12	9,6									
16	12	9,6									
16	12	9,6	12	72	1	20	46	30,66	23,0		
16	12	9,6	12	72	1	20	46	30,66	23,0		
384	288	230,4	49	294	3	60	177	117,89	88,5		24

V. Sklizeň slámy lisy na velkoobjemové hranolové balíky — varianta s pořizovací výkonností) — Straw harvesting by big square balers — variant with the baler performance)

Linka	Pořizovací cena (Kčs)	Odpisy a opravy			
		(%)	(Kčs .rok ⁻¹)	využití v lince (%)	podíl na linku (Kčs)
Lis (1 ks)	500 000	10 + 10	100 000	100	100 000
Traktor 110 — 120 kW (1 ks)	250 000	12 + 12	60 000	20	12 000
Manipulační návěs (2 ks)	80 000	12 + 12	19 200	50	9 600
	80 000	12 + 12	19 200	50	9 600
Traktor 60 — 75 kW (2 ks)	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
	200 000	12 + 12	48 000	20	9 600
Celkem	1 310 000		294 400		150 400

Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň (v závislosti na výkonnosti)

Dosažená sezónní výkonnost (ha . sez ⁻¹)	600	800	1000
Odpovídající hodinová výkonnost (ha . h ⁻¹)	2	3	4
Potřeba živé práce na sklizeň (h . ha ⁻¹)	1,50	1	0,75
Celkové přímé jednotkové náklady na sklizeň (Kčs . ha ⁻¹)	451,66	329,98	262,90

soká potřeba je způsobována především komplikovanou dopravou, při které jeden traktor s velkoobjemovým vozem jede společně s lisem po poli, jeden traktor s velkoobjemovým vozem je v místě skladování a jeden traktor s velkoobjemovým vozem je na cestě z pole, popřípadě na pole; pohon dopravníků při polním stohování vyžaduje dieselaagregát, event. další traktor). U linky na válcové balíky klesá potřeba nafty na sklizeň na 18 až 36 l . ha⁻¹, u linky na hranolové balíky dále klesá na 12,25 až 24,5 l . ha⁻¹. Podstatného snížení potřeby nafty se dosahuje především lepším využitím nosnosti dopravních prostředků v důsledku vyšších objemových hmotností sklizeného materiálu.

POTŘEBA KOVU (obr. 4)

Velikost potřeby kovu závisí na dosažené sezónní výkonnosti. Hmotnosti strojů porovnávaných linek jsou uvedeny v tab. VI. Vychází se z předpokladu, že za životnost linky se celková hmotnost spotřebovaných náhradních dílů rovná polovině hmotnosti nového stroje. Přitom dosažené zkušenosti s lisem HESSTON 4800 naznačují, že potřeba náhradních dílů je vzhledem k výchozí kvalitě jednotlivých součástí stroje minimální.

U linky na standardní balíky je potřeba kovu na sklizeň v rozpětí 3,77 až 7,54 kg . ha⁻¹, u linky na válcové balíky je v rozpětí 2,49 až 4,14 kg . ha⁻¹ a u linky na hranolové balíky v rozpětí 2,35 až 3,91 kg .

cenou lisu 500 000 Kčs (předpokládané přímé jednotkové náklady v závislosti na purchase price of 500 000 crowns (assumed direct unit costs in relation to the

Odpisy a opravy			Energie a mzdy							Pro- vázek (Kčs. .ha ⁻¹)
sezónní výkonnost (ha)			(l.h ⁻¹)	(Kčs. .h ⁻¹)	počet lidí	(Kčs. .h ⁻¹)	hodinová výkonnost			
600	800	1000					2	3	4	
(Kčs. ha ⁻¹)							(Kčs. ha ⁻¹)			
166,66	125	100,0								24
20,00	15	12,0	25	150	1	20	85	56,66	42,5	
16,00	12	9,6								
16,00	12	9,6								
16,00	12	9,6	12	72	1	20	46	30,66	23,0	
16,00	12	9,6	12	72	1	20	46	30,66	23,0	
250,66	188	150,4	49	294	3	60	177	117,98	88,5	24

. ha⁻¹. Vzhledem k minimální potřebě náhradních dílů pro lisy HESSTON 4800 je potřeba kovu ještě nižší (cca o 20 %).

POTŘEBA SKLADOVACÍHO PROSTORU

Potřebná velikost skladovacího prostoru závisí na tvaru balíku a na jeho objemové hmotnosti. Rozměry balíků a potřeba skladovacího prostoru jsou uvedeny v tab. VII. U linky na standardní balíky je potřeba skladovacího prostoru 15,87 m³. t⁻¹ při měrných investičních nákladech 1111 Kčs. t⁻¹, u linky na válcové balíky je to 9,9 m³. t⁻¹ při měrných investičních nákladech 693 Kčs. t⁻¹ a u linky na hranolové balíky 6,41 m³. t⁻¹ při měrných investičních nákladech 448 Kčs. t⁻¹.

POTŘEBA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ NA POSKLIZŇOVOU PŘEPRÁVU

Potřeba dopravních prostředků na posklizňovou přepravu závisí na tvaru balíku a na dosahované objemové hmotnosti (tab. VII). U linky na standardní balíky se automobilovým tahačem s nástavbou 80 m³ přepraví 5,04 t slámy, u linky na válcové balíky se stejným dopravním prostředkem se přepraví 8,08 t slámy a u linky na hranolové balíky 12,48 t slámy. Tomu odpovídá i relace nákladů na přepravu. Porovnáváme-li přepravu hranolových a standardních balíků, vidíme, že přeprava standardních balíků je 2,47 × dražší.

