

45
VĚDECKÝ ČASOPIS

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

K 15. výročí činnosti Výzkumného ústavu
zemědělské techniky

5

ROČNÍK 12 (XXXIX)
PRAHA,
KVĚTEN 1966
CENA 10 Kčs

ÚSTAV
VĚDECKOTECHNICKÝCH
INFORMACÍ MZLH

Rídí redakční rada

Jan Květoň (předseda), inž. Karel Bernhard, inž. Josef Dovrtěl, inž. Stanislav Haš, inž. Jaroslav Homolka, inž. Karel Joza, doc. inž. Karel Koskuba, CSc., inž. Ján Kuchár, inž. Vladimír Píša, inž. Vladimír Suchý, doc. inž. Zdeněk Štefl, doc. inž. Miroslav Thér, CSc., doc. inž. Ján Tomovčík, CSc., inž. Alois Vávra

Vedoucí redaktor Čeněk Rendl

© Ústav vědeckotechnických informací MZLH, Praha 1966

■
Vědecký časopis ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA uveřejňuje studie, rozborů a vědecká pojednání o vyřešených úkolech výzkumu v oboru zemědělské techniky. Vydává Ústav vědeckotechnických informací ministerstva zemědělství a lesního hospodářství. Vychází měsíčně. Redakce: Praha 2, Slezská 7, telefon 257541-9. Celoroční předplatné Kčs 120,—

■
Научный журнал ЗЕМЕДѢЛЬСКАЯ ТЕХНИКА публикует обзоры, анализы и научные статьи о разрешенных заданиях по научному исследованию в области сельскохозяйственной техники. Издает Институт научно-технической информации Министерства сельского и лесного хозяйства. Выход в свет ежемесячно. Редакция Прага 2, Слезска 7.

■
The scientific journal ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA publishes studies, analyses and scientific treatises about the solved research tasks in the line of the agricultural mechanization. Published by the Institute of Scientific and Technical Information of the Ministry of Agriculture and Forestry Management. Issued monthly. Editorial office Prague 2, Slezská 7.

■
Die wissenschaftliche Zeitschrift ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA veröffentlicht Studien, Analysen und wissenschaftliche Abhandlungen über die gelösten Forschungsaufgaben auf dem Gebiete der Landtechnik. Herausgegeben vom Institut für wissenschaftlich-technische Informationen des Ministeriums für Land- und Forstwirtschaft. Erscheint monatlich. Redaktion Prag 2, Slezská 7.

■
Le journal scientifique ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA publie les études, analyses et traités scientifiques concernant les tâches de recherches résous dans le domaine de technique agricole. Publié par l'Institut des renseignements scientifiques et techniques du Ministère de l'agriculture et des forêts. Paraît une fois par mois. Rédaction Prague 2, Slezská 7.

Výzkumný ústav zemědělské techniky oslaví v letošním roce 15. výročí svého trvání. Za dobu své existence se ústav, původně zaměřený především na zkoušení zemědělských strojů, stal předním vědeckovýzkumným pracovištěm v oboru zemědělské techniky a jedním z hlavních pracovišť vědeckovýzkumné základny zemědělského výzkumu. V průběhu činnosti ústavu se stále zřetelněji projevovala potřeba zvýšení úrovně výzkumné práce při zkoumání nejuhodnějších principů mechanizace zemědělské velkovýroby a potřeba mnohem užšího sepětí mechanizačního výzkumu s ostatními obory zemědělského výzkumu, umožňujícího zkoumání vzájemných vlivů jednotlivých faktorů výrobního procesu, jehož je mechanizace ve velkovýrobě základní a nedílnou součástí.

Tak se v procesu budování našeho výzkumného pracoviště současně formovalo nové odvětví zemědělského výzkumu — výzkum zemědělské techniky, zabývající se všemi stránkami technologického procesu, tedy zkoumáním vlastností vyráběných materiálů a pracovního prostředí ve vztahu k výrobním nástrojům a k organizaci pracovního procesu. Takto formulovanou výzkumnou činnost považujeme za určitý mezní obor, v němž na sebe navazují čistě biologické úseky zemědělského výzkumu, užitá fyzika a technické vědy. Syntetický charakter výzkumné práce je podtržen technicko-ekonomickými a organizačními pohledy na využití zemědělské techniky.

Kromě aplikačního výzkumu, jehož cílem je formulace technologických požadavků na komplexní mechanizaci jednotlivých odvětví zemědělské výroby a hledání cest dalšího růstu produktivity práce, se stále větší měrou rozvíjí základní výzkum specifických technologických vlastností zemědělských hmot a materiálů. Tomu odpovídá i růst úrovně teoretické práce a rozvoj exaktních experimentálních metod.

V oblasti rostlinné a živočišné výroby se těžiště prací soustřeďuje na zjišťování základních činitelů ovlivňujících výrobní proces, tj. určení fyzikálně mechanických vlastností zpracovávaných materiálů, a na shrnutí těchto poznatků do agrotechnických a zootechnických požadavků na pracovní vlastnosti zemědělských strojů. Zvláštní pozornost je věnována syntéze agrotechnických požadavků a for-

mulaci racionálních technologických postupů a požadavků na technologické linky pro tyto výrobní postupy. Z druhé strany nabývá stále větší důležitosti stanovení obecných technických požadavků na šlechtění a agrotechniku plodin tak, aby v dlouhodobé perspektivě bylo možno některé důležité vlastnosti biologických objektů přizpůsobit potřebám ještě vyššího uplatnění techniky.

Technologický výzkum je úzce spjat s výzkumem energetiky pracovních procesů, ať již jde o stanovení nejvýhodnějších energetických zdrojů, nebo o zjištění celkových energetických bilancí.

Perspektivnější charakter má výzkum automatizace, která bezprostředně naváže na komplexní mechanizaci pracovních procesů. Již dnes je třeba vytvářet předpoklady pro automatizaci určitými úpravami pracovních procesů. Současně jsou podrobně zkoumány jednotlivé prvky automatizace z hlediska jejich uplatnění ve specifickém zemědělském prostředí.

Ústav dále řeší velmi důležité syntetické úkoly při dalším zpřesňování soustavy komplexně mechanizovaných velkovýrobních technologií. Na tuto práci úzce navazuje výzkum provozního a technického využití strojů.

Práce publikované v tomto čísle Zemědělské techniky shrnují vzhledem k jeho rozsahu pouze některé výsledky činnosti VÚZT z posledního období a zabývají se převážně fyzikálními vlastnostmi zemědělských materiálů ve vztahu k pracovním mechanismům. Avšak i tento poměrně malý úsek poskytuje představu o charakteru, metodách a úrovni výzkumné práce ústavu v 15. roce jeho existence.

Adresa autora:

Miroslav Preininger, Výzkumný ústav zemědělské techniky, Řepy u Prahy

■ Granulovaná průmyslová hnojiva jsou perspektivní formou úpravy tuhých průmyslových hnojiv, která přináší značné zlepšení jejich vlastností z hlediska manipulace, skladování i rozmetání. Chovají se totiž po určitou dobu, jejíž délka je ovlivněna mnoha faktory, jako sypký materiál; to již samo o sobě vede k zjednodušení úkonů při manipulaci a k užívání jednodušších mechanismů při jednotlivých pracovních operacích.

Předkládaná práce je věnována výzkumu vlastností granulovaných hnojiv v té oblasti, kde se chovají jako sypký materiál.

CHARAKTERISTIKA POUŽITÉHO MATERIÁLU

Pro zkoušky bylo použito průmyslových hnojiv dodaných VÚANACH, Ústí nad Labem, v papírových pytlích. Pro porovnání byla tato hnojiva doplněna holandským granulovaným hnojivem KORMIX ze skladu účelového hospodářství VÚZT. V průběhu pokusů byla hnojiva skladována v původních papírových pytlích, do nichž byla po jednotlivých pokusech vrácena, nebyla-li při pokusech znehodnocena nebo zničena.

Použitá granulovaná hnojiva (tab. I):

NPK: SCHZ, Lovosice, ČSSR.

Složení: 9—10 % N

10,5—12,5 % P_2O_5

17,5—19,5 % K_2O

4—5 % $MgSO_4$

Vlhkost: $W = 4,3—6,15\%$

KORMIX: N. V. Zuid-Chemie, Sas Van Gent, Holland.

Složení: 20 % N

10 % P_2O_5

10 % K_2O

Vlhkost: $W = 3,7—5,6\%$

Ledek: SCHZ, Lovosice, ČSSR.

Složení: minimálně 25 % N

Vlhkost: $W = 3,0—5,1\%$

I. Granulometrické složení hnojiv

NPK	max. (mm)	5	3	2	1	0,5	0,25
	%	5,3	48,8	38,3	7,3	0,2	0,1
KORMIX	max. (mm)	3	2	1	0,5	0,25	
	%	44,3	32,3	19,5	3,6	0,3	
Ledek	max. (mm)	3	2	1	0,5	0,25	pod 0,25
	%	2,0	37,1	53,4	6,3	0,9	0,3

SYPNÁ HMOTNOST

Sypná hmotnost byla stanovena volným nasypáváním do odměrné nádoby o obsahu 5 l a zvážení. Pokus byl proveden tak, že pro postupné vážení bylo použito asi 100 kg materiálu z namátkově vybraných pytlů.

V tabulce II jsou uvedeny charakteristiky souborů pro jednotlivé druhy hnojiv.

II. Sypné hmotnosti hnojiv

Druh materiálu	Střední hodnota $\bar{\rho}$ (kg/dm ³)	Směrodatná odchylka σ	Směrodatná odchylka střední hodnoty $\hat{\sigma}_{\bar{\rho}}$	Spolehlivost pro $p = 95 \%$
NPK	1,147	0,014	0,004	1,138 + 1,156
KORMIX	0,939	0,007	0,002	0,935 + 0,943
Ledek	0,919	0,010	0,003	0,913 + 0,925

Interval spolehlivosti pro průměr základního souboru byl zvolen s pravděpodobností 95 % a stanoven podle V. Myslivce [3].

Z tabulky II je zřejmé, že změny sypné hmotnosti jsou velmi malé (minimální rozsahy intervalu spolehlivosti odhadu základního souboru). Největší sypnou hmotnost má NPK, nejmenší ledek.

ZÁVISLOST MEZEROVITOSTI NA SYPNÉ HMOTNOSTI

Mezerovitost je velmi důležitou vlastností granulovaných průmyslových hnojiv. Definujeme ji jako poměr nevyplněného objemu k celkovému objemu zaujatému hmotností. Udává se v procentech.

Mezerovitost byla určena pomocí měrné hmotnosti stanovené pyknometrickou metodou. Pro tuto měrnou hmotnost byla mezerovitost položena $M = 0$.

Střední hodnoty měrných hmotností pro jednotlivá hnojiva jsou uvedeny v tabulce III.

III. Měrné hmotnosti granulovaných průmyslových hnojiv pyknometrickou metodou

NPK (g/cm ³)	KORMIX (g/cm ³)	Ledek (g/cm ³)
2,165	1,716	1,757

Z těchto hodnot je možno stanovit graf závislosti (obr. 1) a z něho odečítat příslušnou mezerovitost pro jednotlivé sypané hmotnosti. Například: mezerovitost volně sypaných granulovaných hnojiv, používaných při zkouškách, pro hodnoty sypaných hmotností z tabulky II je uvedena v tabulce IV.

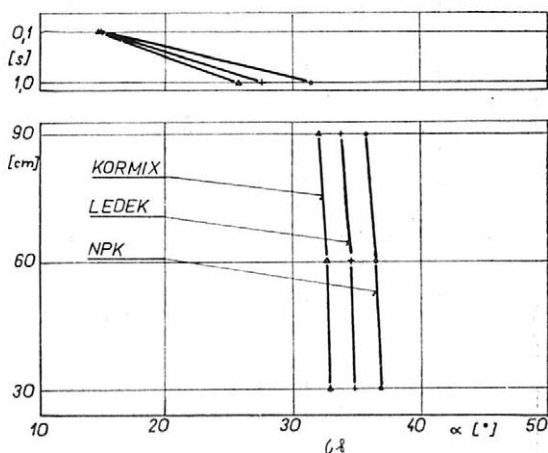
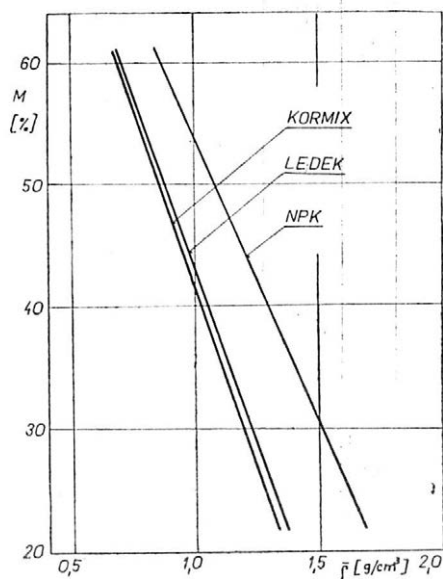
IV. Mezerovitost volně sypaných granulovaných hnojiv (sypaná hmotnost pro spolehlivost $p = 95 \%$)

NPK $M (\%)$	KORMIX $M (\%)$	Ledek $M (\%)$
47,2 – 46,4	45,2 – 44,8	48,0 – 47,1

ÚHEL PŘIROZENÉHO SESYPU

Úhel přirozeného sesypu byl měřen volným sypaním ca 25 kg materiálu s různých výšek na ocelovou podložku. Sklon stěn vzniklého kužele byl změřen ve třech rovinách po 120° ocelovým dílenským úhloměrem. Výšky sesypu byly zvoleny 30, 60 a 90 cm.

Mimo závislost na výšce sesypu byla ještě ověřena závislost s okamžitým vysypáním většího množství hnojiva. Aby bylo možno alespoň informativně uplat-



2. Sdružený diagram změny úhlu přirozeného sesypu se změnou času pro vyprázdnění stejného množství a se změnou výšky sesypu

1. Závislost mezerovitosti na sypané hmotnosti granulovaných průmyslových hnojiv

V. Úhly přirozeného sesypu

Druh materiálu	Výšky sesypu (cm)											
	30				60				90			
	$\bar{a}$	σ	$\hat{\sigma} \bar{a}$	spolehlivost $p = 95 \%$	$\bar{a}$	σ	$\hat{\sigma} \bar{a}$	spolehlivost $p = 95 \%$	$\bar{a}$	σ	$\hat{\sigma} \bar{a}$	spolehlivost $p = 95 \%$
NPK	36,80	1,49	0,38	36,06 – 37,54	36,47	1,25	0,32	35,84 – 37,00	35,93	1,23	0,32	35,30 – 36,56
KORMIX	32,87	1,02	0,26	32,61 – 33,38	32,57	1,20	0,31	31,96 – 33,18	30,97	2,16	0,56	29,87 – 31,77
Ledek	34,70	1,78	0,46	33,80 – 35,60	34,51	2,08	0,54	33,45 – 35,57	33,97	2,10	0,54	32,91 – 34,03
Druh materiálu	Čas vysypání											
	1 s				0,1 s							
	$\bar{a}$	σ	$\hat{\sigma} \bar{a}$	spolehlivost $p = 95 \%$	$\bar{a}$	σ	$\hat{\sigma} \bar{a}$	spolehlivost $p = 95 \%$				
NPK	31,60	0,83	0,21	31,19 – 32,01	14,93	1,20	0,31	14,32 – 15,54				
KORMIX	25,70	2,50	0,65	24,43 – 26,97	14,27	1,65	0,43	13,43 – 15,11				
Ledek	26,17	3,37	0,87	24,47 – 27,87	14,67	1,98	0,51	13,67 – 15,67				

nit časový faktor, měřilo se tak, že na podložce stojící komolý kužel bez dna s volně nasypáným hnojivem byl dvěma různými rychlostmi vytažen vzhůru a hnojivo se rozsypalo po podložce. V prvním případě trvalo vytažení a tím i vyprázdnění kužele ca 1 s a v druhém případě ca 0,1 s.

Charakteristiky naměřených souborů podle druhů hnojiva jsou uvedeny v tabulce V.

Spolehlivosti intervalu základního souboru jsou určeny obdobně jako ve stati o sypné hmotnosti.

Z grafického znázornění středních hodnot úhlů přirozeného sesypu (sdružený diagram na obr. 2) v závislosti na výšce sesypu a čase vysypání je zřejmý mírný pokles úhlu s rostoucí výškou sesypu a prudký pokles s dobou vysypání.

Je tedy možno říci, že pro zmenšení nevyužitého prostoru v kontejnerech nebo bunkrech je vhodné použít při jejich plnění prostředku, který naráz vysepe větší množství materiálu.

KOEFICIENT VNĚJŠÍHO TŘENÍ

Koeficient tření sypkých materiálů po tvrdé podložce lze vyjádřit přibližně podle Coulombova zákona a průběh experimentálně sledovat na vodorovném tribometru vyvažováním síly tření.

U materiálu obdobného charakteru jako jsou granule průmyslových hnojiv je však třeba věnovat pozornost otázce vzájemného vztahu koeficientu tření po podložce a koeficientu vnitřního třetí. Je-li totiž součet tečných sil po obvodu

VI. Charakteristiky souborů koeficientů statického tření

Hnojivo	Podložka	Volné granule				Fixované granule			
		$\bar{f}$	σ	$\hat{\sigma}_f$	μ 95%	$\bar{f}$	σ	$\hat{\sigma}_f$	μ 95%
NPK	ocel	0,70	0,10	0,02	0,66–0,74	1,14	0,17	0,04	1,06–1,22
	dřevo	0,89	0,19	0,04	0,81–0,97	1,04	0,22	0,05	0,94–1,14
	novodur	0,61	0,17	0,04	0,53–0,69	0,90	0,11	0,02	0,86–0,94
	guma	0,83	0,19	0,04	0,75–0,91	—	—	—	—
KORMIX	ocel	0,77	0,14	0,03	0,71–0,83	1,07	0,03	0,01	1,05–1,09
	dřevo	0,78	0,55	0,01	0,76–0,80	0,85	0,19	0,04	0,77–0,93
	novodur	0,59	0,17	0,04	0,51–0,68	0,81	0,09	0,02	0,77–0,85
	guma	0,70	0,29	0,09	0,52–0,88	—	—	—	—
Ledek	ocel	0,79	0,06	0,01	0,77–0,81	0,91	0,05	0,01	0,89–0,93
	dřevo	0,78	0,02	0,01	0,76–0,80	0,02	0,04	0,01	0,00–1,04
	novodur	0,75	0,07	0,02	0,71–0,79	0,92	0,15	0,03	0,86–0,98
	guma	0,69	0,10	0,03	0,63–0,75	—	—	—	—

granule na stykových ploškách s ostatními granulemi menší než síla tření ve styku granule s podložkou, nedojde na podložce k smykovému tření, ale k těžko definovatelné kombinaci tření smykového a valivého. Problém je o to složitější, že k odvalování granulí dojde v celé vrstvě materiálu.

Z tohoto hlediska bylo přistoupeno k měření koeficientu tření dvěma způsoby:

- a) měřením na volně nasypáných granulích v měřicí krabici,
- b) měřením na fixovaných granulích proti otáčivému pohybu.

V obou případech byl měřen pouze koeficient tření za klidu. Pro volně nasypané granule byla používána obdélníková krabice z tvrdého papíru s náplní přibližně 100 g. K fixování bylo použito přibližně stejných granulí, které byly zatlačeny do tuhnutí dentakrylu pomocí rovné destičky tak, aby asi polovina granulí volně vyčnívala.

Měřilo se na běžných neupravených podložkách, jakých se používá v provozních podmínkách.

Jednotlivé druhy měření byly dvacetkrát opakovány, výsledky byly statisticky zpracovány a charakteristiky souborů jsou uvedeny v tabulce VI.

Z tabulky je zřejmé, že koeficient statického tření je všeobecně menší pro granule volné než pro granule fixované. Tuto skutečnost je možno vysvětlit tím, že koeficient vnitřního tření je ve všech případech menší než 0,6 a u volných granulí tedy při tření o podložku dochází k odvalování granulí na podložce. Jak již bylo naznačeno na počátku této kapitoly, nelze tedy u volných granulí mluvit o čistém smykovém tření.

Hodnoty uváděné v tabulce VI odpovídají koeficientům tření za klidu. Velikosti koeficientů tření za pohybu jsou vždy menší než koeficienty tření na klidu. Podle P. L. Z e n k o v a [5] dosahuje velikost koeficientu tření za pohybu asi 70—90 % velikosti koeficientu tření sypkého materiálu nacházejícího se v klidu.

KOEFICIENT VNITŘNÍHO TŘENÍ

Úhel vnitřního tření φ je definován vztahem

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{\sigma} = f_v$$

kde: τ = smyková pevnost

σ = normální napětí

f_v = koeficient vnitřního tření

Tento vztah platí pro nesoudržný (sykky) materiál. Jde-li o materiál soudržný, přechází rovnice do tvaru

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\tau}{c + \sigma}$$

kde: c = soudržnost

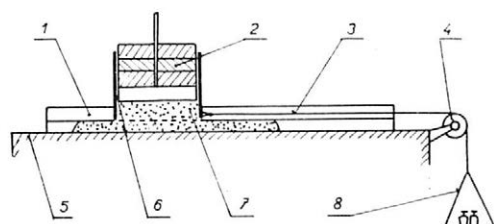
Tyto hodnoty je možno stanovit na upraveném horizontálním tribometru (obr. 3) změřením síly tření při různém normálním napětí.

Při našich zkouškách bylo zvoleno takové napětí, abychom dosáhli maximálního měrného tlaku asi 0,25 kp/cm² a u malých měrných tlaků více naměřených hodnot k přesnějšímu určení průběhu závislosti σ , τ v této oblasti.

Střední hodnoty z naměřených třecích sil a hodnoty potřebné pro stanovení úhlu vnitřního tření jsou uvedeny v tabulce VII.

VII. Úhly vnitřního tření granulovaných průmyslových hnojiv

NPK					KORMIX					Ledek				
N (kp)	T (kp)	σ 10^2 (kp/cm 2)	τ 10^2 (kp/cm 2)	tg φ	N (kp)	T (kp)	σ 10^2 (kp/cm 2)	τ 10^2 (kp/cm 2)	tg φ	N (kp)	T (kp)	σ 10^2 (kp/cm 2)	τ 10^2 (kp/cm 2)	tg φ
0,598	0,561	0,529	0,495	0,927	0,648	0,735	0,573	0,650	1,134	0,468	0,535	0,514	0,473	1,143
1,098	0,795	0,971	0,703	0,724	1,148	0,865	1,016	0,765	0,735	0,968	0,835	0,856	0,739	0,863
1,598	1,055	1,414	0,926	0,660	1,648	1,235	1,458	1,093	0,749	1,468	0,965	1,299	0,854	0,657
2,098	1,135	1,856	1,004	0,541	2,148	1,195	1,900	1,083	0,556	1,968	1,225	1,741	1,084	0,622
2,598	1,465	2,298	1,296	0,564	2,648	1,565	2,343	1,385	0,591	2,468	1,595	2,183	1,411	0,646
3,098	1,965	2,741	1,740	0,636	3,148	1,985	2,785	1,756	0,631	2,968	1,975	2,626	1,747	0,665
5,598	3,295	4,952	2,915	0,589	5,648	3,135	4,996	2,773	0,555	5,468	3,265	4,837	2,888	0,597
10,598	5,825	9,375	5,153	0,550	10,648	5,695	9,420	5,038	0,535	10,468	6,065	9,260	5,365	0,579
15,598	8,895	13,799	7,869	0,570	15,648	8,295	13,843	7,338	0,530	15,468	9,065	13,684	8,019	0,586
25,598	15,496	22,645	13,708	0,605	25,648	14,565	22,689	12,839	0,565	25,468	14,265	22,530	12,619	0,560



3. Použitý přístroj pro měření úhlu vnitřního tření

1 – vodící listy z ohýbaného plechu, 2 – závaží, 3 – tažné lanko, 4 – kladka, 5 – pevná podložka, 6 – měřicí nádobka, 7 – zkoušený materiál, 8 – miska se závažím

Z grafu závislosti σ , τ je zřejmé, že při minimálních hodnotách dochází k určitému poklesu křivek a potom teprve průběh lineárně stoupá. Je to určitá obdoba, která se objevuje také u zkoušek smykových pevností písků [1].

Abychom mohli určit velikosti konstanty c a přesně tak posoudit chování zkoušených materiálů, je třeba vypočítat rovnice závislosti σ , τ pro jednotlivé druhy průmyslových hnojiv.

Rovnice byly vypočteny metodou nejmenších čtverců pro přímky tvaru

$$10^2 \tau = a + b 10^2 \sigma$$

kde a , b jsou empirické koeficienty

Vypočtené hodnoty koeficientů a , b jsou uvedeny v tabulce VIII.

VIII. Empirické koeficienty závislosti σ , τ

	NPK	KORMIX	Ledek
a	0,0015	0,146	0,218
b	0,591	0,545	0,556

IX. Závislost koeficientu vnitřního tření průmyslových hnojiv na měrném tlaku

Měř.	Kormix		Ledek		NPK	
	f_v	$\frac{p}{(\text{kp}/\text{cm}^2)}$	f_v	$\frac{p}{(\text{kp}/\text{cm}^2)}$	f_v	$\frac{p}{(\text{kp}/\text{cm}^2)}$
1	1,134	0,0057	1,143	0,0042	0,927	0,0053
2	0,753	0,0102	0,863	0,0086	0,724	0,0097
3	0,749	0,0146	0,657	0,013	0,660	0,0141
4	0,556	0,0190	0,622	0,0174	0,541	0,0185
5	0,591	0,0234	0,646	0,0219	0,564	0,023
6	0,631	0,0279	0,665	0,0263	0,636	0,0274
7	0,555	0,050	0,597	0,051	0,589	0,0495
8	0,535	0,093	0,579	0,0925	0,550	0,0935
9	0,530	0,138	0,586	0,137	0,570	0,138
10	0,565	0,227	0,560	0,216	0,605	0,226

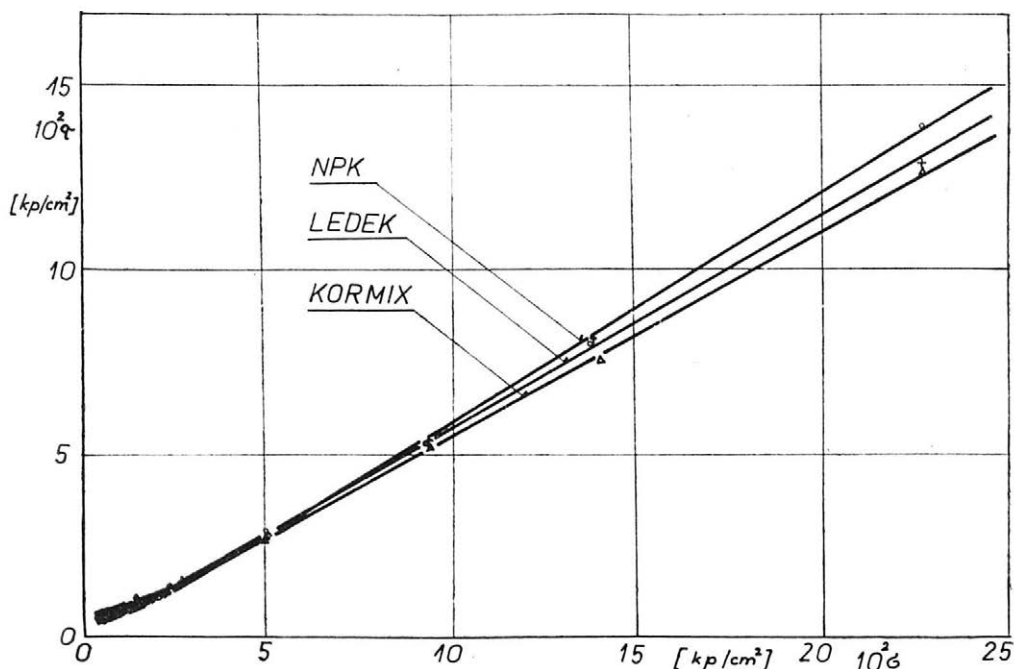
Hledanou soudržnost obdržíme, položíme-li $\sigma = 0$. Pak

$$\tau_0 = c = a \cdot 10^{-2}$$

Minimální soudržnost tedy projevuje NPK, pak KORMIX a ledek (tab. VIII). Celkově jsou však hodnoty c velmi malé, takže je možno zkoumaná granulovaná hnojiva přibližně považovat v této oblasti za sypká.

Za střední hodnotu koeficientu vnitřního tření je možno přímo považovat empirický koeficient b z tabulky VIII.

Jak již bylo řečeno, není závislost σ , τ v celém rozsahu lineární, i když ji v přiblížení za lineární považujeme. Nelinearita se projevuje zvláště při minimálních hodnotách (obr. 4). Výrazněji se např. projeví při závislosti koeficientu vnitřního tření na měrném tlaku (tab. IX).



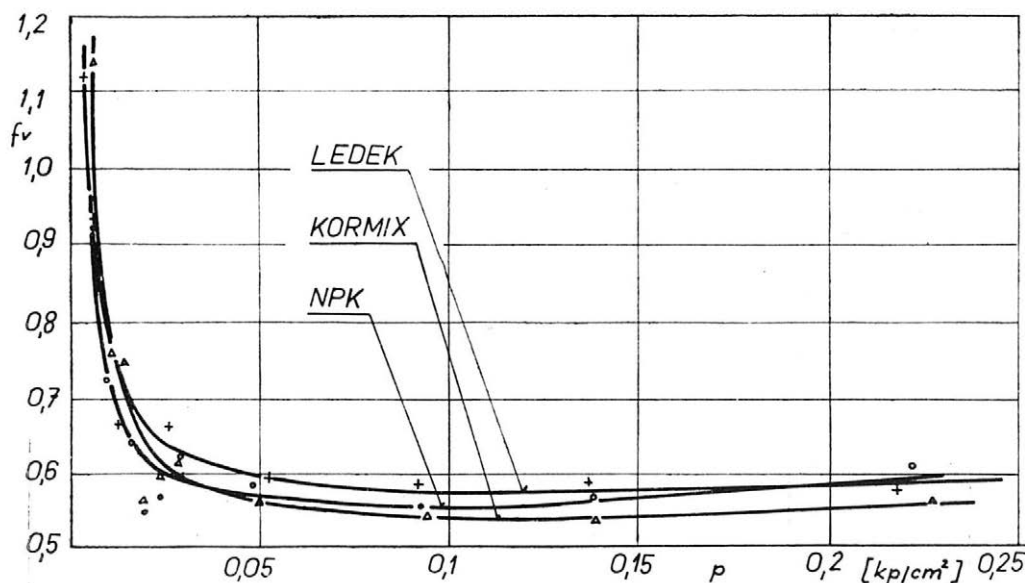
4. Závislost smykové pevnosti granulovaných průmyslových hnojiv na svislém napětí

Při minimálním měrném tlaku (asi do 0,03 kp/cm²) se projevuje prudký pokles koeficientu vnitřního tření a nad tuto hodnotu vcelku zachovává konstantní hodnotu (obr. 5).

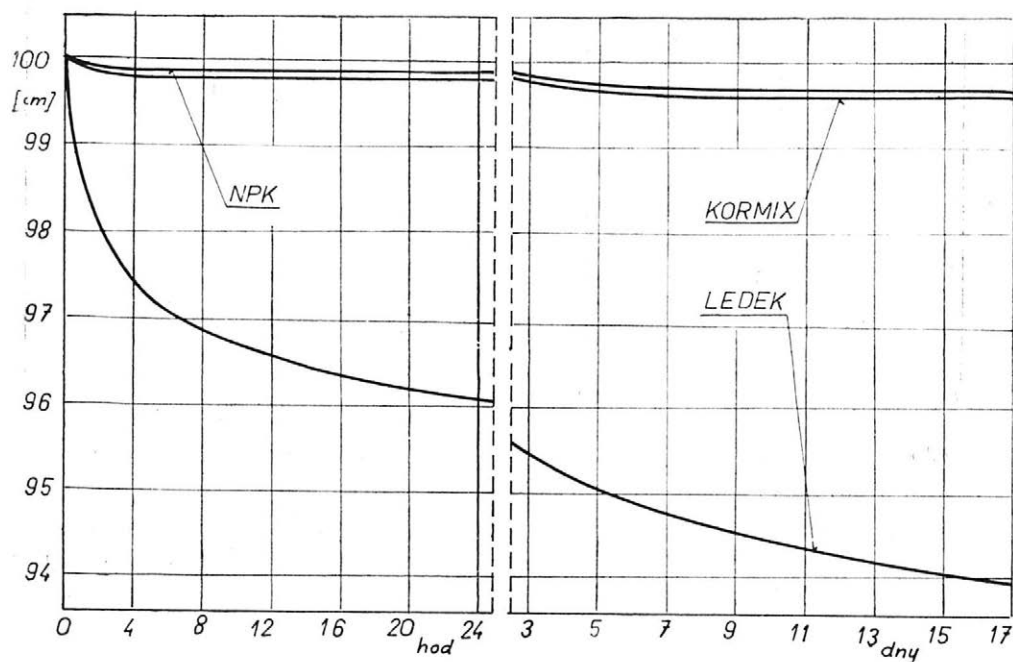
SAMOVLNÉ SLEHÁVÁNÍ VE VRSTVĚ 1 m

Jednotlivé sledované druhy průmyslových hnojiv byly volně nasypány do skleněných silnostěnných válců, opatřených stupnicí do výšky 1 m. Nejdříve bylo slehávání odečítáno po jedné hodině, později se interval čtení posunul postupně až na 24 hodiny.

Naměřené hodnoty jsou graficky znázorněny na obrázku 6.



5. Závislost vnitřního tření granulovaných průmyslových hnojiv na měrném tlaku



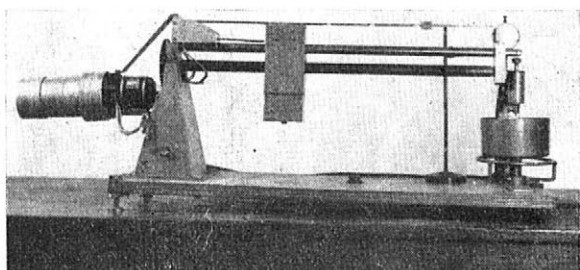
6. Samovolné slehávání granulovaných průmyslových hnojiv ve vrstvě 1 m

NPK a KORMIX se slehávají minimálně proti ledku, který se slehává dosti intenzívně. Za 24 hodiny se NPK slehne asi o jedno promile, KORMIX o dvě promile a ledek téměř o čtyři procenta. Po 14 dnech se NPK slehne asi o 3,5 promile, KORMIX o 4 promile a ledek asi o 6 procent.

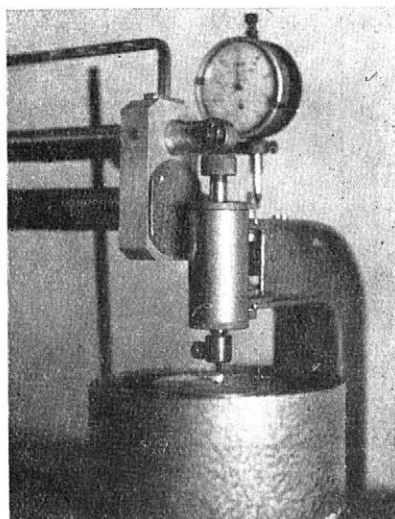
STATICKÁ DEFORMACE JEDNOTLIVÝCH GRANULÍ S RŮSTEM ZATÍŽENÍ

Tato hodnota charakterizuje odolnost granulí jednotlivých hnojiv proti deformacím, které vznikají v místech vzájemného styku granulí a v místech dotyku granulí s cizím prostředím (např. stěna zásobníku atd.).

K stanovení této hodnoty bylo použito přístroje používaného při výzkumu pevnosti okopanin (J. Sedláček), opatřeného indikátorovými hodinkami. Na obrázku 7 je celkový pohled na přístroj, na obrázku 8 je detail s uspořádáním indikátorových hodin a s vloženou granulí průmyslového hnojiva.