DISKUSE

Základním předpokladem rozšíření lisů na hranolové balíky je jejich provozní spolehlivost a přijatelná pořizovací cena. Z dlouhodobě-

VI. Potřeba kovu u linek na lisování stébelnin — Metal consumption in lines for the baling of culm crops

Linka	Stroj	Hmotnost (kg)			Využití v lince	Podíl hmotnosti na linku (kg)	Doba odepisování (roky)	Podíl hmotnosti na sezónu (kg)	Podíl hmotnosti na hektar (kg . ha ⁻¹)
		stroje	náhrad- ních dílů	celkem					
A	Lis na standardní balíky (1 ks)	2 500	1250	3 750	100	2 500	10	250	200—400 ha . sez ⁻¹
	Traktor 60—75 kW (1 ks)	4 500	2250	6 750	20	1 350	8	168,7	
	Prívěs s nástavbou (3 ks)	7 800	3900	11 700	20	2 340	8	292,5	
	Traktor 60—75 kW (3 ks)	13 500	6750	20 250	20	4 050	8	506,25	
	Pásový dopravník (1 ks)	1 300	650	1 950	50	975	8	121,87	
	Dieselařegát event. traktor (1 ks)	4 500	2250	6 750	20	1 350	8	168,7	
	Celkem					12 565		1508,02	7,54—3,77
B	Lis na válcové balíky (1 ks)	1 800	900	2 700	100	2 700	10	270,0	300—500 ha . sez ⁻¹
	Traktor 60—75 kW (1 ks)	4 500	2250	6750	20	1 350	8	168,7	
	Manipulační návěs (2 ks)	5 000	2500	7 500	50	3 750	8	468,7	
	Traktor 60—75 kW (2 ks)	9 000	4500	13 500	20	2 700	8	337,5	
	Celkem					10 500		1244,9	4,14—2,49
C	Lis na hranolové balíky (1 ks)	7 800	3900	11 700	100	11 700	10	1170,9	600—1000 ha . sez ⁻¹
	Traktor 110—120 kW (1 ks)	9 990	4995	14 985	20	2 997	8	374,6	
	Manipulační návěs (2 ks)	5 000	2500	7 500	50	3 750	8	468,7	
	Traktor 60—75 kW (2 ks)	9 000	4500	13 500	20	2 700	8	337,5	
	Celkem					21 147		2350,8	3,91—2,35

VII. Potřeba skladovacího prostoru na uskladnění slámy — The requirement for storage space to store straw

	Balíky		
	standardní	válcové	hranolové
Balík — průřez (m)	0,4 × 0,5	Ø do 1,8	1,22 × 1,29
délka (m)	do 1,20	1,20	do 2,44
objem (m ³)	do 0,24	do 3,00	do 3,84
hmotnost u slámy (kg)	do 21	do 390	do 600
objemová hmotnost u slámy (kg · m ⁻³)	do 90	do 130	do 156
Využití skladovacího prostoru (%)	70	78	100
Průměrná hmotnost ve skladovacím prostoru u slámy (kg · m ⁻³)	63	101	156
Potřeba skladovacího prostoru (m ³ · t ⁻¹) u slámy	15,87	9,90	6,41
Potřeba skladovacího prostoru na uskladnění 2000 t slámy (m ³)	31 740	19 800	12 820
Měrný investiční náklad na skladovací prostor slámy při ceně ocelokolny 70 Kčs · m ⁻³ (Kčs · t ⁻¹)	1111	693	448
Množství přepravované automobilovým tahačem s nástavbou 80 m ³ (t)	5,04	8,08	12,48
Relace nákladů na přepravu	2,47	1,54	1,00

ššího sledování spolehlivosti máme příklad z JZD Moravská Nová Ves, kde za sedm sezón nasazení nevznikla ani jedna závažná porucha a stroj pracoval s průměrnou sezónní výkonností 990 ha. Při odhadu cenového limitu lisu na hranolové balíky vycházíme z ceny lisu na standardní balíky. Poměr hmotnosti mezi lisem na standardní a hranolové balíky je 1 : 3,12. Poměr náročnosti výroby odhadujeme na 1 : 3. Poměr cen mezi lisem na standardní balíky a lisem na hranolové balíky by tudíž měl být cca 1 : 9, tj. při pořizovací ceně lisu na standardní balíky cca 60 000 Kčs je odhad ceny lisu na hranolové balíky do 540 000 Kčs. Ve výpočtu nákladů jsme tento odhad zaokrouhlili na 500 000 Kčs.

ZÁVĚR

V předkládané práci jsou porovnány tři linky na lisování stébelnin. Z porovnání vyplývají zásadní přednosti linky na velkoobjemové hranolové balíky.

Literatura

- MALEŘ, J.: Sklizeň slámy lisu na obří balíky. Zeměd. Techn., 25, 1979, č. 6, s. 461-475.
 MALEŘ, J.: Sklizeň slámy svinovacím lisem. Zeměd. Techn., 27, 1981a, č. 8, s. 449-460.
 MALEŘ, J.: Sklizeň slámy lisem na obří balíky čtvercového průřezu. Zeměd. Techn., 27, 1981b, s. 735-746.

Došlo dne 7. 1. 1987

МАЛЕРЖ, Й. (Научно-исследовательский институт сельскохозяйственной техники, Прага-Ржепы): Сравнение линий для прессовки стеблевых кормов. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 425-439.

Мы сравнивали три линии для прессовки стеблевых кормов: линию для стандартных тюков, линию для крупногабаритных рулонных тюков и линию для крупногабаритных прямоугольных тюков. Линия для стандартных тюков обладает сезонной производительностью 200—400 га. Прямые единичные затраты понижаются от 996,4 крон/га до 474,6 крон/га; затрата живого труда 6,5—13 ч/га; потребность в нефти 35—60 л/га; потребность в металле 3,77—7,54 кг/га; потребность в складских помещениях 15,8 м³/т при удельном капиталовложении 1111 крон/га. У линий для крупногабаритных рулонных тюков сезонная производительность 300—500 га; прямые единичные затраты понижаются от 597,3 до 345,2 крон/га, затрата живого труда 1,5—3 ч/га; потребность в нефти 18—36 л/га; потребность в металле 2,49—14 кг/га; потребность в складских помещениях 9,9 м³/т при удельном капиталовложении 693 крон/га. Сезонная производительность линии для крупногабаритных прямоугольных тюков 600—1000 га. Прямые единичные затраты понижаются от 585 до 342 крон/га (при цене приобретения пресса 900 000 крон) или от 451,6 до 262,9 крон/га (при цене приобретения пресса 500 000 крон). Затрата живого труда 0,75—1,50 ч/га; потребность в нефти 12,25—24,50 л/га; потребность в металле 2,35—3,91 кг/га; потребность в складских помещениях 6,41 м³/т при удельном капиталовложении 448 крон/т.

прессы; тюки соломы стандартные, прямоугольные, рулонные; производительность; прямые затраты; затрата труда; потребность в нефти, железе, складских помещениях; капиталовложения

MALER, J. (Research Institute of Agricultural Engineering, Praha-Řepy): Comparing the Lines for the Baling of Culm Crops. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 425-439.

Three lines for the baling of culm crops were compared: a line for standard bales, a line for big round bales and a line for big square bales. The performance of the standard-bale line is 200 to 400 ha over a season. The direct unit costs fall from 996.4 Czechoslovak crowns per ha to 476.6 crowns per ha. The labour requirement is 6.5 to 13 h per ha, Diesel oil consumption 35 to 60 litres per ha, metal consumption 3.77 to 7.54 kg per ha, and the requirement for store space 15.8 cubic metres per ton, with specific investment cost of 1111 crowns per ton. The performance of the line for big round bales is 300 to 500 ha per season, the direct unit costs decrease from 597.3 to 345.2 crowns per ha, labour requirement is 1.5 to 3 h per ha, Diesel oil consumption 18—30 litres per ha, metal consumption 2.49 to 14 kg per ha, requirement for store space 9.9 cubic metres per ton, with specific investment cost of 693 crowns per ton. The line for big square bales can clear 600 to 1000 ha per season. The direct unit costs fall from 585 to 342 crowns per ha (at baler purchase price of 900 000 crowns) or from 451.6 to 262.9 crowns per ha (at baler purchase price of 500 000 crowns). Labour requirement is 0.75 to 1.50 h per ha, Diesel oil consumption 12.25 to 24.50 litres per ha, metal consumption 2.35 to 3.91 kg per ha, and the requirement for store space 6.41 cubic metres per ton, the specific investment cost being 448 crowns per ton.

balers; standard straw bales; square bales; round bales; performance; direct costs; requirement for labour, Diesel oil, metal, store space; investment costs

MALER, J. (Forschungsinstitut für Landtechnik, Praha-Řepy): Vergleich der Straßen zum Pressen der Halmfrüchte. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 425-439.

Wir verglichen drei Straßen zum Pressen der Halmfrüchte: eine Straße für Standardballen, eine Straße für Großvolumenzylinderballen und eine Straße für Großvolumenprismaballen. Die Straße für Standardballen hat eine Saisonleistung von 200

bis 400 ha. Die direkten Einheitskosten gehen von 996,4 Kčs.ha⁻¹ auf 474,6 Kčs.ha⁻¹ zurück; der Bedarf an lebendiger Arbeit beträgt 6,5 bis 13 h.ha⁻¹, derjenige an Dieseldkraftstoff 35 bis 60 l.ha⁻¹, derjenige an Metall 3,77 bis 7,54 kg.ha⁻¹, derjenige an Lagerraum 15,8 m³.t⁻¹ bei einem spezifischen Investitionsaufwand von 1111 Kčs.t⁻¹. Die Straße für Großvolumenzylinderballen hat eine Saisonleistung von 300 bis 500 ha, die direkten Einheitskosten gehen von 597,3 auf 345,2 Kčs.ha⁻¹ zurück, der Bedarf an lebendiger Arbeit beträgt 1,5 bis 3 h.ha⁻¹, derjenige an Dieseldkraftstoff 18 bis 36 l.ha⁻¹, derjenige an Metall 2,49 bis 14 kg.ha⁻¹, derjenige an Lagerraum 9,9 m³.t⁻¹ bei einem spezifischen Investitionsaufwand von 693 Kčs.t⁻¹. Die Straße für Großvolumenprismaballen hat eine Saisonleistung von 600 bis 1000 ha⁻¹, die direkten Einheitskosten gehen von 585 auf 342,9 Kčs.ha⁻¹ (bei einem Anschaffungspreis der Presse von 900 000 Kčs) oder von 451,6 auf 262,9 Kčs.ha⁻¹ (bei einem Anschaffungspreis der Presse von 500 000 Kčs) zurück. Der Bedarf an lebendiger Arbeit beträgt 0,75 bis 1,50 h.ha⁻¹, derjenige an Dieseldkraftstoff 12,25 bis 24,50 l.ha⁻¹, derjenige an Metall 2,35 bis 3,91 kg.ha⁻¹, derjenige an Lagerraum 6,41 m³.t⁻¹ bei einem spezifischen Investitionsaufwand von 448 Kčs.t⁻¹.