7. Přístroj pro měření statické deformace granulí s růstem zatížení



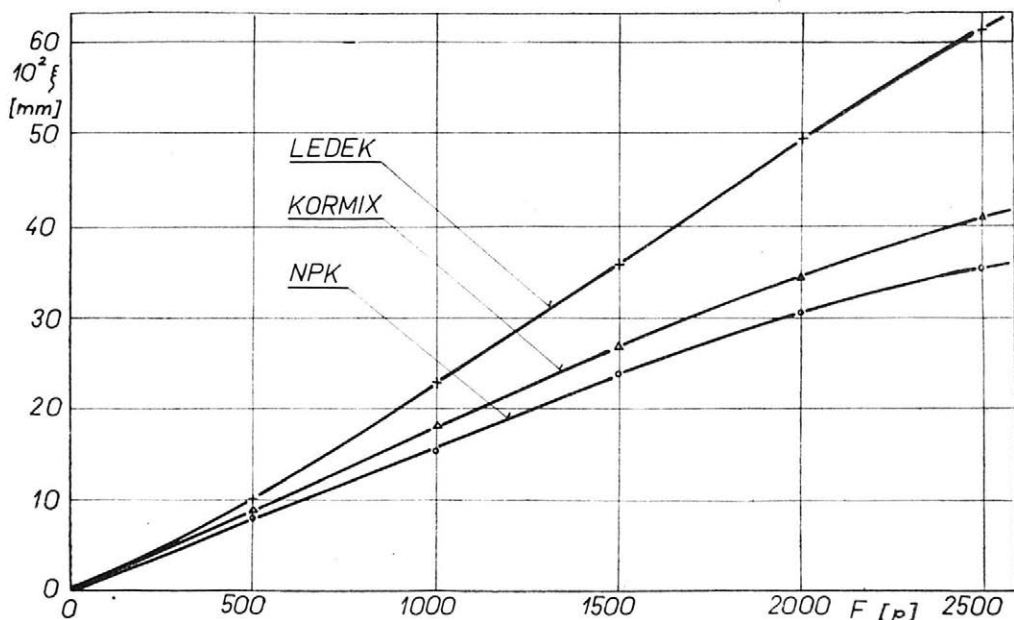
8. Uspořádání indikátorových hodin

Velikost deformace byla odečítána při každém zvětšení zátěže o 500 pondů. Střední hodnoty deformací jsou uvedeny v tabulce X.

Zpřístupníme-li sledovanou závislost graficky (obr. 9), je zřejmé, že granule ledku mají nejméně příznivý průběh, zvláště při vyšších zátěžích. Tato vlastnost je tím nepříznivější, že granule ledku jsou z porovnávaných průmyslových hnojiv nejmenší.

X. Deformace granulí průmyslových hnojiv se zatížením

Zatížení (p)	NPK ξ (10^{-2} mm)	KORMIX ξ (10^{-2} mm)	Ledek ξ (10^{-2} mm)
0	0	0	0
500	7,0	8,7	9,4
1000	15,2	18,0	22,6
1500	23,5	26,8	35,7
2000	30,2	34,0	49,2
2500	35,3	41,0	61,2



9. Růst statické deformace granulí se zvětšujícím se zatížením

VLIV MANIPULACE NA ROZMÍSTĚNÍ GRANULÍ

Vzhledem k požadované rovnoměrnosti rozmetání granulovaných hnojiv je vhodné, aby rozmístění granulí podle velikostních tříd zůstávalo konstantní, tj. aby při manipulaci nedocházelo k samovolnému vytřídění jednotlivých velikostních tříd.

Tento jev byl experimentálně sledován na granulovaném NPK, v němž byly ponechány pouze dvě složky: granule ≥ 2 mm a ≤ 4 mm.

Nejprve byla na experimentálním vibračním zařízení imitována doprava s těmito parametry:

otáčky budičů kmitů	500 ot./min
amplituda	1 mm
sklon budicí síly	65°
čas imitované dopravy	10 min

Ve druhé fázi byla naznačena obecná manipulace 10krát opakovaným přespáním zkoušeného materiálu z výšky 0,5 m.

Použití měřicího zařízení a metodika zkoušek

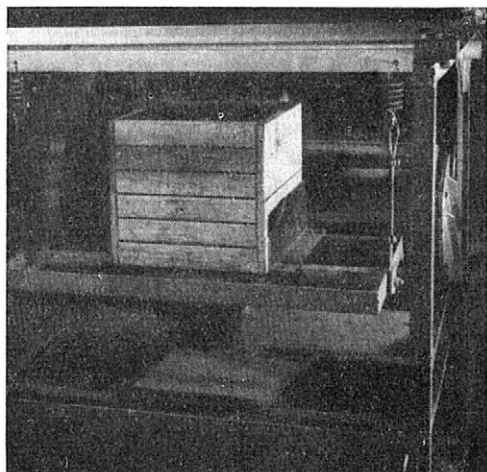
Jako základní měřicí pomůcky bylo použito speciální nádrže (obr. 10) upravené tak, aby ji bylo možno rozdělit horizontálními plechy na jednotlivé sekce. Výška těchto sekcí byla zvolena 50 mm, vnitřní světlost 300 × 300 × 300 milimetrů.

Nádrž byla plněna takto:

Do každé jednotlivé sekce 50 mm výšky bylo naváženo 50 % granulí ≥ 2 mm a 50 % granulí ≥ 4 mm a vždy po naplnění a promíchání materiálu v jednotlivé sekci byla od další oddělena zasunutím dělicího plechu; postupně

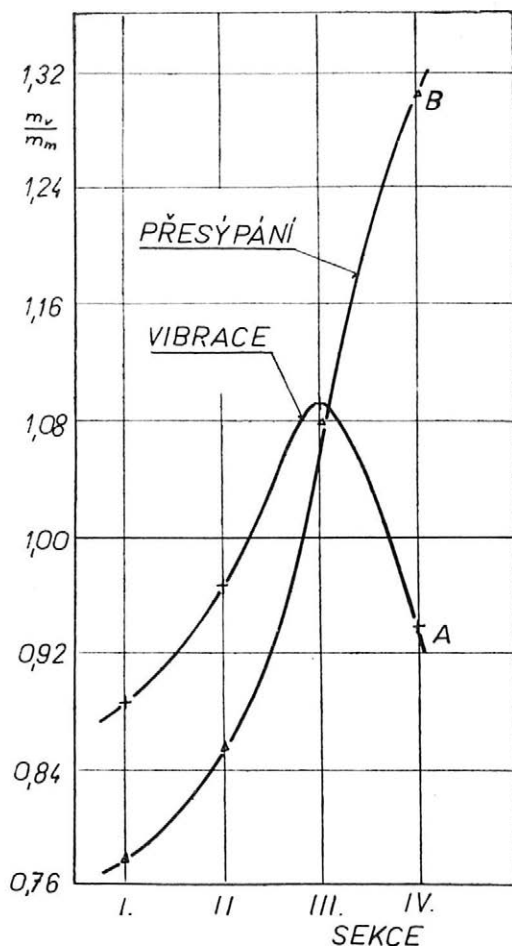
od spodu byly tak vždy naplněny čtyři sekce. Dělicí plechy byly pak vytaženy a nádrž byla připravena k další manipulaci.

Nádrž byla buď upevněna na vibrační stoličce pro napodobení dopravy, nebo byl materiál přesypáván. Po ukončení naznačených procesů byly opět jednotlivé sekce odděleny vsunutím dělicích plechů a pomocí prosévacího zařízení byly jednotlivé sekce granulometricky zjišťovány. Jednotlivá měření byla pětikrát opakována.



10. Nádrž pro sledování rozmístění granulí vlivem manipulace na vibračním zařízení

11. Rozmístění granulí v nádrži vlivem manipulace →



Výsledné hodnoty poměru hmotnosti velkých granulí m_v k hmotnosti malých granulí m_m jsou uvedeny v tabulce XI.

XI. Poměr hmotnosti velkých a malých granulí

$\frac{m_v}{m_m}$	Sekce			
	I	II	III	IV
Doprava	0,884	0,965	1,093	0,937
Přesýpání	0,777	0,854	1,080	1,304

Pro posouzení je přehlednější grafické znázornění na obrázku 11. Křivka *A* znázorňuje poměr $\frac{m_v}{m_m}$ pro dopravu, křivka *B* pro přesypání.

V prvních třech sekcích mají křivky *A* i *B* podobný charakter; ve čtvrté sekci dochází u křivky *A* k zlomu s poklesem, zatímco křivka *B* stále plynule stoupá. U dopravy se tedy změnilo rozmístění granulí tak, že v prvních dvou sekcích je více malých, v třetí velkých a ve čtvrté opět malých granulí. U přesypání je v prvních dvou sekcích větší počet malých granulí a ve vrchních dvou sekcích větší počet granulí velkých.

Celkově zde zřejmě jde o obecný jev přemísťování malých granulí při jakékoliv manipulaci do spodních vrstev, tedy o samovolné vytrídění, jehož průběh bude obecně odpovídat křivce *B*. Zdánlivou nelogičnost zlomu křivky *A* je možno vysvětlit zvláštním pohybem, který nastal v materiálu na vibrační stolici v důsledku toho, že budicí síla nesvírala s horizontálou pravý úhel. Dopravním účinkem, způsobeným sklonem budicí síly, zde totiž docházelo k určité cirkulaci materiálu v nádrži; část vytríděných malých granulí se tak neustále přemísťovala podél zadní stěny do horní vrstvy a vpředu opět podél stěny klesala dolů. Vznikl tak zvláštní případ rozložení granulí, charakterizovaný křivkou *A*.

Celkově je tedy možno říci, že v průběhu manipulace s granulovanými průmyslovými hnojivy nebo při jejich dopravě obecně dochází k třídění granulí podle velikosti, a to tak, že malé granule se přemísťují do spodních vrstev a velké do vrstev horních. Jelikož tento stav je pro rovnoměrnost rozmetání a tok v zásobnících nepříznivý, doporučuje se, aby třídy granulí, lišící se v maximálním rozměru více než 2 mm, byly co nejmenší.

ZÁVĚR

Závěrem lze shrnout:

Granulovaná průmyslová hnojiva mají vyrovnanou sypnou hmotnost s malým rozptylem.

Úhly přirozeného sesypu se mírně zmenšují s výškou sypání.

Nejmenší koeficienty vnějšího tření jsou vesměs na novoduru.

V sypké oblasti nevykazuje úhel vnitřního tření pro různá hnojiva přílišné rozdíly. Také konstanty soudržnosti jsou velmi malé. Úhel vnitřního tření se všeobecně snižuje při zvyšujících se minimálních měrných tlacích, při vyšších měrných tlacích přicházejících v provozu v úvahu zůstává přibližně konstantní.

Samovolně se nejvíce slehává ledek, zatímco NPK a KORMIX se slehávají minimálně. Má také nejméně příznivý průběh statické deformace. Proti NPK se při stejném tlaku deformuje asi o 30 % více.

Při manipulaci s granulovanými hnojivy nebo při jejich dopravě dochází k třídění granulí podle velikosti tak, že malé granule se přemísťují do spodních vrstev a velké do vrstev horních.

Seznam použitých označení

- w — vlhkost
- $\bar{q}$ — sypná hmotnost kg/dm³
- α — úhel přirozeného sesypu (⁰)
- f — koeficient vnějšího tření
- φ — úhel vnitřního tření
- τ — smyková pevnost kp/cm²
- σ — normální napětí kp/cm²
- c — soudržnost
- a, b — empirické koeficienty

T	— síla tření kp
N	— normální zatížení kp
f_v	— koeficient vnitřního tření
p	— měrný tlak kp/cm ²
M	— mezerovitost ‰
ξ	— statická deformace mm
F	— síla kp
m_v	— hmotnost velkých granulí
m_m	— hmotnost malých granulí

Význam ve statistických výpočtech

$\bar{q}$	— sypná hmotnost průměrná kg/dm ³
σ	— směrodatná odchylka
$\sigma_{\bar{q}}$	— směrodatná odchylka průměru

Došlo dne 4. 3. 1966

Literatura

1. Fed a, J.: Smyková pevnost písku. Rozpravy CSAV, 1963, č. 4. — 2. Mencl, V.: Mechanika zemin. NČSAV 1955. — 3. Myslivec, V.: Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumnictví. CSAZV 1957. — 4. Ščerbakov, A. M.: Koeficienty vnějšího i vnitřního tření mineralnych udobrenij. Mechanizacija i elektrifikacija socialističeskogo selskogo chozjajstva 1965, č. 5. — 5. Zenkov, P. L.: Mechanika nesypnyh грузов. Mašinostrojenie 1964.

Некоторые физические свойства гранулированных минеральных удобрений

В статье приводится анализ некоторых основных физических свойств гранулированных твердых минеральных удобрений. Результаты анализа можно коротко охарактеризовать следующим образом:

Гранулированные минеральные удобрения имеют равномерную сыпучесть с малым рассеванием. Самое тяжелое гранулированное удобрение — NPK, самое легкое — селитра.

Углы естественной сыпки несколько уменьшаются с высотой засыпки. При разовом высыпании большего количества они резко уменьшаются.

Самые малые коэффициенты внешнего трения, как правило, у новодура. С точки зрения малого коэффициента внешнего трения, а также учитывая остальные свойства пластмасс, целесообразно было бы при конструкции устройства для удобрений возможно больше применять пластические массы.

В области сыпучести угол внутреннего трения для разных удобрений не показывает больших различий. Также постоянные величины сцепления очень незначительны. Угол внутреннего трения вообще понижается при увеличивающихся минимальных удельных давлениях, при повышенных удельных давлениях, встречающихся на практике, он остается приблизительно постоянным.

Самопроизвольно больше всего слеживается селитра, в то время как NPK и КОРМИКС слеживаются минимально.

У удобрений, хранимых навалом, селитра имеет больше пустых пространств по сравнению с NPK и КОРМИКС, однако различие небольшое.

Наименее благоприятный ход статической деформации имеют гранулы селитры: при одинаковом давлении гранулы селитры по сравнению с NPK деформируются приблизительно на 30 % больше.

При манипуляции с гранулированными удобрениями или при их транспорте происходит сортировка гранул по величине так, что мелкие гранулы перемещаются в нижние, а крупные в верхние слои.

Some Physical Properties of the Granulated Fertilizers

The paper gives an analysis of some of the main physical properties of the granulated solid fertilizers. The results of the analysis can be briefly characterized as follows:

The granulated fertilizers have a considerably consistent specific weight, varying in a small range. The NPK is the heaviest, the nitrate of potash the lightest sort.

The angles of the natural slide decrease slightly with the height of the pour. They decrease sharply with the instantaneous pour out of a larger quantity.

The smallest coefficients of the outer friction are generally obtained with novodur. With respect to both a low coefficient of the other properties of the plastics as well, it would be advisable to make possibly frequent use of the plastics in the design of the implements for the handling of the fertilizers.

With respect to the looseness of the material, there are no remarkable differences in the angle of the inner friction for the different fertilizers. The constants of the cohesion are very small as well. The angle of the inner friction gets generally decreased with the increasing minimum specific pressures, with the higher specific pressures occurring in the operation the angle remains about constant.

The nitrate of potash features the maximum self-settling the NPK and KORMIX fertilizers the minimum. The nitrate of potash granules have the least favourable course of the static deformation. Their deformation is by about 30 % higher than that of the NPK fertilizer with the same pressure.

In the handling or haulage of the granulated fertilizers the granules get sorted by size, the small ones getting displaced into the lower layers and the large ones into the upper layers.

Einige physikalische Eigenschaften von granulierten Handelsdüngern

Der Beitrag bringt eine Analyse von manchen grundlegenden physikalischen Eigenschaften der festen granulierten Handelsdünger. Die Ergebnisse der Analyse können in Kürze wie folgt charakterisiert werden:

Granulierte Handelsdünger besitzen eine ausgeglichene Schüttmasse mit geringer Streuung. Am schwersten ist NPK, am leichtesten Salpeter.

Die Winkel des naturgemäßen Herunterschüttens werden mit der Schütthöhe mäßig vermindert. Bei sofortigem Ausschütten einer größeren Schüttgutmenge werden sie heftig vermindert.

Die geringsten Beiwerte der Außenreibung treten durchaus am Novodur auf. Vom Standpunkte eines geringen Beiwertes der Außenreibung sowie unter Berücksichtigung der sonstigen Eigenschaften von Kunststoffen wäre es angebracht, für die Konstruktion von Einrichtungen für Handelsdünger so viel wie möglich Kunststoffe zu benutzen.

Auf dem Gebiete des Schüttgutes weist der Winkel der Innenreibung keine übermäßigen Unterschiede für verschiedene Dünger auf. Auch die Haftungskonstanten sind recht gering. Der Winkel der Innenreibung wird bei den ansteigenden Minimalmeßdrücken allgemein vermindert, während er bei den im Einsatz vorkommenden höheren Meßdrücken annähernd konstant bleibt.

Ein spontanes Absetzen tritt am meisten bei dem Salpeter auf, während es bei NPK und KORMIX im Mindestumfang vorkommt.

Unter den lose anfallenden Düngern besteht bei dem Salpeter größere Lückenhaftigkeit als bei NPK und KORMIX, allerdings der Unterschied ist gering.

Am wenigsten günstig ist der Verlauf der statischen Verformung bei den Salpetergranulaten. Im Vergleich mit dem NPK werden sie bei gleichem Druck um rund 30 % mehr verformt.

Bei der Handhabung der granulierten Handelsdünger oder bei deren Transport kommt es zu einer Größensortierung von Granulaten so, daß kleine Granulaten in untere Stapelschichten, während die größeren davon in obere Schichten versetzt werden.

Adresa autora:

Inž. Jiří Fiala, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, Řepy u Prahy

■ Experimentální výzkum rychlosti částic dopravovaného materiálu při jeho pneumatické dopravě měl

- potvrdit správnost a platnost navrženého teoretického řešení této úlohy [56],
- potvrdit oprávněnost některých přijatých předpokladů a zjednodušení,
- umožnit některá pozorování a závěry, které nejsou obsaženy v teoretickém řešení.

Na obtížnost experimentálního výzkumu rychlosti částic vůbec a na malou přesnost měřicích metod poukazuje zejména Z u j e v [60].

1. KLASIFIKACE METOD EXPERIMENTÁLNÍHO STANOVENÍ RYCHLOSTI ČÁSTIC

Ke stanovení rychlosti pohybu pevných částic v tekutině, zvláště pak při jejich pneumatické či hydraulické dopravě, navrhli různí badatelé řadu originálních metod, či alespoň uzpůsobili k tomuto účelu metody známé odjinud. Tyto metody se pokusil klasifikovat Večerskij [57]. Podle našeho názoru se však tato klasifikace pro nevhodnost klasifikačního kritéria pro naše účely nehodí.