Pressen; Standard-, Großvolumenzylinder-, Großvolumenprismaballen; Leistung; Direktkosten; Arbeits-, Dieseldkraftstoff-, Metall- Lagerraumbedarf; Investitionsaufwand

Adresa autora:

Doc. ing. Josef Maleř, DrSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, K šancím 50, 163 07 Praha-Řepy

Upozorňujeme čtenáře, že v čísle 8 časopisu

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

mají být uveřejněny tyto články:

- B. Procházk a: Dvadsať päť rokov odboru mechanizácie poľnohospodárstva na Vysokej škole poľnohospodárskej v Nitre
 - I. Petranský, I. Šoka, P. Orgoník: Možnosti použitia hydrostatických prevodoviek československej výroby v traktoroch
 - A. Žikla, Š. Drabant: Zisťovanie základných parametrov regulačnej hydrauliky v laboratórnych podmienkach
 - E. Pisár: Riešenie regulačnej hydrauliky závesných zaříadení traktorov vyšších výkonových tried
 - J. Semetko: Zisťovanie premeny energie v prevádzke
 - J. Meleg, B. Procházk a: Kvalita práce jednolištového mláfacieho mechanizmu
 - J. Balla: Špecifické rysy abrazívneho opotrebovania uhlíkových ocelí
- Zoznam realizačných výstupov z vyriešených výskumných úloh na mechanizačnej fakulte Vysokej školy poľnohospodárskej v Nitre

MODELOVANIE LINIEK NA LISOVANIE SLAMY V RÁMCI KOMPLEXNÉHO PRÚDOVÉHO ZBERU OBILNÍN

M. Ďuriš, J. Ďuďák, M. Ostrožlík

ĎURIŠ, M. — ĎUĎÁK, J. — OSTROŽLÍK, M. (Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra): *Modelovanie liniek na lisovanie slamy v rámci komplexného prúdového zberu obilnín*. Zeměd. Techn., 33, 1987 (7) : 441-448.

Príspevok sa zaoberá modelovaním liniek na lisovanie slamy. Do vyhodnotenia boli zahrnuté lisy na štandardné balíky K-454, lisy na valcové balíky Hesston 5700 a lisy na hranolové balíky Hesston 4800. Program pre počítače SPU-800 TNS-S a PMD-85 bol zostavený v jazyku BASIC. Uvádzame rôzne varianty zostáv liniek. Najvyššie jednotkové prevádzkové náklady sa dosahujú v komplexe strojov s lisom na štandardné balíky K-454, nižšie náklady sú v komplexe strojov s lisom na valcové balíky Hesston 5700, najnižšie náklady v komplexe strojov s lisom na hranolové balíky Hesston 4800. Technológia je ekonomicky výhodná do nadobúdacej ceny do 500 000,— Kčs pri lise Hesston 4800. Tvorba hranatých balíkov slamy je vhodnou technológiou pre priemyselné nasadenie strojov v rámci komplexného prúdového zberu obilnín, a to z dôvodu rýchleho zberu slamy z poľa.

lisy; výber technológie; zostavy liniek

Modelovaním liniek na komplexný prúdový zber obilnín sa zaoberali Ďuriš a i. (1985, 1986). Vychádzali z technicko-exploatačných parametrov, časových snímok, štruktúry časov, koeficientov využitia a zákonov rozdelenia náhodných veličín. Na samočinnom počítači urobili zostavy komplexov strojov. Uvádzajú koeficienty nadväznosti komplexu strojov, náklady na zber a odvoz zrna a jednotkové náklady na komplex strojov.

Čiastkové skúmanie modelovania liniek na lisovanie slamy v rámci komplexného prúdového zberu obilnín urobili Ďuďák a i. (1986). Do vyhodnotenia zahrnuli lisy na štandardné balíky, lisy na valcové balíky a lisy na hranolové balíky. Maleř (1986a) porovnával linky na lisovanie slamy. Z výsledkov vyplynulo, že linka na hranolové balíky je výhodnejšia ako linka na valcové alebo štandardné balíky. Rozhodujúcim strojom je lis na hranolové balíky veľkoobjemové. V našich podmienkach sa osvedčuje lis na hranolové balíky Hesston 4800.

V linke na hranolové balíky sa uvažuje o použití akumuláčného návesu zaveseného za lisom, čo umožňuje sústreďovanie zlisovaných balíkov na úvrtiach. Pre manipuláciu s balíkmi sa počíta s manipulačným návesom obdobnej konštrukcie, akú má manipulačný náves na valcové balíky. Na manipuláciu s hranolovými balíkmi sa môžu využiť i rôzne typy nakladačov. Za mimoriadne vysoký prínos možno považovať včasnosť urobených operácií. Pri komplexne mechanizovanom zbere zrnín

I. Vstupné údaje pre elektronický počítač — Computer input data

Ukazovatele	Výkon- nosť OK K	Hmotnosť zrna v zásobníku H	Rýchlosť DP v_p	Užitočná hmotnosť DP na odvoz zrna Q_z	Výkon- nosť súpravy na zber slamy W_{SK}	Hmotnosť slamy na DP H_1	Prevádz- kové náklady na kom- plex OK N_7	Prevádz- kové náklady na DP (zrno) N_s	Prevádz- kové náklady na zberové súpravy (slama) S_1	Prevádz- kové náklady na DP (slama) S_3
	ha . h ⁻¹	t	km . h ⁻¹	t	ha . h ⁻¹	t	Kčs . ha ⁻¹	Kčs . h ⁻¹	Kčs . ha ⁻¹	Kčs . h ⁻¹
Obilný kombajn E-516	1,679	2,695					113,59			
Nákladný automobil Škoda 706 RTS-1			38,0	11,2				74,0		
I. Lis na štandardné balíky K-454 Traktor 60 — 75 kW					1,0				217,00	
Príves s nástavbou Traktor 60 — 75 kW						2,3				129,48
II. Lis na valcové balíky Hesston 5700 Traktor 60 — 75 kW					1,5				219,83	
Manipulačný náves Traktor 60 — 75 kW						1,5				160,25
III. Lis na hranolové balíky Hesston 4800 (a) (500 000 Kčs) Traktor 110 — 120 kW					3,0				185,33	
IV. Lis na hranolové balíky Hesston 4800 (b) (900 000 Kčs) Traktor 110 — 120 kW					3,0				265,33	
Manipulačný náves Traktor 60 — 75 kW						2,5				184,39

II. Zostava komplexov strojov — varianty — Machine line systems — variants

Číslo zostavy	Číslo variantu	Typ obilného kombajnu	Typ dopravného prostriedku na odvoz zrna	Typ zberacieho lisu
1	1—15	E-516	Škoda 706 RTS-1	lis na štandardné balíky K-454
2	16—30			lis na valcové balíky Hesston 5700
3	31—45			lis na hranolové balíky Hesston 4800 (nadobúdacia cena 500 000 Kčs)
4	46—60			lis na hranolové balíky Hesston 4800 (nadobúdacia cena 900 000 Kčs)

sa snažíme o to, aby čas medzi zberom zrna a zberom slamy bol čo možno najkratší. Tomu má mimoriadne napomôcť práve linka na zber hranolových balíkov, pretože sústreďuje balíky na úvrati. Pole je tak okamžite pripravené na podmiatku, prihnojovanie, prípadne na sejbu strniskových miešaniek. Včasnosť agrotechnických zásahov po zbere ovplyvňuje budúce hektárové úrody a je významným intenzifikačným faktorom. Technológia prináša úsporu PHM, pracovného času a pri do-

III. Varianty pre lis na štandardné balíky K-454 — Variants for the K-454 standard baler

Zostava variantu	$C = 7$
Počet obilných kombajnov	$N = 7$
Výkonnosť skupiny OK ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$)	$W = 11,753$
Koeficient nadväznosti zberu slamy	$K2 = 1,02102$
Počet súprav na zber slamy	$N4 = 12$
Výkonnosť zberu slamy ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$)	$WS = 12$
Koeficient nadväznosti odvozu slamy	$K3 = 1,02$
Koeficient DP na odvoz slamy	$N6 = 18$
Výkonnosť odvozu slamy ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$)	$WD = 12,24$

Dopravná vzdialenosť (km)	Počet dopravných prostriedkov na odvoz zrna (ks)	Koeficient nadväznosti komplexu strojov	Náklady na zber a odvoz zrna ($\text{Kčs} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Jednotkové náklady na komplex strojov ($\text{Kčs} \cdot \text{ha}^{-1}$)
1	2	1,32733	126,183	546,045
2	2	1,23408	126,183	546,045
3	2	1,15306	126,183	546,045
4	2	1,08203	126,183	546,045
5	3	1,52886	132,479	552,341
6	3	1,44500	132,479	552,341
7	3	1,36987	132,479	552,341
8	3	1,30217	132,479	552,341
9	3	1,24084	132,479	552,341
10	3	1,18503	132,479	552,341

IV. Varianty pre lis na valcové balíky Hesston 5700 — Variants for the Hesston 5700 round baler

Zostava variantu	$C = 22$
Počet obilných kombajnov	$N = 7$
Výkonnosť skupiny OK (ha . h ⁻¹)	$W = 11,753$
Koeficient nadväznosti zberu slamy	$K2 = 1,02102$
Počet súprav na zber slamy	$N4 = 8$
Výkonnosť zberu slamy (ha . h ⁻¹)	$WS = 12$
Koeficient nadväznosti odvozu slamy	$K3 = 1,08333$
Počet DP na odvoz slamy	$N6 = 8$
Výkonnosť odvozu slamy (ha . h ⁻¹)	$WD = 13$

Dopravná vzdialenosť (km)	Počet dopravných prostriedkov na odvoz zrna (ks)	Koeficient nadväznosti komplexu strojov	Náklady na zber a odvoz zrna (Kčs . ha ⁻¹)	Jednotkové náklady na komplex strojov (Kčs . ha ⁻¹)
1	2	1,40975	126,183	459,711
2	2	1,31070	126,183	459,711
3	2	1,22466	126,183	459,711
4	2	1,14921	126,183	459,711
5	3	1,62379	132,479	466,007
6	3	1,53473	132,479	466,007
7	3	1,45493	132,479	466,007
8	3	1,38302	132,479	466,007
9	3	1,31788	132,479	466,007
10	3	1,25861	132,479	466,007

sahovaní vysokých sezónnych výkonností cestou kooperácie i úsporu prevádzkových nákladov (Maleř, 1986b).