Proto jsme se pokusili sami uspořádat všechny z literatury nám známé metody měření rychlosti částic. Jako klasifikační kritérium jsme zvolili vhodnost metody ke stanovení průměrné či okamžité rychlosti částic a fyzikální či matematickou závislost, již metoda využívá (tab. I). Taková klasifikace umožňuje jasně zhodnotit přednosti a nedostatky každé metody, a proto může být základem k účelné volbě nejvhodnější metody pro zadanou úlohu.

Zevrubné studium literatury, uvedené v tabulce I, jednoznačně ukázalo, že nejvhodnější metodou pro naše experimenty je radiometrická metoda uražené dráhy a času.

2. RADIOMETRICKÁ METODA URAŽENÉ DRÁHY A ČASU

Princip této metody je jednoduchý: podél potrubí je ve známých vzdálenostech Δs rozestaveno několik měřicích stanic, detekujících ionizační záření. Každá stanice signalizuje okamžik t průletu experimentální částice, označené vhodným radioizotopem. Z naměřených hodnot lze pak snadno sestavit závislost dráhy částice na čase $s = f(t)$ [55].

I. Klasifikace metod experimentálního stanovení rychlosti částice (podle literatury)

← Průměrná rychlost $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ → ← Okamžitá rychlost $\dot{s} = \frac{ds}{dt}$ →				
1	2	3	4	5
Metoda hmotnostních směšovacíh poměrů $v_m = \Delta s \cdot \frac{Q_m}{G_m} \text{ (m s}^{-1}\text{)}$ určení hmotnosti G_m dopravovaného materiálu, izolovaného v úseku potrubí Δs <i>Izolace úseku Δs</i> Dzjadzio [10] Segler [42] Uspenskij [53] <i>Měření tečných sil na stěně potrubí a tlakového spádu</i> Weidner [58]	Metoda čítání celkového počtu impulsů $v_m = \frac{1}{N} \int_{-\infty}^{+\infty} I \cdot ds \text{ (m s}^{-1}\text{)}$ určení celkového počtu impulsů N od radioaktivní částice <i>Čítání impulsů</i> Hull [18]	Metoda uražené dráhy a času $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ (m s}^{-1}\text{)}$ určení okamžiku t průletu částice daným bodem dráhy s <i>Fotoelektricky</i> Adam [1] Chlobystov [20] <i>Magnetometricky</i> Gasterstädt [13] Žicharev [61] <i>Radiometricky</i> Gauvin [14] Goroško [16] Karpov [26] Kritzinger [31] Montens [36] Putman [39] Rall [40] Sauerwien [41] Sons [36]	Metoda uražené dráhy a času $\dot{s} = \frac{ds}{dt} \text{ (m s}^{-1}\text{)}$ určení bodu dráhy s, v němž se částice nachází v daném okamžiku t <i>Fotografie</i> – podle délky stopy částice za dobu osvitů Fomičev [12] Merton [33] – modulační osvit Koskuba [30] – modulační osvětlení Fiala [11] Gasterstädt [13] Korn [28] <i>Rychlostní filmování</i> Balacko [3] Baranov [4] Dzjadzio [9, 10] Chudačkov [21, 22] Kalinuškin [25] Thorley [48] Zujev [60]	Metoda hybnosti $\dot{s} = \frac{1}{m} \int_0^t P \cdot dt \text{ (m s}^{-1}\text{)}$ určení práce, kterou vykoná částice při úderu o měřicí přístroj <i>Balistické kyvadlo</i> Horák <i>Perforace fólie</i> u Gauvina [14]

V literatuře je popsáno několik odlišných realizací této metody. Tak např. jako detektoru ionizačního záření v měřicích stanicích lze použít: a) ionizačních komor, b) Geiger-Müllerových trubíc [14, 16, 26, 36, 41], c) krystalických či scintilačních detektorů [31, 40].

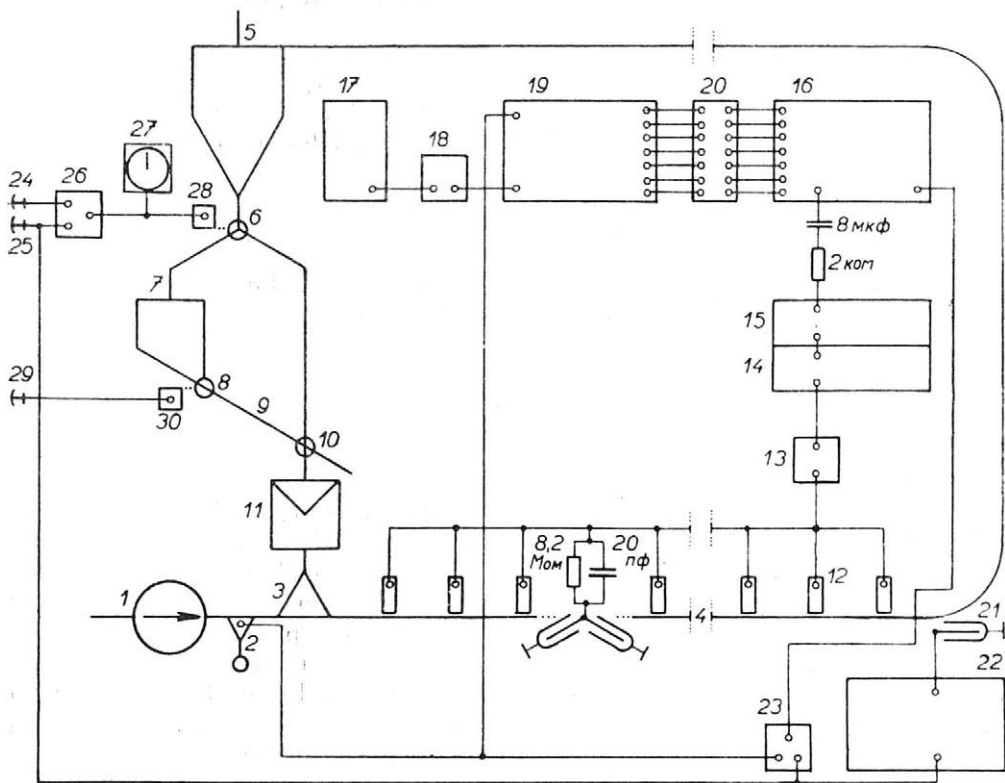
Eliminace pozadí lze dosáhnout: a) kolimací [26, 31], b) koincidenčním zapojením detektorů v jedné měřicí stanici [16], c) diskriminací při použití scintilačních detektorů [14], d) zeslabením výstupního signálu integrátoru [14].

Počet měřicích stanic u různých badatelů činil dvě až sedm. Stanice jsou připojeny k měřicí aparatuře jako např.: a) monostabilnímu multivibrátoru, b) monovibrátoru [26], c) integrátoru (intenzimetru) [14], d) bloku koincidence [16] atd.

Rovněž způsob aktivace experimentálních částic může být různý, a to: a) povrchové nanesení aktivní vrstvy (galvanicky, chemickou adsorpcí) [14, 16, 31, 36, 39, 41], b) vložení radioaktivní značky do částice [26], c) neutronová aktivace [14, 40].

Jako radioaktivních značek se obvykle používá zářičů gama s dostatečně vysokou energií kvant, s krátkým i dlouhým poločasem přeměny podle podmínek pokusu; např.: Co-60, Zn-65 [16], J-131, Cs-137 [31], Na-24, Ba-140, La-140 [39], Br-82 [41], Ir-192 [14], luminofor typu 3 aktivovaný Ra [26], aj. Použití zářičů beta nebo měkkých zářičů gama je nevhodné vzhledem k malé pronikavosti tohoto záření.

Nezávisle na způsobu realizace má radioizotopová metoda uražené dráhy a času několik významných obecných předností:



1. Schéma experimentálního zařízení

1 – tlaková stanice; 2 – zařízení pro zavedení experimentální částice do potrubí; 3 – směšovací komora; 4 – experimentální potrubí; 5 – odlučovač; 6 – výhybka; 7 – zásobník na váze; 8 – uzávěr zásobníku; 9 – spádový žlábek; 10 – otočný nástavec; 11 – integrátor N-30; 12 – oscilograf MPO-2; 13 – křemenné hodiny, typ 560; 14 – zesilovač; 15 – zdroj vysokého napětí; 16 – rotační podavač; 17 – měřicí stanice; 18 – zesilovač; 19 – katodové sledovače; 20 – Geiger-Müllerova trubice MS-9; 21 – radiometr TISS; 22 – relé; 23 – tlačítko „start“ ovládání elektromagnetu výhybky; 24 – tlačítko „stop“; 25 – relé; 26 – elektromagnet výhybky; 27 – tlačítko elektromagnetu uzávěru zásobníku na váze; 28 – elektromagnet uzávěru zásobníku na váze; 29 – tlačítko elektromagnetu uzávěru zásobníku na váze; 30 – elektromagnet uzávěru zásobníku na váze

1. Metoda umožňuje získání závislosti dráhy dopravované částice na čase $s = f(t)$.

2. Metoda umožňuje experimentovat s naturálními částicemi za předpokladu, že jejich aktivace nezpůsobí nepřípustné změny jejich fyzikálně mechanických vlastností.

3. Měření neporušuje měřený proces.

4. Metoda neklade žádná omezení na materiál stěny potrubí, průměr potrubí, hmotnostní směšovací dopravní poměr, ani na jiné parametry dopravního zařízení a režimu dopravy.

Gauvin [14] k tomu uvádí ještě další výhody:

5. Vyšší přesnost v porovnání s jinými metodami.

6. Reprodukovatelnost výsledků.

Jako nedostatky této metody je třeba uvést:

1. Nutnost dodržování velmi přísných požadavků radiační hygieny [35, 52].

2. Značnou pracnost vyhodnocování oscilografických záznamů. Tento nedostatek odpadá při použití modifikované čítačové metody pro měření sledu krátkých časových intervalů [55].

Souhrnně lze radiometrickou metodu uražené dráhy a času charakterizovat jako nejdokonalejší metodu pro přesné experimentální výzkumy pohybu částic při jejich pneumatické či hydraulické dopravě pak v laboratorních, tak i v provozních podmínkách.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

Pro pokusy bylo zkonstruováno speciální experimentální dopravní zařízení, jehož schéma uvádí obrázek 1. Zařízení se skládá z

- pneumaticko-mechanické části,
- měřicích systémů,
- ovládacích prvků a prvků automatizace.

3.1 PNEUMATICKO-MECHANICKÁ ČÁST

Experimentální dopravní zařízení je přetlakového typu. Zdrojem dopravního vzduchu je tlaková stanice 1. Skládá se v podstatě ze dvou rotačních kompresorů R—200, připojených paralelně k vyrovnávací nádrži o objemu 0,7 m³. Každý kompresor je poháněn vlastním elektromotorem a dodává 200 m³h⁻¹ vzduchu při přetlaku 2.10⁵ Pa. Z vyrovnávací nádrže proudí stlačený vzduch přes regulační ventil měřicím potrubím k směšovací komoře 3 rotačního podavače 11. Rychlost vzduchu v experimentálním potrubí lze nastavit regulačním ventilem v mezích 0—29 m s⁻¹, čemuž odpovídá hmotnostní průtok vzduchu v mezích 0—0,17 kg s⁻¹. Hradítkem regulujícím přítok zrna ze zásobníku k rotačnímu podavači 11 lze nastavit průtok zrna v mezích 0,3 až 1,6 kg s⁻¹. Aerosměs, vytvořená ve směšovací komoře 3, proudí pak do dopravního potrubí. Potrubí je uspořádáno jako polouzavřená smyčka. Skládá se ze spodní vodorovné větve experimentálního potrubí 4 (průměr 0,08 m, délka 11,75 m), oblouku, krátké svislé spojky, oblouku a horní vodorovné větve zpátečního potrubí ústícího do odlučovače 5. Separované zrno se odvádí z odlučovače 5 spádovou rourou, v níž je umístěna výhybka 6, buď do zásobníku 7, uloženého na váze, nebo zpět do zásobníku rotačního podavače 11. Ze zásobníku 7 na

váze může být zrno dopraveno spádovým žlábkem 9 opět do zásobníku rotačního podavače 11, nebo vyvedeno z experimentálního zařízení otočným nástavcem 10. Většina popsanych dílů je vidět na obrázku 2.

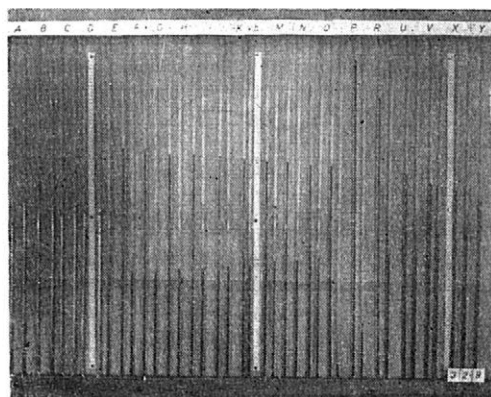
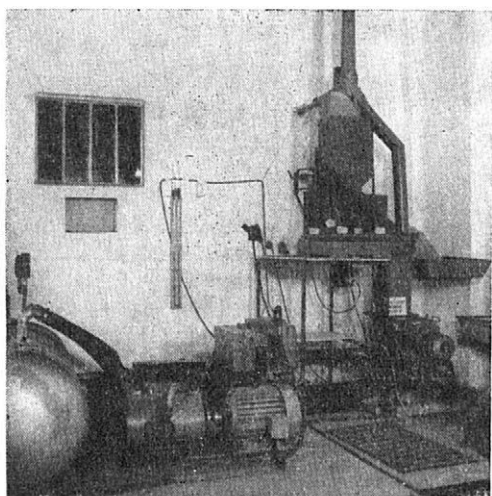
3.2 MĚŘICÍ SYSTÉMY

V experimentálním zařízení jsou celkem čtyři relativně nezávislé měřicí systémy:

- systém měření statických tlaků podél potrubí,
- systém měření hmotnostního průtoku dopravního vzduchu,
- systém měření hmotnostního průtoku dopravovaného materiálu,
- systém měření rychlosti částic dopravovaného materiálu podél potrubí.

3.21 Systém měření statických tlaků podél potrubí

Body odběru statických tlaků jsou umístěny na všech důležitých úsecích experimentálního zařízení. Všechny statické tlaky se měří otevřenými manometry tvaru U, naplněnými rtutí ($\rho_0 = 13,595 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, nebo vodním roztokem etanolu, obarveným metylovou červení ($\rho_0 = 0,988 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$), v závislosti na hodnotě měřeného tlaku. Manometry jsou umístěny na společném panelu (obr. 3)



3. Panel manometrů

←
2. Tlaková stanice, rotační podavač, spádová roura, výhybka, váha. Celkový pohled (foto Mašek, VÚZT)

a označeny písmeny A—Z podle bodů odběru tlaků. K zajištění současnosti odečtení údajů všech manometrů se panel s manometry fotografuje (obr. 4).

3.22 Systém měření hmotnostního průtoku dopravního vzduchu

Hmotnostní průtok, a tedy i rychlost dopravního vzduchu v experimentálním potrubí se regulují ventilem, vloženým mezi vyrovnávací nádrž tlakové stanice a měřicí potrubí.

Hmotnostní průtok vzduchu experimentálním potrubím se stanoví jako rozdíl hmotnostního průtoku vzduchu měřicím potrubím a hmotnostního průtoku vzduchu (jeho úniku) rotačním podavačem.

Hmotnostní průtok vzduchu měřicím potrubím se měří clonou podle normy DIN 1952 [23, 32]. Únik vzduchu rotačním podavačem se stanoví výpočtem podle rovnice Darcy – Weisbachovy:

$$u = \sqrt{\frac{2p_B}{\rho_v \zeta}} \cdot k \text{ (m s}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

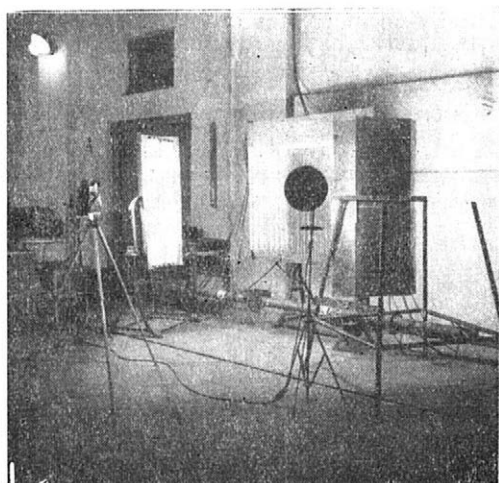
kde: u = rychlost úniku vzduchu rotačním podavačem, přepočtená na průřez, v němž je umístěna měřicí clona (m s⁻¹)

p_B = přetlak vzduchu před rotačním podavačem (Pa)

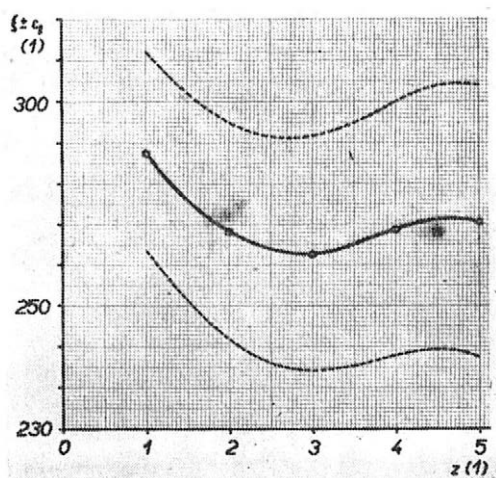
ρ_v = měrná hmotnost vlhkého vzduchu před měřicí clonou (kg m⁻³)

ζ = ztrátový součinitel rotačního podavače, přepočtený na průřez, v němž je umístěna měřicí clona (1)

k = součinitel pro přepočet mezi oběma průřezy (1)



4. Fotografická registrace údajů manometrů. Experimentální potrubí s body odběru statického tlaku a měřicími stanicemi (foto Mašek, VÚZT)



5. Závislost ztrátového součinitele ζ rotačního podavače na poloze z regulačního hradítka

Závislost ztrátového součinitele ζ rotačního podavače na poloze z hradítka, regulujícího přítok zrna, byla nalezena experimentálně (obr. 5).