Pri nasadení lisov na hranolové balíky prevláda ich pozitívne hodnotenie. Analyzujú sa výsledky využitia lisov Hovard Bigbaler, Claas Marhant, Vicon HP-1600 a Hesston 4800. Z teoretického porovnania vyplýva, že v našich podmienkach je najvýhodnejšie využitie lisov Hesston 4800 (Maleř, 1986c).

METÓDA

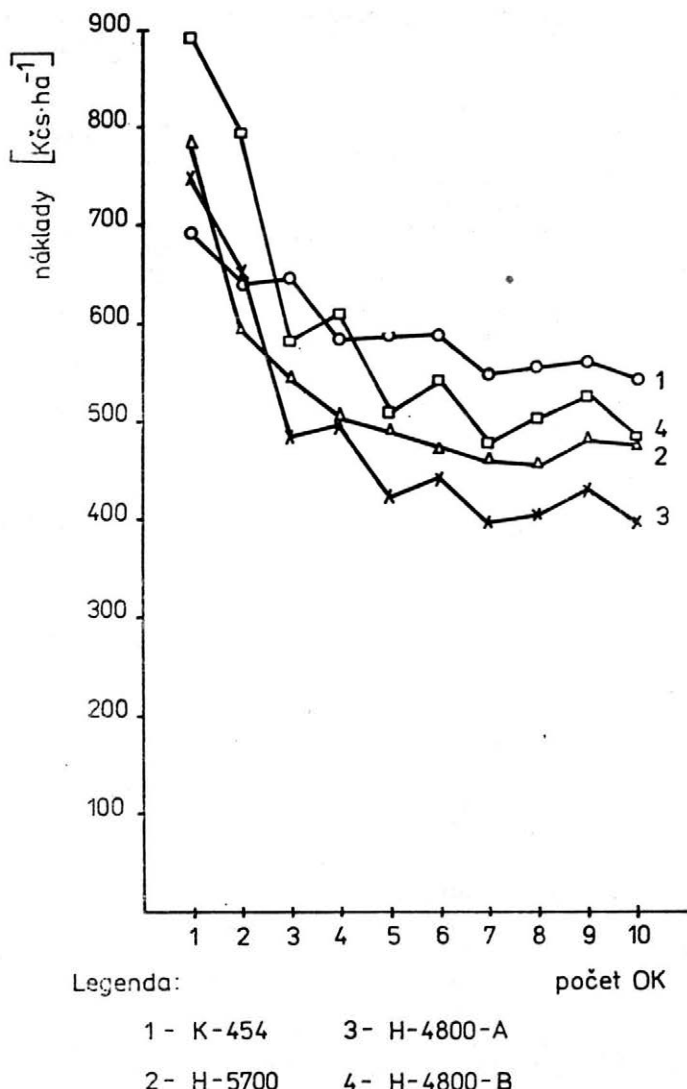
Cieľom práce je tvorba optimálnych variantov komplexov strojov na lisovanie s kľúčovými článkami:

- lis na štandardné balíky K-454,
- lis na valcové balíky Hesston 5700,
- lis na hranolové balíky Hesston 4800 A (nadobúdacia cena 500 000,— Kčs),
- lis na hranolové balíky Hesston 4800 B (nadobúdacia cena 900 000,— Kčs).

Porovnanie jednotlivých liniek sme urobili simulačnou metódou na počítači SPU-800/TNS-S a PMD-85. Program výpočtu vychádza zo základných rysov pôvodného programu na komplexnú prúdovú žatvu (Uriš a i., 1986). Je však upravený tak, aby bolo možné porovnávať lisy. Program je zostavený v jazyku BASIC.

Vstupné údaje pre počítač sú uvedené v tab. I; časť z nich sme získali experimentálnymi meraniami s nasledovným výpočtom štatistických charakteristík náhodných veličín a zákonov rozdelenia veličín. Vyravňovanie a testovanie sme robili na počítači WANG 2200 MWP. Vstupné údaje vzhľadom na nákladovosť sme vypo-

1. Priebek jednotkových prevádzkových nákladov — The course of unit costs of operation



čítali podľa metodiky, ktorú spracoval Špelina (1983). Riešené zostavy komplexov strojov sú uvedené v tab. II.

V matematickom modelovaní sú komplexy strojov zostavované tak, že počet obilných kombajnov sa mení od 1 do 10. Počty dopravných prostriedkov sú vypočítané pre dopravné vzdialenosti od 1 do 10 km, vždy po 1 km. Počet súprav na zber a odvoz slamy sme riešili pre dopravnú vzdialenosť 0,5 km. Vychádzali sme z plnej nadväznosti práce komplexu.

VÝSLEDKY

Súbor výstupných zostáv z počítača SPU-800 TNS-S obsahuje 60 variantov komplexov strojov. Výsledky obsahujú 60 tabuliek. Výsledky z vybraných štyroch variantov sú uvedené v tab. III až VI. Na počítači PMD-85 sme zistili grafický priebeh jednotkových nákladov na komplex strojov. Výsledky obsahujú desať grafických znázornení. Uvádzame grafický priebeh pre vzdialenosť odvozu zrna 10 km (obr. 1).

V. Varianty pre lis na hranolové balíky Hesston 4800 (nadobúdacia cena 500 000 Kčs)
 — Variants for the Hesston 4800 square baler (purchase price 500 000 crowns)

Zostava variantu	$C = 37$
Počet obilných kombajnov	$N = 7$
Výkonnosť skupiny OK ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$)	$W = 11,753$
Koeficient nadväznosti zberu slamy	$K2 = 1,02102$
Počet súprav na zber slamy	$N4 = 4$
Výkonnosť zberu slamy ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$)	$WS = 12$
Koeficient nadväznosti odvozu slamy	$K3 = 1,13333$
Počet DP na odvoz slamy	$N6 = 5$
Výkonnosť odvozu slamy ($\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$)	$WD = 13,6$

Dopravná vzdialenosť (km)	Počet dopravných prostriedkov na odvoz zrna (ks)	Koeficient nadväznosti komplexu strojov	Náklady na zber a odvoz zrna ($\text{Kčs} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Jednotkové náklady na komplex strojov ($\text{Kčs} \cdot \text{ha}^{-1}$)
1	2	1,47482	126,183	393,851
2	2	1,37119	126,183	393,851
3	2	1,28118	126,183	393,841
4	2	1,20225	126,183	393,851
5	3	1,69873	132,479	400,148
6	3	1,60556	132,479	400,148
7	3	1,52208	132,479	400,148
8	3	1,44685	132,479	400,148
9	3	1,37871	132,479	400,148
10	3	1,31670	132,479	400,148

Z analýzy výstupného súboru vyplýva, že najvyššie jednotkové prevádzkové náklady sa dosahujú v komplexe strojov s lisom na štandardné balíky K-454. Pomerne vysoké sú jednotkové prevádzkové náklady v komplexe strojov s lisom na hranolové balíky Hesston 4800 B pri predpokladanej nadobúdacej cene 900 000,— Kčs. Nízke jednotkové prevádzkové náklady sú v komplexe strojov s lisom na valcové balíky Hesston 5700. Najnižšie jednotkové prevádzkové náklady sme na základe modelovania zistili pri komplexe strojov s lisom na hranolové balíky Hesston 4800 A pri variante s nadobúdacou cenou 500 000,— Kčs.

DISKUSIA

Pri porovnaní jednotlivých technológií Maleř (1986) jednoznačne odporúča lis na hranolové balíky Hesston 4800 ako najvýhodnejší pre naše podmienky. Zároveň však poukazuje na značnú zložitost a náročnosť viazacieho ústrojenstva. Vyžaduje sa vysoká presnosť a zároveň trvanlivosť pri značnom namáhaní.

Doterajšie skúsenosti s týmto lisom u nás sú dobré. Pre komplexný prúdový zber zrnín je lis veľkým prínosom.

Z nášho pohľadu je však potrebné zvážiť cenovú reláciu. Lis na hranolové balíky Hesston 4800 je najvýhodnejšou technológiou pri variante A s nadobúdacou cenou do 500 000,— Kčs.

Výsledky z komplexného výstupného súboru v rámci modelovania

VI. Varianty pre lis na hranolové balíky Hesston 4800 (nadobúdacia cena 900 000 Kčs)
— Variants for the Hesston 4800 square baler (purchase price 900 000 crowns)

Zostava variantu	$C = 52$
Počet obilných kombajnov	$N = 7$
Výkonnosť skupiny OK (ha . h ⁻¹)	$W = 11,735$
Koeficient nadväznosti zberu slamy	$K2 = 1,02102$
Počet súprav na zber slamy	$N4 = 4$
Výkonnosť zberu slamy (ha . h ⁻¹)	$WS = 12$
Koeficient nadväznosti odvozu slamy	$K3 = 1,13333$
Počet DP na odvoz slamy	$N6 = 5$
Výkonnosť odvozu slamy (ha . h ⁻¹)	$WD = 13,6$

Dopravná vzdialenosť (km)	Počet dopravných prostriedkov na odvoz zrna (ks)	Koeficient nadväznosti komplexu strojov	Náklady na zber a odvoz zrna (Kčs . ha ⁻¹)	Jednotkové náklady na komplex strojov (Kčs . ha ⁻¹)
1	2	1,47482	126,183	475,533
2	2	1,37119	126,183	475,533
3	2	1,28118	126,183	475,533
4	2	1,20225	126,183	475,533
5	3	1,69873	132,479	481,829
6	3	1,60556	132,479	481,829
7	3	1,52208	132,479	481,829
8	3	1,44685	132,479	481,829
9	3	1,37871	132,479	481,829
10	3	1,31670	132,479	481,829

komplexu strojov a jeho nasadenia ukazujú, že so zvyšovaním nadobúdacej ceny lisu až na úroveň variantu B — 900 000,— Kčs sa veľmi zvyšujú jednotkové prevádzkové náklady komplexu strojov.

ZÁVER

Technológia zberu slamy lisom na hranolové balíky Hesston 4800 je v našich podmienkach veľmi výhodná. Zabezpečuje rýchle odstránenie slamy z poľa. Vzhľadom na novú priemyselnú metódu nasadenia strojov — komplexný prúdový zber zrnín — je technológia zberu slamy lisom Hesston 4800 rozhodujúca.

Z pohľadu nasadenia lisov Hesston 4800 v masovom meradle v podmienkach našej socialistickej poľnohospodárskej veľkovýroby je však veľmi dôležitá nadobúdacia cena stroja, ktorá by mala byť na úrovni variantu A — maximálne 500 000,— Kčs. Tým by sa zabezpečila práca komplexu strojov pri nízkych jednotkových prevádzkových nákladoch.

Literatúra

- DUĐÁK, J. — OSTROŽLÍK, M. — MALER, J.: Modelovanie liniek na lisovanie slamy v rámci komplexného prúdového zberu. [Účelové materiály.] Nitra, Vysoká škola poľnohospodárska 1986.
 ĐURIS, M. — DUĐÁK, J. — OSTROŽLÍK, M.: Modelovanie strojových liniek na komplexný prúdový zber obilnín. Mechaniz. Poľnosp., 1986, č. 8.