3.23 Systém měření hmotnostního průtoku dopravovaného materiálu

Hmotnostní průtok dopravovaného materiálu se stanoví vážením množství materiálu, dopravovaného experimentálním zařízením do zásobníku 7 na váze za určitý časový interval, a změřením délky tohoto intervalu. Tento časový interval se měří elektrickými stopkami 27 typu Elektročas, připojenými paralelně k elektromagnetu 28 výhybky 6. Při zapnutí elektromagnetu 28 se totiž výhybka 6 přeloží do polohy, při níž zrno proudí do zásobníku 7 na váze. Jakmile se elektromagnet 28 vypne, vrací se výhybka 6 působením pružiny zpět do své základní polohy, kdy zrno proudí do zásobníku rotačního podavače 11.

K pokusům s masovou dopravou materiálu bylo zvoleno zrno pšenice. Tato volba je odůvodněna tím, že pšenice

- je typickým představitelem biologického materiálu, který se v praxi dopravuje pneumaticky,
- byla nejčastěji použita k pokusům i jinými autory [3, 5, 7, 10, 13, 29, 42, 43, 48, 59], což umožní porovnat naše výsledky s údaji literatury.

Charakteristika použitého zrna pšenice je uvedena v tabulce II.

II. Charakteristika zrna pšenice, použitého k pokusům

Poř. čís.	Ukazatel	Označení	Rozměr	Hodnota
1	2	3	4	5
1	Hmotnost zrna	m	kg	$4,348 \cdot 10^{-5}$
2	Měrná hmotnost zrna	ρ_m	kg m^{-3}	$1,23 \cdot 10^3$
3	Průměr ekvivalentní koule	d	m	$4,072 \cdot 10^{-3}$
4	Tvarový součinitel (podle [27])	ψ	l	1,56
5	Rychlost vznosu*)	v_s	m s^{-1}	9,000
6	Součinitel odporu proti pohybu ve svislém potrubí (podle [51])	$\frac{\eta_c \pi}{2}$	l	0,002

*) Podle [56] při měrné hmotnosti vzduchu $\rho_v = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$ a jeho kinematické viskozitě $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

3.24 Systém měření rychlosti částic dopravovaného materiálu podél potrubí

Ke stanovení kinematiky pohybu, zejména rychlosti dopravovaného zrna, používáme radiometrické metody uražené dráhy a času. Blokové schéma použité měřicí aparatury je uvedeno na obrázku 1.

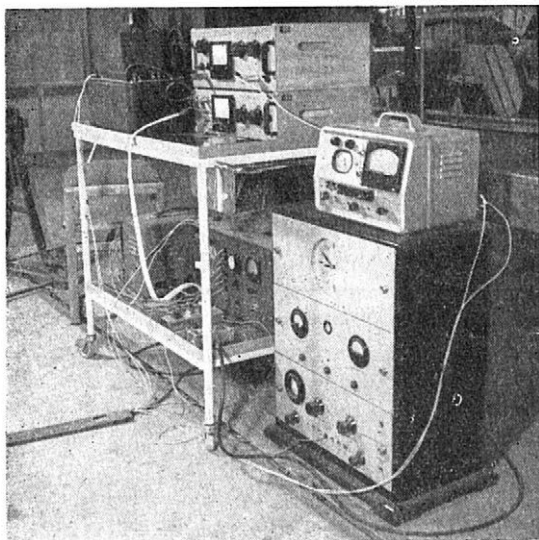
3.241 Měřicí aparatura

Podél experimentálního potrubí 4 je rozestaveno ve stejných vzdálenostech 1,30 m deset měřicích stanic 12. Jako detektory ionizačního záření jsou v každé měřicí stanici použity dvě Geiger-Müllerovy trubice typu MS-4 [15]. Požadí je eliminováno jejich stíněním.

Konstrukční provedení měření stanice je patrné z obrázku 6. Olověné stínění 1 a 2 je dělené. Po nasazení na potrubí se oba díly spojí třmenem 3 a dvěma šrouby 4. Tloušťka olověného stínění je 0,025 m, šířka kolimační štěrby rovněž 0,025 m. Obě trubice 5 jsou uloženy v rovině kolmé k ose potrubí a tvoří spolu podobu písmene V. Tím se dosahuje zvýšení citlivosti detekce v příčném průřezu potrubí při její dobré rozlišovací schopnosti ve směru osy potrubí. Katody obou trubice, ležící na koncích obou ramen písmene V, jsou spojeny přes kostru se svorkou 8. Jejich anody, tvořící vrchol písmene V, jsou připojeny přes kondenzátor 20 pF, přemostěný odporem 8,2 MΩ, ke svorce 7.

Všech deset měřicích stanic 12 (obr. 1) je připojeno paralelně pomocí stíněného vodiče k speciálnímu zesilovači 13, jehož schéma navrhl Andrejev [2]. Výstupní signál zesilovače 13 se přivádí na vstup integrátoru 15 typu Metra N-30 se zdrojem vysokého napětí 14 [34]. Výstupní signál integrá-

1, 2 – olověné stínění; 3 – třmen; 4 – šroub; 5 – Geiger-Müllerova trubice MS-4; 6 – kondenzátor 20 pF a odpor 8,2 MΩ; 7 – anodová svorka; 8 – zemnici (katodová) svorka



Současně se zápisem křivky intenzity ionizačního záření oscilograf 16 zaznamenává na týž kinofilm i stopu časové základny. Aparatura časové základny (křemenné hodiny 17, zdvojovač kmitočtu 18, radiometr B-2 19, katodové sledovače 20) realizuje námi navrženou modifikaci čítačové metody měření sledu krátkých časových intervalů [55]).

3.242 *Radioaktivní částice*

Charakteristika radioizotopu kobaltu Co-60 je uvedena v tabulce III. Tento izotop byl pro aktivaci částic zvolen proto, že

- 258 ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA - 1966

III. Charakteristika radioizotopu kobaltu Co-60 (podle Guseva [17])

Poř. číslo	Veličina	Označení	Rozměr	Hodnota
1	2	3	4	5
1	Chemická značka	A_ZX	—	${}^{60}_{27}\text{Co}$
2	Poločas přeměny	T	r	5,27
3	Počet částic beta na jednu přeměnu jádra	q_β	1	1
4	Maximální energie částic beta	E_β	MeV	0,306
5	Počet kvant gama na jednu přeměnu jádra	q_γ	1	2
6	Energie kvant gama – průměrná hodnota	$E_{1,2}$ E_γ	MeV MeV	1,17; 1,33 1,25
7	Celková konstanta gama	K_γ	$\text{R cm}^2\text{h}^{-1}\text{mCi}^{-1}$	13,20
8	Celková aktivita gama	m	$\text{mg-ekv-Ra mCi}^{-1}$	1,57

Každá částice byla aktivována vložením ústřížku kobaltového drátku o průměru 0,9 mm a délce přibližně 1,7 mm do otvoru, který v ní byl za tím účelem vyvrtán. Pak byl otvor zalepen tmelem Epoxy 1200. Proto bylo možno aktivované částice považovat z hlediska radiační hygieny podmíněně za uzavřené zářiče [35, 52]. Částice byly aktivovány a z hlediska nezamořenosti povrchu kontrolovány Ústavem pro výzkum, výrobu a využití radioizotopů v Praze. Charakteristika aktivovaných částic je uvedena v tabulce IV. Jak je z tabulky patrné, částice všemi svými vlastnostmi uspokojivě imitují přírodní zrna pšenice a hrachu.

Požadovaná aktivita jedné částice, nutná ke spolehlivé a přesné funkci radio-metrické aparatury, byla stanovena následujícím zjednodušeným výpočtem:

Počet impulsů, zaregistrovaných jednou měřicí stanicí od jedné prolétající jí radioaktivní částice, je:

$$N = I \cdot \Delta t = \frac{I_0}{1 - \tau I_0} \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{a}{m} \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot q_\gamma \cdot \varepsilon f_1 f_2 f_3 \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

- kde: N = počet impulsů zaregistrovaných jednou měřicí stanicí (1)
 I = registrovaná četnost impulsů od jedné radioaktivní částice, nacházející se v klidu uprostřed kolimační štěrbině měřicí stanice (Hz)
 Δt = časový interval, během něhož se radioaktivní částice nachází v kolimační štěrbině (s)
 I_0 = četnost impulsů od jedné radioaktivní částice, nacházející se v klidu uprostřed kolimační štěrbině měřicí stanice, při nulové hodnotě mrtvé doby detekční trubice (Hz)
 τ = mrtvá doba trubice (s)
 a = aktivita částice (mg-ekv-Ra)
 m = celková aktivita gama radioizotopu (mg-ekv-Ra mCi⁻¹)
 $3,7 \cdot 10^7$ = aktivita jednoho mCi radioizotopu (Hz mCi⁻¹)
 q_γ = počet kvant gama na jednu přeměnu jádra (1)
 ε = účinnost registrace kvant gama detektorem (1)
 f_1 = opravný součinitel na geometrii detekce (1)
 f_2 = opravný součinitel na absorpci kvant gama ve stěně potrubí (1)
 f_3 = opravný součinitel na přirozené ubývání aktivity (1)

IV. Charakteristika radioaktivních částic

Poř. čís.	Tvar částice	Barva	Hmotnost	Rozměry	Průměr ekvivalentní koule	Měrná hmotnost	Aktivita k 28. – 29. 5. 1964	Číslo osvědčení ÚVÚRV
			$10^3 m$	$10^3 (d \times s)$	$10^3 d$	$10^{-3} q_m$	a	
			kg	m	m	kg m ⁻³	mg-ekv-Ra	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Zrno pšenice	modrá	0,0868	$\varnothing 3,6 \times 8,0$	4,90	$1,41 \pm 0,06$	1,228	2835-1-64
2	Zrno pšenice	bílá	0,0872	$\varnothing 3,7 \times 7,9$	4,95	$1,37 \pm 0,06$	1,078	2838-1-64
3	Zrno pšenice	červená	0,0943	$\varnothing 3,8 \times 8,2$	5,11	$1,35 \pm 0,06$	0,836	2839-1-64
4	Zrno hrachu	bílá	0,2534	$\varnothing 7,1$	7,1	$1,35 \pm 0,03$	0,909	2836-1-64
5	Zrno hrachu	červená	0,2986	$\varnothing 7,6$	7,6	$1,28 \pm 0,03$	1,165	2837-1-64

V. Výpočet měrné pohlcené dávky při typickém pokusu s radioaktivní částicí

Pořadové číslo	Pracovní operace	Doba provedení	Vzdálenost od zdroje	Tloušťka olověného stínění	Faktor oslabení*)	Měrná pohlcená dávka
		t	R	x	k	$10^3 D$
		h	cm	m	1	rem
1	2	3	4	5	6	7
1	Doprava částice v kulovém nosiči na pracoviště a zpět	0,1	50	0,036	5	0,083
2	Vložení částice do zásobníku podávacího zařízení	0,01	25	0	1	0,165
3	Částice je uložena v zásobníku při nastavování režimu pokusu	0,1	100	0,010	1,5	0,069
4	Izolace částice z masy neaktivního zrna	0,1	50	0	1	0,413
–	Celkem za cyklus operací 2 až 4	0,21	–	–	–	0,647

*) Podle [17]

- Pro naše experimentální zařízení lze při nejméně výhodné skladbě faktorů — stanovit délku časového intervalu Δt ze známé šířky kolimační štěrby $\Delta s = 0,025$ m, přijmeme-li rychlost částice rovnou $v_m = 25$ m s⁻¹:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m} = \frac{0,025}{25} = 0,001 \text{ (s)} \quad (4)$$

- přijmout mrtvou dobu trubice rovnou [45]

$$\tau = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (s)} \quad (5)$$

- stanovit účinnost registrace kvant gama kobaltu Co-60 podle [46]

$$\varepsilon = 8 \cdot 10^{-3} (E_\gamma - 0,13) = 8 \cdot 10^{-3} (1,25 - 0,13) = 8,95 \cdot 10^{-3} \text{ (1)} \quad (6)$$

- určit opravný součinitel na geometrii detekce podle ozářené plochy katod obou Geiger-Müllerových trubic MS-4 (plocha katody jedné trubice je rovna $S = 20$ cm²) a podle maximální možné vzdálenosti zdroje záření od trubice $R = 9$ cm, podle vztahu

$$f_1 = \frac{2S}{4\pi R^2} = \frac{2 \cdot 20}{4\pi 9^2} = 0,0393 \text{ (1)} \quad (7)$$

- určit opravný součinitel na absorpci kvant gama o energii $E_\gamma = 1,25$ (MeV) v ocelové stěně (hodnota lineárního součinitele zeslabení podle [17] $\mu = 40,71$ m⁻¹) potrubí o tloušťce $x = 0,005$ m podle exponenciálního zákona

$$f_2 = e^{-\mu x} = e^{-40,71 \cdot 0,005} = 0,8158 \text{ (1)} \quad (8)$$

- určit opravný součinitel na přirozené ubývání aktivity tak, aby ještě po jednom roce $t = 1$ r částice zaručovaly spolehlivou funkci zařízení

$$f_3 = e^{\frac{t}{T} \ln 2} = e^{\frac{1}{5,27} \cdot 0,693} = 1,1406 \text{ (1)} \quad (9)$$

Dosazením vypočtených hodnot do vzorce (3) plyne

$$I_0 = \frac{a}{1,57} \cdot 3,7 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 8,95 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0393 \cdot 0,8158 \cdot 1,1406 = 1,54 \cdot 10^4 \cdot a \text{ (Hz)}$$

a

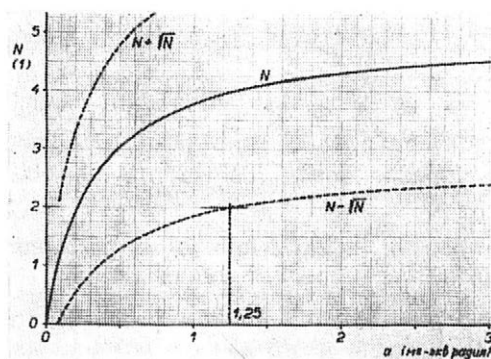
$$N = \frac{1,54 \cdot 10^4 \cdot a \cdot 0,001}{1 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1,54 \cdot 10^4 a} = \frac{15,4 a}{1 + 3,09 a} \text{ (1)}$$

Z posledního výrazu je patrné, že při zvětšování aktivity částice, a tedy i četnosti impulsů I_0 nad všechny meze, se počet zaregistrovaných impulsů N asymptoticky blíží k mezi

$$\lim_{I_0 \rightarrow \infty} \frac{I_0 \cdot \Delta t}{1 + \tau I_0} = \frac{\Delta t}{\tau} = \frac{10^{-3}}{2 \cdot 10^{-4}} = 5 \text{ (1)} \quad (10)$$

Absolutní chyba zaregistrovaného počtu impulsů N je určena, jak známo, Poissonovým rozdělením

$$\varepsilon_N = \pm \sqrt{N} \text{ (1)} \quad (11)$$



8. Závislost zaregistrovaného počtu impulsů $N \pm \sqrt{N}$ na aktivitě a částice

Závislost zaregistrovaného počtu impulsů $N \pm \sqrt{N}$ na aktivitě a částice je uvedena na obrázku 8. Z tohoto grafu lze s prakticky postačitelnou přesností určit hledanou požadovanou aktivitu a částice, a to z požadavku, aby se minimální počet zaregistrovaných impulsů $N - \sqrt{N}$ spolehlivě lišil od pozadí, tj. prakticky byl roven

$$N - \sqrt{N} \geq 2 \quad (1)$$

Požadovaná aktivita částice je přibližně rovna

$$a \geq 1,25 \text{ (mg-ekv-Ra)} \quad (13)$$

Máme-li na zřeteli jistou přibližnost uvedeného výpočtu, lze konstatovat, že aktivita jednotlivých částic podle tabulky IV prakticky splňuje vytčené požadavky. To je potvrzeno rovněž spolehlivou funkcí zařízení, ověřenou v praxi.

3.243 *Zařízení pro zavedení radioaktivní částice do experimentálního potrubí*

Aby se snížilo riziko poškození radioaktivní částice a přesně stanovil okamžik jejího zavedení do experimentálního potrubí, je částice zaváděna pomocí speciálního zařízení 2 (obr. 1). Tím mine rotační podavač 11. Toto zařízení je konstruováno podle principu podavače pušky. Radioaktivní zrno, připravené v zásobníku zařízení 2, je stíněno olovem o tloušťce 0,01 m.

3.244 *Zařízení k izolaci radioaktivní částice z masy neaktivního zrna*

Při správné činnosti prvků automatiky se radioaktivní částice spolu s nevelkým množstvím neaktivního zrna vyvádějí z experimentálního zařízení. Tato dávka zrna se zachytí do velké fotografické mísy, přistavené pod otočný nástavec 10. V míse je uloženo těsně vedle sebe sedm obdélníkových krabic. Jednotlivé krabice se pak po řadě prověřují, zda se v nich nachází radioaktivní částice. K tomu se používá tranzistorového měřiče záření beta gama typu NNC-223-T firmy Tesla [47]. Radioaktivní částice se pak nalezne opakovaným dělením zrna, obsaženého v určené krabici, a prověrkou radioaktivity rozdělených částí. Nakonec se vyhledá vizuálně podle svého zabarvení. K tomu je třeba zpravidla dvou až čtyř dělení.

3.3 OVLÁDACÍ PRVKY A PRVKY AUTOMATIZACE

Prvky automatiky v ovládání experimentálního zařízení zajišťují

- synchronizaci funkce měřicí aparatury s pohybem radioaktivní částice od začátku do konce experimentálního potrubí,
- vyvedení nevelké porce dopravovaného materiálu s radioaktivní částicí k jejímu vyhledání v mase neaktivního zrna,
- synchronizaci funkce elektrických stopek s dobou, během níž materiál proudí do zásobníku na váze.

Při zavedení radioaktivní částice do potrubí 4 zařízením 2 se postupně sepnou dva páry kontaktů, které zajistí

- prostřednictvím relé 23 zapnutí spojky mechanismu pro posuv filmu v oscilografu 16 a tedy rozběh kinofilmu,

- spuštění radiometru 19, tj. souhlas počátku odečítání času s okamžikem zavedení radioaktivní částice do potrubí.

Po průletu experimentálním potrubím 4 radioaktivní částice prolétá dále mimo Geiger—Müllerovy trubice 21, připojené k radiometru 22 typu TISS [15, 50]. Přitom se na svorkách „signál“ radiometru 22 objeví pulsující napětí, kterého se využije

- prostřednictvím relé 23 k vypnutí spojky mechanismu pro posuv filmu v oscilografu 16 a tedy k zastavení kinofilmu,
- k vypnutí relé 26 elektromagnetu 28 výhybky 6, čímž dojde k ukončení měření hmotnostního průtoku dopravovaného materiálu a k vyvedení dávky dopravovaného materiálu spolu s radioaktivní částicí do fotografické mísy na účelem izolace radioaktivní částice.

K stanovení hmotnostního průtoku materiálu se proud materiálu zavede do zásobníku 7 na váze stisknutím tlačítka „start“ 24. Přitom sepne relé 26 a udržuje výhybku 6 v příslušné poloze. Současně se rovněž spustí elektrické stopky 27. Měření hmotnostního průtoku materiálu může být ukončeno dvojím způsobem:

- a) tlačítkem „stop“ 25,
- b) průletem radioaktivní částice mimo trubice 21, jak bylo dříve popsáno. V obou případech odpadne relé 26, čím se výhybka 6 vrátí do základní polohy a elektrické stopky se zastaví.

4. ORGANIZACE EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

4.1 PRVOTNÍ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Pro rozsáhlost výpočtů jednoho pokusu a vzhledem k velkému počtu pokusů byly rychlosti a hmotnostní průtok vzduchu v experimentálním potrubí vypočítány na samočinném číslicovém počítači Ural 2 [6, 24], a to podle námi sestaveného programu.

4.2 BEZPEČNOST PRÁCE S RADIOAKTIVNÍMI ČÁSTICEMI

Použití radiometrické metody uražené dráhy a času při experimentálním výzkumu rychlosti částic podél potrubí je vázáno na souhlas orgánů hygienicko-epidemiologické péče. Při práci je nutno přesně dodržovat předpisy o práci se zdroji ionizujícího záření [35, 52].

Vzhledem k úpravě experimentálních částic lze je podmíněně považovat za uzavřené zářiče. Při práci s nimi je tedy prakticky jediným rizikem nebezpečí vnějšího ozáření. Jak je známo, ochrana před vnějším ozářením se zabezpečuje:

1. zmenšením aktivity radioaktivní látky v pokuse,
2. zkrácením doby ozáření (expozice),
3. zvětšením vzdálenosti od zdroje záření,
4. stíněním zdroje nebo kombinací těchto opatření tak, aby měrná pohlcená dávka záření nepřekročila nejvýše přípustné meze [35].

Vztah mezi těmito veličinami je dán relací:

$$D = \frac{K_\gamma \cdot at}{R^2 m k} \eta \quad (\text{rem}) \quad (14)$$

kde: D = měrná pohlcená dávka (rem)

K_γ = celková konstanta gama radioizotopu ($\text{R cm}^2\text{h}^{-1}\text{mCi}^{-1}$)

a = aktivita částice (mg-ekv-Ra)

t = doba expozice (h)

R = vzdálenost ozařovaného objektu od zářiče (cm)

m = celková aktivita gama radioizotopu (mg-ekv-Ra mCi⁻¹)

k = faktor oslabení záření stíněním (1)

η = relativní biologická účinnost záření radioizotopů (rem R⁻¹)

Bezprostřední práci s radioaktivními částicemi mohou vykonávat pouze osoby uznané za pracovníky se zářením ve smyslu vyhlášky [35]. Při této práci se periodicky opakují typické pracovní operace s radioaktivní částicí. Měrná pohlcená dávka záření při těchto operacích podle vztahu (14) je vypočtena v tabulce V. Hodnoty pro výpočet byly převzaty z tabulek III a IV. Relativní biologická účinnost záření gama $\eta = 1 \text{ rem R}^{-1}$. Z tabulky V vyplývá, že při době trvání pokusu 0,21 h lze za osmihodinový pracovní den teoreticky vykonat $8,0,21 = 38$ pokusů. Měrná pohlcená dávka by v tomto případě činila $0,647 \cdot 10^{-3} \cdot 38 = 24,6 \cdot 10^{-3} \text{ rem}$.

Tato hodnota, vypočtená pro nejméně příznivý předvídatelný případ, je nižší než hodnota $D_{\max} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ rem}$, připadající na jeden pracovní den při rovnoměrném rozdělení nejvýše přípustné týdenní dávky 0,3 rem pro pracovníka s ionizačním zářením. Lze tedy navržený sled pracovních operací v cyklu i zajištění ochrany považovat za vyhovující.

Při praktickém konání pokusů byla osobními dozimetry na hrudi pracovníka naměřena měrná pohlcená dávka $D = 1 \cdot 10^{-3}$ až $5 \cdot 10^{-3} \text{ rem}$. Lze to objasnit použitím částice s nejnižší aktivitou (červené zrnko pšenice), nabytím zručnosti při manipulaci s částicí a tedy zkrácením doby expozice a tím, že pokusy byly konány pouze po dobu dvou až šesti hodin denně.

Ostatní experimentátory, tj. obsluhu tlakové stanice, obsluhu měřicí aparatury a obsluhu systému měření statického tlaku, je nutno považovat ve smyslu vyhlášky [35] za osoby nepracující s ionizačním zářením. Jejich bezpečnost bude zajištěna, nepřesáhne-li měrná pohlcená dávka za směnu $5 \cdot 10^{-3} \text{ rem}$, jsou-li tyto osoby vystaveny riziku ozaření po dobu kratší než třetina směny, nebo $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ rem}$, zdržují-li se v blízkosti zářiče více než třetinu pracovní směny. U těchto osob připadá v úvahu především ochrana dodržením bezpečné vzdálenosti od zdroje. Bezpečné vzdálenosti pro všechny předvídatelné případy byly vypočteny podle vztahu (14). Jelikož pracoviště všech experimentátorů nepracujících se zářením jsou od předpokládaného místa zářiče vzdálena ve všech případech více, než je předepsaná bezpečná vzdálenost, je i jejich bezpečnost zaručena.

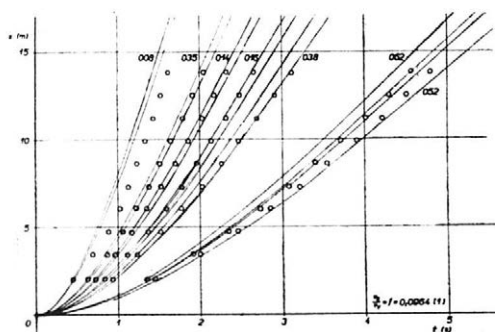
5. VÝSLEDKY EXPERIMENTÁLNÍHO VÝZKUMU

5.1 SHODA EXPERIMENTÁLNÍCH DAT S TEORETICKÝM ŘEŠENÍM

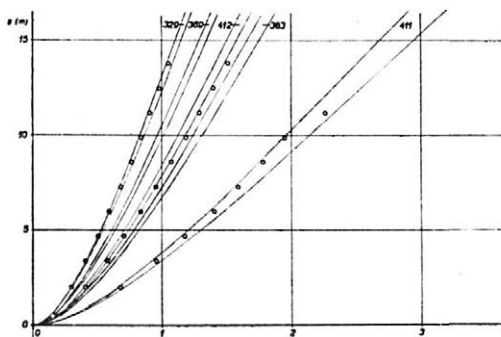
Z celkového souboru 120 vykonaných pokusů jsme vybrali několik typických příkladů. Pro ně jsme paralelně provedli teoretické vyšetření pomocí analogového počítače [56]. Přitom jsme jako vstupních parametrů řešení použili experimentálně stanovených hodnot rychlosti dopravního vzduchu v_v , jeho měrné hmotnosti ρ_v a kinematické viskozity ν . Experimentální údaje vybraných příkladů jsou spolu s příslušným teoretickým řešením uvedeny na obrázcích 9 až 11.

Z porovnání experimentálního a teoretického průběhu závislosti dráhy částice na čase $s = f(t)$ lze odvodit tyto závěry:

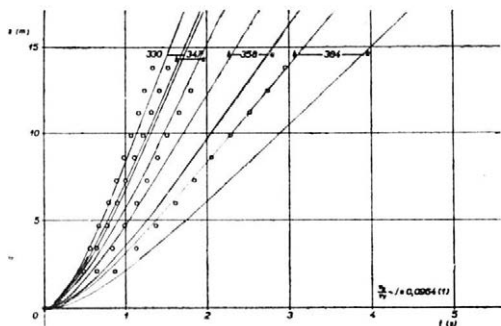
1. Při pneumatické dopravě samotné značené částice, tj. při $Q_m = 0 \text{ kg s}^{-1}$, je shoda experimentálního a teoretického průběhu závislosti $s = f(t)$ vynikající (obr. 9 a 10).



9. Porovnání experimentální a teoretické závislosti dráhy s částice na čase t . Doprava samotné částice $Q_m = 0 \text{ kg s}^{-1}$. Částice tvaru koule $\psi = 1$



10. Porovnání experimentální a teoretické závislosti dráhy s částice na čase t . Doprava samotné částice $Q_m = 0 \text{ kg s}^{-1}$. Částice tvaru zrna pšenice $\psi = 1,56$



11. Porovnání experimentální a teoretické závislosti dráhy s částice na čase t . Doprava experimentální částice v proudě zrna pšenice $Q_m > 0 \text{ kg s}^{-1}$. Částice tvaru zrna pšenice $\psi = 1,56$

a – teoretické řešení pro experimentální částici; b – teoretické řešení pro zrno pšenice

2. Při sledování značené částice v proudě pšeničného zrna, tj. při $Q_m > 0 \text{ kg s}^{-1}$, se experimentální průběh shoduje s teoretickým řešením pro parametry (průměr d , měrná hodnota ρ_m) pšeničného zrna (křivky b na obr. 11), nikoli však s teoretickým řešením pro parametry značené částice (křivky a na obr. 11).

Lze to vysvětlit tím, že značená částice se v proudě pšeničného zrna již nepohybuje nezávisle, nýbrž její pohyb je ovlivňován rychleji se pohybujícím zrnem pšenice. Následkem různých ustálených rychlostí částice a pšeničného zrna dochází zřejmě k vzájemným srážkám, při nichž narázející zrno pšenice předává částecce svou hybnost značené částici. Tím se její rychlost zvyšuje proti té, která by jí příslušela teoreticky (křivky a na obr. 11). Podobný jev zaznamenal Sauerwein [41] při svých pokusech se svislou pneumatickou dopravou uhelné drtě různého granulometrického složení.

3. Z blízkosti experimentálního průběhu $s = f(t)$ a teoretického řešení pro pšeničné zrno (křivky b na obr. 11) vyplývá, že námi použitá radiometrická metoda uražené dráhy a času dává prakticky správné výsledky i při některé odlišnosti vlastností značené částice od zrn dopravovaného materiálu. Lze tedy souhlasit s celkovým hodnocením této metody podle stati 2.

5.2 VLIV HMOTNOSTNÍHO PRŮTOKU Q_m DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU NA KINEMATIKU ČÁSTIC

Vliv hmotnostního průtoku Q_m dopravovaného materiálu na kinematiku částice posoudíme podle experimentálně zjištěné délky časového intervalu Δt , během něhož částice proběhla úsek potrubí mezi první a desátou měřicí stanicí,

VI. Výchozí údaje pro stanovení vlivu hmotnostního průtoku Q_m materiálu na kinematiku částic

Pořadové číslo	Číslo pokusu	Parametry dopravního vzduchu			Hmotnostní průtok materiálu	Časový interval
		rychlost	měrná hmotnost	viskozita		
		$v_v \pm \varepsilon_v$	$\rho_v \pm \varepsilon_Q$	$10^3 \nu$		
		m s ⁻¹	kg m ⁻³	m ² s ⁻¹		
1	2	3	4	5	6	7
01	382	12,7–0,6	1,203–0,003	15,1	0,438–0,002	1,8220
02	378	12,9–0,6	1,223–0,003	14,7	0,490–0,002	1,7195
03	381	13,3–0,5	1,203–0,003	15,2	0,492–0,002	1,7525
04	380	12,7–0,6	1,211–0,003	15,0	0,522–0,002	1,8575
05	402	13,2–0,6	1,209–0,003	15,2	0,548–0,003	1,6275
06	379	13,2–0,6	1,213–0,003	15,0	0,605–0,002	1,9225
07	401	13,2–0,6	1,209–0,003	15,2	0,671–0,003	1,5090
08	367	15,9–0,6	1,243–0,003	14,6	0,435–0,002	1,2655
09	366	16,0–0,6	1,244–0,003	14,5	0,436–0,002	1,2740
10	364	15,8–0,6	1,258–0,003	14,3	0,454–0,002	1,2000
11	363	15,8–0,6	1,268–0,003	14,1	0,472–0,002	1,2880
12	365	16,0–0,6	1,250–0,003	14,4	0,511–0,002	1,2895
13	421	15,7–0,6	1,260–0,003	14,0	0,513–0,002	1,2620
14	396	15,7–0,7	1,229–0,003	14,8	0,565–0,002	1,1365
15	393	15,8–0,7	1,230–0,003	14,8	0,588–0,003	1,1130
16	399	16,1–0,6	1,212–0,003	15,1	0,607–0,002	1,1455
17	397	15,9–0,7	1,227–0,003	14,8	0,640–0,003	1,1405
18	398	15,8–0,7	1,220–0,003	15,0	0,783–0,003	1,2020
19	390	16,5–0,6	1,235–0,003	14,6	0,820–0,003	1,2005
20	415	18,1–0,6	1,248–0,003	14,2	0,479–0,002	1,0345
21	418	18,0–0,7	1,243–0,003	14,4	0,508–0,002	1,0425
22	416	18,0–0,7	1,235–0,003	14,5	0,511–0,002	1,0725
23	349	17,7–0,6	1,280–0,003	14,0	0,576–0,002	1,0420
24	350	17,6–0,7	1,281–0,003	14,0	0,593–0,003	1,0770
25	357	17,6–0,6	1,260–0,003	14,4	0,594–0,003	1,0055
26	247	18,3–0,6	1,288–0,003	13,9	0,598–0,003	1,0415
27	348	17,6–0,7	1,287–0,003	13,9	0,599–0,003	1,0440
28	420	18,0–0,6	1,253–0,003	14,2	0,643–0,003	1,0105
29	353	17,9–0,6	1,268–0,003	14,2	0,668–0,003	1,0695
30	419	18,4–0,6	1,245–0,003	14,3	0,698–0,003	1,0605
31	417	18,1–0,7	1,231–0,003	14,7	0,841–0,004	1,0960

VIII. Ukazatele $\Delta t'$ průměrné rychlosti částic při různé rychlosti v_v dopravního vzduchu a různém hmotnostním průtoku Q_m dopravovaného materiálu

Faktor, úroveň		Rychlost vzduchu v_v			Součet R_i	Průměr x_i	Součin $R_i x_i$
		1	2	3			
Hmotnostní	1	0,8220	0,2465	0,0553	1,1238	0,37461	0,42100
průtok Q_m	2	0,7360	0,2798	0,0498	1,0656	0,35522	0,37855
materiálu	3	0,7425	0,1365	0,0420	0,9210	0,30700	0,28275
	4	0,9225	0,1292	0,0420	1,0937	0,36458	0,39876
	5	0,5090	0,1405	0,0468	0,6963	0,23211	0,16163
	6	0,7464	0,2012	0,0960	1,0436	0,34788	0,36307
Součet R_j		4,4784	1,1338	0,3320	5,9442	—	2,00576
Průměr x_j		0,74640	0,18897	0,05533	—	0,33024	—
Součin $R_j x_j$		3,34268	0,21426	0,01837	3,57531	—	1,96299

tj. urazila dráhu $\Delta s = 11,77$ m. Jak vyplývá z teoretického vyšetření [56], může být zvolené kritérium Δt ovlivněno, kromě hmotnostního průtoku Q_m dopravovaného materiálu, ještě rychlostí v_v a měrnou hmotností ρ_v dopravního vzduchu. Ostatní parametry mají v našem případě konstantní hodnoty. Pro jednoduchost zanedbáme vliv měrné hmotnosti ρ_v vzduchu; oprávnění k tomu dává poměrně úzký interval, v němž se hodnoty ρ_v v našem případě pohybují (viz tab. VI, sloupec 4).

Abychom odlišili sledovaný vliv hmotnostního průtoku Q_m materiálu a vliv rychlosti v_v vzduchu, použijeme k jejich posouzení analýzy rozptylu dvoufaktového pokusu. Jedním faktorem bude hmotnostní průtok Q_m dopravovaného materiálu (na šesti úrovních) a druhým faktorem rychlost v_v dopravního vzduchu (na třech úrovních). Potřebné výchozí údaje vybereme z celkového souboru 120 provedených pokusů a uspořádáme do tabulky VI. Z údajů tabulky VI sestavíme výpočtovou tabulku VII podle schématu analýzy rozptylu dvoufaktového pokusu [8, 37].

Přitom:

1. zagregujeme vstupní proměnné tak, že

- proměnnou rychlosti vzduchu v_v přiřadíme k některé ze tří úrovní: $v_v = 13,0; 16,0; 18,0$ m s⁻¹ s absolutní chybou $\varepsilon_v = \pm 0,5$ m s⁻¹,
- proměnnou hmotnostního průtoku Q_m materiálu klasifikujeme do šesti úrovní: $Q_m = 0,448; 0,496; 0,548; 0,606; 0,671; 0,819$ kg s⁻¹ s relativní chybou $\delta_Q = \pm 0,005$ (1);

2. případně-li do některého políčka tabulky VII několik hodnot Δt , nahradíme je jejich průměrem [8];

3. doplníme dvě chybějící pozorování výpočtem jejich odhadů [8]

- pro úroveň 13,0—0,819:

$$\Delta t_{1-6} = \frac{1}{5} \cdot (1,8220 + 1,7360 + 1,7425 + 1,9225 + 1,5090) = 1,7464 \text{ (s)}$$

- pro úroveň 18,0—0,448:

$$\Delta t_{3-1} = \frac{1}{5} \cdot (1,0498 + 1,0420 + 1,0420 + 1,0468 + 1,0960) = 1,0553 \text{ (s)}$$

4. výsledky v políčkách tabulky lineárně transformujeme substitucí $\Delta t' = \Delta t - 1,0$ s. Tím se usnadní numerický výpočet, aniž je výsledek transformací dotčen [8];
5. vypočteme řádkové a sloupcové součty R , průměry $\bar{x}$ a součiny $R\bar{x}$ těchto hodnot a celkový součet R , průměr $\bar{x}$ a součin $R\bar{x}$.