ĐURIŠ, M. — OSTROŽLÍK, M. — ĐUĐÁK, J.: Výskum komplexného prúdového zberu zrnín v podmienkach SSR. [Závěrečná správa.] Nitra, Vysoká škola poľnohospodárska 1985. 340 s.
MALER, J.: Porovnání lisů na hranolové velkoobjemové balíky. [Účelové materiály.] Praha, Výzkumný ústav zemědělské techniky 1986a.
MALER, J.: Porovnání linek na lisování stébelnin. [Účelové materiály.] Praha, Výzkumný ústav zemědělské techniky 1986b.
MALER, J.: K využití dovezených lisů na hranolové balíky. [Účelové materiály.] Praha, Výzkumný ústav zemědělské techniky 1986c.
ŠPELINA, M.: Strojní linky v zemědělství a jejich ekonomika. Praha, Státní zemědělské nakladatelství 1983.

Došlo dňa 14. 11. 1986

ДЮРИШ, М. — ДЮДЯК, Й. — ОСТРОЖЛИК, М. (Сельскохозяйственный институт, Нитра): Моделирование линий для прессования соломы в рамках комплексной уборки зерновых. *Zeměd. Techn.*, 33, 1987 (7) : 441-448.

Статья занимается моделированием линий для прессования соломы. В результаты включены прессы для стандартных тюков K-454 и прессы для круглых тюков *Hesston 4800*. Программа для счетно-вычислительных машин SPU-800 TNS-S и PMD-85 была составлена на языке BASIC. Приводим разные варианты составлений линий. Наиболее высокие производительные затраты достигаются в комплексе машин с прессами для стандартных тюков K-454, меньшие затраты — в комплексе машин с прессом для круглых тюков *Hesston 5700*, наименьшие затраты — в комплексе машин для квадратных тюков *Hesston 4800*. Технология является экономически выгодной для цены приобретения до 500 000 крон у прессов *Hesston 4800*. Производство квадратных тюков соломы — удобная технология для промышленного включения машин в рамках комплексной поточной уборки зерновых, а именно быстрая уборка соломы с поля.

прессы; выбор технологий; составление линий

ĐURIŠ, M. — ĐUĐÁK, J. — OSTROŽLÍK, M. (University of Agriculture, Nitra): *Modelling Straw Baling Lines for Complex Grain Harvest*. *Zeměd. Techn.*, 33, 1987 (7) : 441-448.

Modelling of straw-baling lines is analyzed. The K-454 standard balers, the *Hesston 5700* round balers and *Hesston 4800* square balers were included in the modelled lines. The programme for the SPU-800 TNS-S and PMD-85 computers was written in the BASIC language. A number of different variants of machine lines were evaluated. The highest unit costs of operation were found to be required in the complex of machines containing the K-454 standard baler; the costs of operation of the lines with the *Hesston 5700* round baler are lower and the lowest costs were recorded in the line with the *Hesston 4800* square baler. The technology is economically advantageous up to the purchase price of 500 000 Czechoslovak crowns for the *Hesston 4800* baler. The production of square bales of straw is a suitable technology for industrial lines of machines for the complex continuous harvest of cereals because the field is cleared very quickly when this baler is used.

balers; option of technology; machine line systems

Adresa autorov:

Prof. ing. Marko Đuriš, CSc., ing. Jozef Đuďák, ing. Milan Ostrožlík, CSc., Vysoká škola poľnohospodárska, Lomonosovova 2, 949 76 Nitra

INHALT

Bauer F.: Kräfteverhältnisse in Zugstengen des Dreipunktanbaus des Traktors ermittelt mit Hilfe der Labor- und Feldmessungen in bezug auf die Funktion der Kraftregelung	393
Jílek J.: Mathematisches Modellieren der Konvektionstrocknung einer dicken, kompakten, durchgelüfteten Schicht	404
Růžicka J.: Wirksamkeit eines Niederungstemperaturluftkollektors	413
Haš S., Macháčková M., Štefánik F.: Wärmeübertragung in Sonnenkollektoren für die Erwärmung der atmosphärischen Luft	424
Maleř J.: Vergleich der Straßen zum Pressen der Halmfrüchte	439
Đuriš M., Đudák J., Ostrožlík M.: Modellieren der Straßen zum Pressen des Stroh im Rahmen der Komplexernte von Getreidearten (E)	448

Rukopisy odevzdány k tisku 20. 3. 1987 — Podepsáno k tisku 9. 6. 1987

Vědecký časopis ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA • Vydává Československá akademie zemědělská — Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství • Vychází měsíčně • Redaktorka ing. Jovanka Václavíková • Redakce: 120 56 Praha 2, Slezská 7, telefon 257541 • Vytiskl MÍR, Novinářské závody, n. p., závod 6, tř. Lidových milicí 22, 120 00 Praha 2 • © Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha 1987

Rozšiřuje PNS. Informace o předplatném podá a objednávky přijímá každá administrace PNS, pošta, doručovatel a PNS-ÚED Praha, závod 01 — AOT, Kafkova 19, 160 00 Praha 6; PNS-ÚED Praha, závod 02, Obránců míru 2, 656 07 Brno; PNS-ÚED Praha, závod 03, Kubánská 1539, 708 72 Ostrava-Poruba. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS — ústřední expedice a dovoz tisku Praha, závod 01, administrace vývozu tisku, Kafkova 19, 160 00 Praha 6.