Pomocí hodnot uvedených v tabulce VII vypočteme celkový součet čtverců

$$S_0 = 0,8220^2 + 0,7360^2 + \dots + 0,0468^2 + 0,0960^2 - 1,96299 = 1,72803 \text{ (s}^2\text{)}$$

součet čtverců pro hmotnostní průtok Q_m materiálu, tj. pro řádky

$$S_1 = 2,00576 - 1,96299 = 0,04277 \text{ (s}^2\text{)}$$

součet čtverců pro rychlost vzduchu v_v , tj. pro sloupce

$$S_2 = 3,57531 - 1,96299 = 1,61232 \text{ (s}^2\text{)}$$

a reziduální součet čtverců

$$S_r = S_0 - S_1 - S_2 = 1,72803 - 0,04277 - 1,61232 = 0,07294 \text{ (s}^2\text{)}$$

Tyto hodnoty vstupují do tabulky analýzy rozptylu (tab. VIII).

Tabulka VIII přesvědčivě dokazuje, že hmotnostní průtok Q_m dopravovaného materiálu nemá ve zkoumaném intervalu hodnot naprosto žádný vliv na kinematiku částic. Vypočtená hodnota kritéria $F = 1,17$ je totiž podstatně menší než jeho kritická hodnota pro 5% hladinu významnosti $F_{0,05} = 3,33$, nemluvě již o kritické hodnotě pro 1% hladinu významnosti $F_{0,01} = 5,64$. Tento závěr souhlasí s údaji, uváděnými v literatuře [62].

Naproti tomu analýzou rozptylu byl znovu bezpečně prokázán pronikavý vliv rychlosti v_v dopravního vzduchu na kinematiku částice dopravovaného materiálu. Hodnota F -kritéria, vypočtená z experimentálních údajů, $F = 110,52$, totiž daleko přesahuje dokonce i jeho kritickou hodnotu pro 1% hladinu významnosti $F_{0,01} = 7,56$. To je v plné shodě jak s údaji literatury [10, 13, 19, 26, 38, 41, 44, 49, 51, 53, 54, 58, 59, 62], tak i s našim teoretickým řešením [56].

VIII. Analýza rozptylu výsledků z tabulky VII

Proměnlivost	Součet čtverců	Počet stupňů volnosti	Rozptyl	Hodnota F -kritéria		
				vy-počtená	kritická*)	
	S	ν	σ^2	F	$F_{0,05}$	$F_{0,01}$
	s^2	1	s^2	1	1	1
Vlivem Q_m (mezi řádky)	0,04277	5	0,00853	1,17	3,33	5,64
Vlivem v_v (mezi sloupci)	1,61232	2	0,80616	110,52	4,10	7,56
Reziduální	0,07294	10	0,00729	—	—	—
Celková	1,72803	17	—	—	—	—

*) Podle tabulky XIV u Myslivce [37]

6. ZÁVĚRY

Výsledky experimentálního výzkumu rychlosti částic podél potrubí při jejich pneumatické dopravě potvrdily tyto skutečnosti:

1. Naše teoretické řešení úlohy o rychlosti částic [56] je principiálně správné.

2. Analogová výpočetní technika je vysoce efektivním nástrojem k vyřešení řady teoretických i praktických otázek pneumatické dopravy.

3. Podstatnou část časově náročných, pracných a nákladných pokusů s pneumatickou dopravou sypkého materiálu ve vzhledu lze tedy napříště nahradit rychlým, přehledným a elegantním matematickým modelováním tohoto procesu.

4. Radiometrická metoda uražení dráhy a času je nejdokonalejší metodou pro přesný experimentální výzkum pohybu částic při jejich pneumatické dopravě.

5. Přítomnost většího počtu částic dopravovaného materiálu v potrubí neovlivňuje podmínky jejich obtékání dopravním vzduchem, alespoň v jistých mezích hmotnostního průtoku materiálu.

6. Není tedy důvodu klást při dalším experimentálním výzkumu kinematiky částic dopravovaného materiálu podmínku, aby hmotnostní průtok materiálu byl u všech pokusů týmž $Q_m = \text{idem}$. Homogenita pokusů bude zachována, i když bude hmotnostní průtok materiálu kolísat od pokusu k pokusu v dosti širokém intervalu.

Došlo dne 4. 3. 1966

Literatura

1. Adam, O.: Feststoffbeladene Luftströmung hoher Geschwindigkeit. *Chemie-Ing. Techn.* 1957, 29, č. 3. — 2. Andrejev, V. I.: Ispolzovanie pribora „TISS“ v kačestvė signalno-dozimetričeskoj ustanovki pri rabotě s gamma-izlučenijem. *Zavodskaja laboratorija*, 1959, č. 5. — 3. Balacko, L. D.: Issledovanie processa transportirovanija semjan pnevmatičeskim sposobom. These kandidátské disertace VIM-VIESCH, Moskva, 1960. — 4. Baranov, I. V.: O dvizeniji lnanogo vorocha i semjan lna v pnevmotransportnyh truboprovodach. *Mechanizacija i elektrifikacija socialističeskogo selskogo chozjajstva*, 1964, č. 3. — 5. Crane, J. W. a kol.: Predicting Pressure Drop in Pneumatic Conveying of Grains. *Agricultural Engineering*, 1957, č. 3. — 6. Čulík, J.: Programování pro číslicový počítač URAL 2. *Přednášky postgraduálního kursu ČVUT, Praha*, 1964. — 7. Dorfman, M. CH.: Pnevmatičeskij transport zerna i produktov jeho pererabotki. *Chleboizdat, Moskva*, 1960. — 8. Drexler, J. a kol.: Úvod do metodiky experimentálních prací. *Rukopis ZŠP VZLÚ, Praha*, 1958. — 9. Dzadzio, A. M. a kol.: K voprosu ob opreděleniji skroščej vitanija častíc. *Izvěstija VUZ, Piščevaja tehnologija*, 1958, č. 2. — 10. Dzadzio, A. M.: Pnevmatičeskij transport na zernopererabatyvajuščich predpriyatijach. *Zagotizdat, Moskva*, 1961. — 11. Fiala, J.: Registrace pohybu zrn ve vrstvě pořezaného obilí pomocí luminiscence v ultrafialovém záření. *Zemědělská technika* 1965, č. 12. — 12. Fomičev, M. S.: Struktura tčenijsa za plastinkoj v realnoj židkosti. *Izvěstija AN SSSR, OTN* 1953, č. 8. — 13. Gasterstädt, J.: Pnevmatičeskij transport, eksperimentalnoje issledovanie. *Izdatelstvo SZ Oblprombjuro VSNCh, Leningrad*, 1927. — 14. Gauvin, W. H. a kol.: A Radioactive Tracer Technique for Particle Velocity Measurement in Solids-Gas Systems. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 1959, č. 3. — 15. Glavnoje upravlenije po ispolzovaniju atomnoj energii pri sověte ministrov SSSR: Spravočnik po dozimetričeskim, radiometričeskim i elektronofizičeskim priboram, sčetcikam, scintiljatoram i fotomnožiteljam. *Izdatelstvo GUIAE SM SSSR, Moskva*, 1959. — 16. Gorosko, V. D.: Izměrenije skroščej stěsněnnogo dvizenija těl v židkosti. *Věstnik AN SSSR* 1955, č. 8. — 17. Gusev, N. G.: Příručka pro ochranu před radioaktivním zářením. *SZDN, Praha*, 1959. — 18. Hull, D. E.: Flow Measurement by the Total-Count Method. *Nuclear Science Abstracts* 1959, 5510. — 19. Chancellor, W. J.: Relations between Air and Solid Particles Moving upward in a Vertical Pipe. *Agricultural Engineering* 1960, č. 3. — 20. Chlobystov, N. M.: Issledovanie raboty pnevmatičeskogo zernopulta-peregru-

žatělja zerna. These kandidátské dizertace SCHI, Saratov, 1958. — 21. Chuďakov, G. N. a kol.: K voprosu o dvíženiji tvěrdých častic v gazovom potoke. Doklady AN SSSR 1951, 78, č. 4. — 22. Chuďakov, G. N.: O dvíženiji tvěrdých častic v gazovzvěsi. Izvěstija AN SSSR, OTN 1953, č. 7. — 23. Jarkovský, E.: Základy praktického výpočtu clon, dýz a trubic Venturiho. SNTL, Praha, 1958. — 24. Jokl, E. a kol.: Číslicové automatické počítače, základy programování. Učební texty VŠ, SNTL, Praha, 1963. — 25. Kalinuškin, M. P.: O vintovom dvíženiji v truboprovodach. Izvěstija AN SSSR, OTN 1952, 3. — 26. Karpov, A. I.: Eksperimentalnoje issledovanie skorosti častic i soprotivlenij pri pnevmotransportě metodom radioaktivnyh indikatorov. Izvěstija VUZ, Energetika, 1961, č. 3. — 27. Kemmer, A. S. a kol.: Rasčet skorostěj vitaniya v svobodnyh i stěsněnyh uslovijach. Izvěstija VUZ, Piščevaja tehnologija, 1962, č. 5. — 28. Korn, A. M.: Teoretičeskije predposylki usověršenstvovaniya pnevmotransportěrov zerna. Trudy VIM 32, Moskva, 1963. — 29. Korobov, M. M.: Pnevmo- i gidro-transport v piščevoj promyšlennosti. Těchlitgiz USSR, Kijev, 1963. — 30. Koskuba, K.: Příspěvek k praktické aerodynamice obilního zrna (část I a II). Zemědělská technika, 1962, č. 4-5. — 31. Kritzingier, C. A. J.: An Apparatus for Measuring the Speed of Pneumatically Transported Grains by Means of Radioactivity. Nuclear Instruments, 1957, č. 1. — 32. Machálek, M.: Clony a dýzy pro měření průtočného množství. Energetika, 1955, č. 12. — 33. Mer-ton, A.: Better Way to Trace Liquid Flow Patterns. Nuclear Science Abstracts, 1959, 13479. — 34. Metra Blansko: Měřič četnosti impulsů se zdrojem VN a sondou typ Metra N-30. — 35. Ministerstvo zdravotnictví a chemického průmyslu ČSSR: Vyhláška 34 ze dne 21. března 1963 o hygienické ochraně před ionizujícím zářením a o hospodaření se zdroji ionizujícího záření. Sbirka zákonů ČSSR, částka 19, 1963. — 36. Montens, A.: Die Verwendung von Radioisotopen in der Hydrologie und Hydraulik (část I a II). Atompraxis, 1959, č. 3-5. — 37. Myslivec, V.: Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumnictví. ČSAZV v SZN, Praha, 1957. — 38. Pražák, V.: Pneumatická doprava. Učební texty VŠ, SNTL, Praha, 1961. — 39. Putman, J. L.: Posledníje dostiženija v oblasti ispolzovaniya radioaktivnyh izotopov dlja promyšlennyh issledovanij i kontrolja těchnologičeskich processov (referát z 83 na 2. atomové konferenci v Ženevě 1958). Izbrannyje doklady inostrannyh učebnyh 10, Izdatělstvo GUIAE SM SSSR, Moskva, 1959. — 40. Rall, W. a kol.: Geschwindigkeitsmessungen an feststoffbeladenen Gasströmen mit brutto-radioaktivierten Testteilchen. Chemie-Ing.-Tech., 1965, č. 4. — 41. Sauerwein, K. a kol.: Priměněniye radioaktivnyh izotopov pri issledovanijach v oblasti pnevmatičeskogo i gidravličeskogo transporta uglja (referát 987 na 2. atomové konferenci v Ženevě 1958). Izbrannyje doklady inostrannyh učebnyh 10, Izdatělstvo GUIAE SM SSSR, Moskva, 1959. — 42. Segler, G.: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. Vlastním nákladem, Mannheim, 1934. — 43. Segler, G.: Pnevmatičeskij transport zerna. Selskoje chozjajstvo za rubežom, 1954, č. 3. — 44. Smoldyrev, A. E.: Uravněniye dvíženija vzvěšennogo tvěrdogo těla v trubach pri izotermičeskom těčeniji vozducha. Doklady AN SSSR, 1951, 80, 6. — 45. Spicyn, V. I. a kol.: Methody práce s radioaktivními indikátory. Nakladatelství ČSAV, Praha, 1957. — 46. Tatočenko, L. K.: Radioaktivnyje izotopy v priborostrojeniji. Izdatělstvo GUIAE SM SSSR, Moskva, 1960. — 47. Tesla Liberec: Katalog přístrojů a zařízení pro měření jaderného záření. Tesla Liberec, výzkumný závod Přemýšlení, 1960. — 48. Thorley, B. a kol.: An Analysis of Air and Solid Flow in a Spouted Wheat Bed. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1959, č. 3. — 49. Uematu, T. a kol.: Die experimentelle Untersuchung über die Teilchenbewegung und über die Geschwindigkeitsverteilung der Förderluft in einer pneumatischen Förderleitung. Bulletin of JSME, 1961, 4, 15. — 50. Universalnyj radiometr tipa „TISS“. 51. Urban, J.: Pneumatická doprava. SNTL-SVTL, Praha, 1964. — 52. Úřad pro normalizaci: Předpisy pro pracoviště s radioaktivními látkami, ČSN 34 1730. — 53. Uspenskij, V. A.: Skorosti častic i koeficienty sprotivlenija pri pnevmotransportě. Za ekonomiju topliva, 1951, č. 3. — 54. Uspenskij, V. A.: Pnevmatičeskij transport. Metallurgizdat, Sverdlovsk, 1959. — 55. Vávra, A. a kol.: Použití čítačové metody pro měření sledu krátkých časových intervalů. Zemědělská technika, 1965, č. 4. — 56. Vávra, A.: Rychlost častic při pnevmatické dopravě, I - teoretické řešení. Zemědělská technika, 1965, č. 10. — 57. Večerskij, P. A.: O metodach issledovanija dvíženija sypučich věščestv v těchnologičeskich apparatach. Izvěstija VUZ, Piščevaja tehnologija, 1962, č. 6. — 58. Weidner, G.: Grundsätzliche Untersuchung über den pneumatischen Fördervorgang, insbesondere über die Verhältnisse bei Beschleunigung und Umlenkung. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, 1955,

21, 5. — 59. Welschhof, G.: Pnevmatičeskij transport pri vysokoj koncentraciji përemëščajemogo matëriala. Kolos, Moskva, 1964. — 60. Zujev, F. G.: Issledovanie processa pnevmatičeskogo transportirovanija mëtodom vysokočastotnoj kinosjomki. Izvëstija VUZ, Piščevaja tëhnologija, 1960, č. 4. — 61. Žicharev, E. A.: Izměrenije skorosti dviženija častic sypučich matërialov v truboprovodach pnevmatičeskogo transporta. Inženërno-fizičeskij žurnal II, 1959, č. 1. — 62. Žicharev, E. A.: Eksperimentalnoje issledovanie charaktëra dviženija častic v truboprovodach pnevmatičeskogo transporta. Inženërno-fizičeskij žurnal II, 1959, č. 2.

Скорость частиц при пневматическом транспорте

II — экспериментальное исследование

Целью исследования было подтверждение правильности предложенного теоретического решения задачи о скорости частицы вдоль трубопровода (56).

В работе приводится обзор и классификация методов экспериментального изучения скорости частиц (табл. I), а также описание радиометрического метода пройденного пути и времени.

Экспериментальная установка автора состоит из пневматическо-механической части, измерительных систем (статические давления, массовый расход транспортирующего воздуха и транспортируемого материала, скорость транспортируемой частицы вдоль трубопровода) и элементов автоматического управления.

Скорость частиц измеряется радиометрическим методом пройденного пути и времени. Используется 10 измерительных станций, укомплектованных счетчиками Гейгера-Мюллера, экранированными свинцом. Выходной сигнал интенсиметра записывается при помощи шлейфового осциллографа совместно с отметкой времени с точностью 0,0005 сек. Экспериментальные частицы формы зерна пшеницы и гороха изготовлены из силона, активированы Co-60 путем вставки в них отрезка кобаниковой проволоки с последующей заклежкой. Активность частицы составляет приблизительно 0,8—1,2 мг-экв-радия. Приводится расчет требуемой активности частицы и расчет защиты работников от внешнего облучения. Экспериментальные частицы могут транспортироваться как в одиночку, так и в массе зерна пшеницы.

Результаты экспериментальных исследований отлично совпадают с теоретическим решением (рис. 9—11). При помощи дисперсионного анализа была доказана независимость кинематики транспортируемой частицы от массового расхода материала в изучаемых его пределах.

Правильность теоретического решения была экспериментально подтверждена. Впредь можно, следовательно, заменить часть экспериментов математическим моделированием процесса пневматического транспортирования на аналоговой вычислительной машине. Радиометрический метод пройденного пути и времени является пока самым совершенным методом для экспериментальных исследований.

Flow Velocity of the Particles in Pneumatic Conveying

II — Experimental Research

The aim of the investigation was to check up the correctness of the suggested theoretical solution of the project with respect to the speed of the particle along the pipeline (56).

The paper gives a survey and classification of the methods used for the experimental determination of the speed of the particles (table I) and a description of the radiometric method of the distance covered, and of the time.

The experimental equipment proper comprises the pneumatic and mechanical part, the measuring systems (to determine the static pressures, the mass flow rate of the air and of the material conveyed, the velocity of the particle conveyed along the pipeline) and the elements of the automatic control.

The velocity of the particles is measured by the radiometric method of the distance covered, and time. Ten measuring stations are being used, equipped with Geiger-Müller gauges shielded with lead. The signals of the integrator are recorded by means of a moving coil oscillograph over a time base, accurate to 0,0005 s. The experimental particles are shaped as grains of wheat and peas and are made of the silon plastic material, activated by an inserted and bonded piece of the cobanic wire Co-60. The activity of a particle is about 0,8—1,2 mg-ekv-Ra. By means of a calculation method described, the activity required and the safety precautions to protect the

operators against the outer irradiation can be determined. The particles can be conveyed either individually or in the stream of wheat.

The results obtained in the experimental research are fully consistent with the theoretical solution (Figs. 9—11). The analyses of variance proved the independance of the kinematics of the particle conveyed on the mass flow rate of the material within the limits investigated.

The correctness of the theoretical solution was proved by the experiment. Consequently, some of the experiments can be replaced by a mathematical simulating of the procedure by means of an analogue computer in future. The radiometric method of the distance covered and of the time has been up to now the best suitable method for the experimental research.

Geschwindigkeit der pneumatisch beförderten Teilchen

II — Experimentaluntersuchungen

Der Zweck der Untersuchung war es, die Richtigkeit der vorgeschlagenen theoretischen Lösung der Aufgabe über die Geschwindigkeit der Teilchen entlang der Rohrleitung zu bestätigen (56).

In der Abhandlung wird die Übersicht und Klassifizierung der Methoden für eine versuchsweise Ermittlung der Teilchengeschwindigkeit (Tab. I) und Beschreibung der radiometrischen Methode der zurückgelegten Strecke und Zeit angeführt.

Die Experimentalanlage selbst besteht aus dem pneumatischmechanischen Teil, den Meßsystemen (für statische Drücke, Massendurchsatz der Förderluft und des Fördergutes, Geschwindigkeit des zu befördernden Teilchens entlang der Rohrleitung) und Elementen für automatische Betätigung.

Die Teilchengeschwindigkeit wird mittels der radiometrischen Methode der zurückgelegten Strecke und der Zeit gemessen. Es werden 10 Meßstellen verwendet, die mit bleiabgeschirmten Geiger-Müller-Zählrohren bestückt sind. Die dem Integrator entnommenen Signale werden mittels eines Schleifenzillographen über der Zeitbasis mit einer Genauigkeit von 0,0005 sec aufgenommen.

Die als Weizen- und Erbsenkorn gestalteten Versuchsteilchen sind aus Silon hergestellt, mit Co-60 durch Einlage eines Cobanik-Drahtes aktiviert und eingekittet. Die Aktivität eines Teilchens ist ca 0,8 bis 1,2 mg-äkv-Ra. Es wird das Berechnungsverfahren für die erforderliche Aktivität sowie die Berechnung des Schutzes von Arbeitskräften vor der äußeren Bestrahlung angeführt. Die Teilchen können sowohl getrennt als auch im Strome des Weizenkornes befördert werden.

Die Ergebnisse der Experimentaluntersuchung decken sich vorzüglich mit der theoretischen Lösung (Abb. 9 bis 11). Durch die Analyse der Streuung wurde die Unabhängigkeit der Kinematik des zu befördernden Teilchens von dem Massendurchsatz des Gutes in dessen untersuchten Grenzen nachgewiesen.

Die Richtigkeit der theoretischen Lösung wurde im Experimentalverfahren bestätigt. Man kann also künftighin einen Teil von Experimenten durch mathematisches Modellieren des Vorganges eines pneumatischen Transportes auf dem Analogrechner ersetzen. Die radiometrische Methode der zurückgelegten Strecke und Zeit ist bis jetzt das allerbeste Verfahren für die Experimentaluntersuchung.

Adresa autora:

Inž. Alois V á v r a, Výzkumný ústav zemědělské techniky, Řeplý u Prahy

■ Výzkumu automatického řízení traktoru věnují v četných státech velkou pozornost, a to jak výrobci traktorů, tak i jejich uživatelé. Poměrně nejúplnější přehled o těchto pracích shrnula zemědělská skupina Evropské hospodářské komise [6].

Z tohoto materiálu vyplývá, že k výzkumným pracím na úseku automatického řízení traktoru došlo již na počátku našeho století, přičemž v letech 1929 až 1935 čelní výrobci traktorů (IHC, Allis Chalmers, Farmall, John Deere, Fordson) nabízeli k traktorům kopírovací zařízení jako doplňkové vybavení. Toto automatizační zařízení, určené hlavně pro orbu, se však v praxi neujalo, neboť zařízení nebyla provozně spolehlivá (složitě mechanické systémy vyžadující značných sil). Podstatného pokroku dosáhl Maurice Knight v r. 1935, jehož dva základní návrhy se v různé podobě používají v podstatě dodnes (mechanicko-hydraulický a mechanicko-elektro-hydraulický systém).

Technické předpoklady k uplatnění těchto zařízení vznikají teprve v poslední době, kdy v zemědělství dochází ke snižování počtu pracovníků při vyšší intenzitě práce, k používání vyšších pracovních rychlostí apod. Tyto okolnosti vedou ke zvýšenému používání automatizačních prvků. Jejich konstrukce je propracována tak, aby byly v nejširším měřítku použitelné v praxi. Pro výzkumné a některé speciální účely v praxi byla pak vyvinuta řada zařízení, která umožňují dálkové řízení a ovládání traktoru.

V ČSSR se výzkumné a vývojové práce zaměřují především na úsek řízení a dálkové ovládání mobilních agregátů [4, 5]. Práce v tomto směru započal VÚZS konstrukcí kultivátoru řízeného automaticky podle řádku rostlin. Z hmatáčů, ovládaných impulsy elektromagnetického rozváděče, se dobře osvědčil hmatáč mechanický, zatímco zkoušené snímače fotoelektrické nejsou zatím schopny rozlišit kulturní rostliny od plevelů. Vyvinuté zařízení bylo aplikováno u řízeného prosekávače cukrovky. Používání těchto strojů se však v praxi nerozšířilo.

Na úseku automatického řízení traktoru podle zadané trajektorie pracovalo především ČSPVST, které sestrojilo funkční model automatického řízení traktoru, pracující s nespojitou regulací. Spojitou regulací se zabývá v dalších pracích VÚZS. Automatické řízení tohoto typu bylo aplikováno na traktor a na sklízечи cukrovky, kde se velmi dobře osvědčilo.

Elektronické dálkové ovládání traktoru bylo pak funkčně zkoušeno v ČSPVST Brno a používáno při zkouškách traktorů.

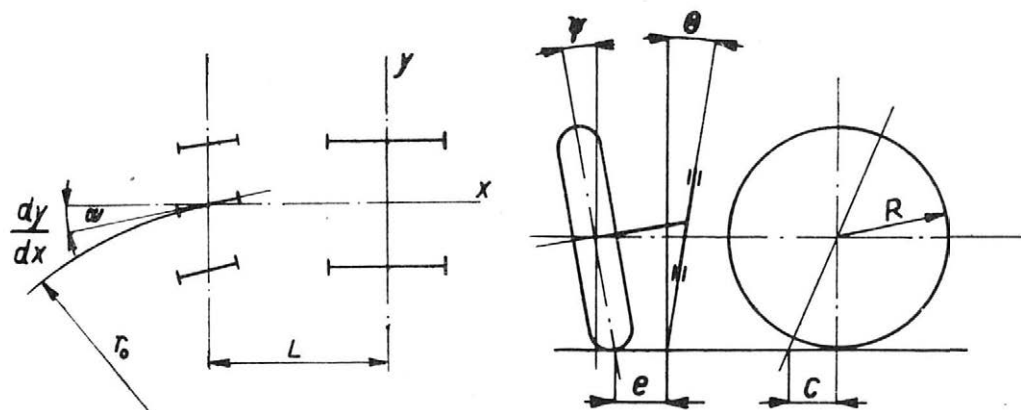
TEORIE AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ TRAKTORU

Teoretické zpracování automatického řízení traktoru je poměrně složitá otázka, zejména v případech, kdy jde o nespojitou regulaci s nelineárními členy. Jejím zpracováním se v dostupné literatuře zabývali pouze Liljedahl

a Strait [3]. V předkládané teoretické části práce byly aplikovány některé teoretické úvahy těchto autorů.

Stanovení základních vztahů mezi polohou hmatače a vlastní trajektorií traktoru (jeho předních kol) v závislosti na tvaru sledované nebo požadované dráhy traktoru vyžaduje zabývat se nejprve geometrií řízení a silami, působícími na traktor při změně směru jízdy.

Na obrázku 1 je schematicky znázorněn půdorys traktoru při jízdě do zatáčky. Poněvadž každé přední kolo traktoru jede do zatáčky jiným poloměrem, lze pro jednoduchost obě kola nahradit jediným kolem středním, které projíždí zatáčku poloměrem shodným s poloměrem středu přední nápravy traktoru.



1. Schéma traktoru při jízdě do zatáčky 2. Geometrie řízení traktoru

Předpokládáme-li, že každá změna směru jízdy se uskutečňuje po dráze skládající se z malých kruhových oblouků, působí na traktor v každém časovém úseku dt odstředivé zrychlení

$$a = \frac{v^2}{r_o} \quad (1)$$

Proměnnou veličinu r_o v tomto vztahu je možno vyjádřit ze závislosti

$$\frac{1}{r_o} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{1}{L} \quad (2)$$

kteřá platí pro malé hodnoty dy/dx vzhledem k tomu, že

$$\frac{dy}{dx} = \tan \alpha = \frac{L}{\sqrt{r_o^2 - L^2}} \approx \sin \alpha = \frac{L}{r_o} \approx \alpha$$

Odstředivá síla působící na řídicí kola traktoru je tedy

$$F_a = ma = m \frac{v^2}{r_o} = m \frac{v^2}{L} \cdot \frac{dy}{dx} \quad (3)$$

$$m = \frac{G_p}{g}$$

$$F_a = \frac{G_p}{g} \cdot \frac{v^2}{L} \cdot \frac{dy}{dx} \quad (4)$$

Tato síla vyvolává na kolech moment, který je nutno překonat momentem v řízení traktoru. Při obvyklé konstrukci řízení je nutno při vychýlení kol z přímého směru překonávat silově další moment, který vzniká nadzvedáváním přední části traktoru. Pro výpočet momentů je třeba stanovit ramena, na nichž působí obě síly. Vycházíme-li z geometrie řízení traktoru (obr. 2), působí odstředivá síla F_a na rameni, odpovídajícímu závleku kola c , a zatížení přední nápravy pak působí momentem kolem osy svislého čepu kola. Je tedy moment odstředivé síly:

$$M_a = F_a = \frac{G_p \cdot v^2 \cdot c}{g \cdot L} \cdot \frac{dy}{dx} \quad (5)$$

Od zatížení přední nápravy působí jako moment pouze složka kolmá k ose svislého čepu:

$$F_p = G_p \cdot \sin \Theta \quad (6)$$

Síla F_p působí na rameni ρ , které má při vychýlení předních kol o úhel α hodnotu

$$\rho = e \sin \alpha$$

Položíme-li $\sin \alpha = dy/dx$, je výsledný moment

$$M_g = G_p \cdot e \cdot \sin \Theta \frac{dy}{dx} \quad (7)$$

a součet momentů

$$M = M_a + M_g = G_p \left(\frac{cv^2}{gL} + e \sin \Theta \right) \frac{dy}{dx} \quad (8)$$

Nahradíme-li

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} = \frac{1}{v} \cdot \frac{dy}{dt}$$

přejde vztah (8) do tvaru

$$M = G_p \cdot \left(\frac{cv}{gL} + \frac{e \sin \Theta}{v} \right) \frac{dy}{dt} = ky' \quad (9)$$

Znamená to tedy, že moment, který je třeba překonat silami řízení, je pro daný traktor úměrný rychlosti blížení k zadané trajektorii. Výpočet tohoto momentu, popř. nutných sil na otáčení traktoru, předpokládá, že se traktor pohybuje na poměrně tvrdém terénu, tj. zanedbávají se síly, které vznikají bočním hrnutím půdy pneumatikami a jsou těžko definovatelné.

Uvažovaný moment M se vyrovnává rozdílem sil na obou stranách pístu hydraulického válce, ovládajícího řízení traktoru.

$$\frac{ky'}{ri} = \Delta p S \quad (10)$$

Rozdíl tlaků Δp na jednotlivých stranách válce je dán rozdílem vstupního a výstupního tlaku, zmenšeného o tlakovou ztrátu v řídicím šoupátku. Předpokládáme-li, že tlaková ztráta v řídicím šoupátku je stejná na vstupu i na výstupu, dostáváme pro rozdíl tlaků na pístu vztah

$$\Delta p = p_{\max} - p_o - 2 \Delta p_v \quad (11)$$

Hodnota tlaku $p_{\max}$ je dána nastavením pojistného ventilu hydraulického obvodu, p_o je dáno tlakem kapaliny v nádrži (blíží se nule).

$$\Delta p_v = \frac{1}{2} (p_{\max} - \Delta p) = \frac{1}{2} (p_{\max} - \frac{k}{riS} y') \quad (12)$$

Množství tlakového oleje je pak

$$Q = \varphi \beta d \sqrt{2g \frac{\Delta p_v}{\gamma}} = \varphi \sqrt{\frac{\Delta p_v}{\Omega}} \quad (13)$$

přičemž

$$\Omega = \frac{\gamma}{2g} \cdot \frac{1}{\beta^2 \cdot d^2}$$

Ze vztahu (13) je patrné, že průtočné množství je úměrné tlakovému spádu a charakteristickému parametru šoupátka Ω , v daném případě jeho zdvihu. Množství tlakového oleje procházející šoupátkem musí odpovídat množství vstupujícímu do hydraulického válce. Je tedy

$$Ss' = Q \quad (14)$$

Po dosazení (12) a (13) do rovnice (14) je

$$Q = Ss' = \varphi \sqrt{\frac{1}{2\Omega} (p_{\max} - \frac{k}{riS} y')} \quad (15)$$

Z geometrie řízení traktoru (viz obr. 2) plyne, že

$$s = ri \frac{dy}{dx} = \frac{ri}{v} \frac{dy}{dt} \quad (16)$$

$$s' = \frac{ds}{dt} = \frac{ri}{v} \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{ri}{v} y''$$

Dosazením tohoto vztahu do vztahu (4) dostaneme

$$S \frac{ri}{v} y'' = \varphi \sqrt{\frac{1}{2\Omega} (p_{\max} - \frac{k}{riS} y')} \quad (17)$$

Tato rovnice udává závislost mezi polohou traktoru y a polohou šoupátka φ . Řešení této rovnice (nelineární diferenciální rovnice druhého řádu) je obtížné.

Vzhledem k tomu, že

$$p_{\max} \gg \frac{k}{riS} y'$$

lze člen ky' zanedbat. Tím přejde závislost (17) do tvaru

$$S \frac{ri}{v} y'' = \varphi \sqrt{\frac{1}{2\Omega} p_{\max}} \quad (18)$$

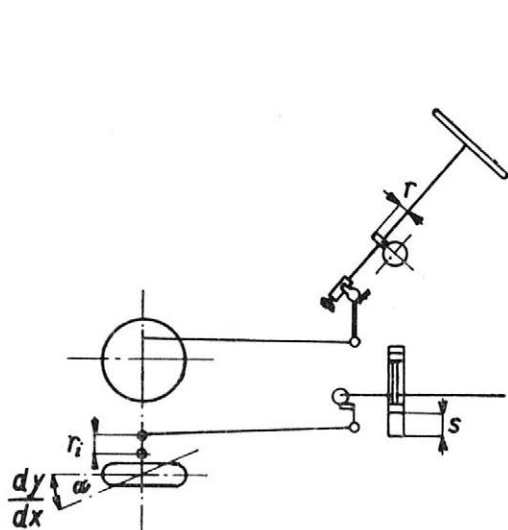
který je řešitelný.

FUNKČNÍ MODEL AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ TRAKTORU

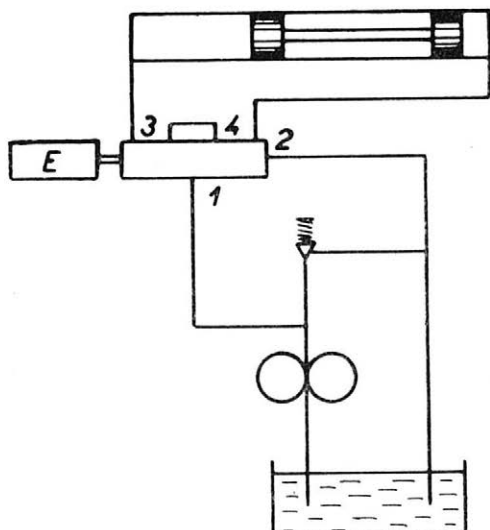
K výzkumu a laboratorním zkouškám automatického řízení kolového traktoru bylo použito funkčního modelu zařízení, zabudovaného v traktoru Zetor 3011 a vyvinutého v ČSPVST v rámci výzkumného úkolu „Výzkum automatizace traktorů“. Tento model byl dále upraven ve VÚZT podle potřeb řešeného úkolu.

Ovládání řízení traktoru bylo řešeno tak, aby nebylo zapotřebí větších změn na sériovém výrobku. Schéma řízení je znázorněno na obrázku 3.

Na hřídeli řídicího kola je naklínován pastorek, který zabírá do ozubeného hřebenu současně tvořícího pístní tyč dvoučinného hydraulického válce. Oba konce pracovního válce jsou připojeny k řídicímu šoupátku a na hydraulický okruh.



3. Schéma mechanické části automatického řízení traktoru



4. Schéma hydraulického obvodu automatiky

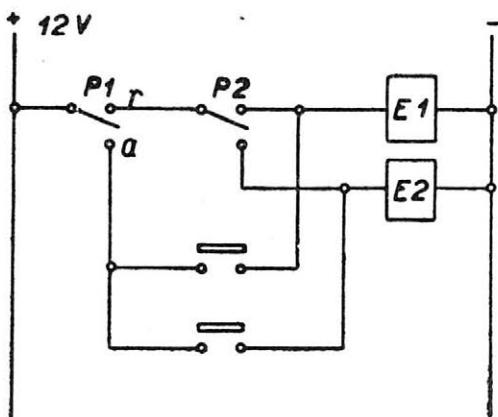
Hydraulický okruh (obr. 4) se skládá z nádrže, čerpadla, pojistného ventilu, řídicího šoupátka, pracovního válce a spojovacích elementů. Olej je z nádrže, tvořené převodovkou traktoru, nasáván zubovým čerpadlem NŠ-13/2, poháněným přímo klikovým hřídelem motoru přes zubovou spojku. Tlakový olej pak prochází přes pojistný ventil do třípolohového řídicího šoupátka 1 JVS 6809, rekonstruovaného pro elektromagnetické ovládání. V neutrální poloze je vstup do šoupátka propojen přímo přes přepad zpět do nádrže. Rozváděč ve své neutrální poloze umožňuje vzájemné propojení obou stran pracovního hydraulického válce a dovoluje tak ruční řízení traktoru. V pracovní poloze šoupátka je tlakový olej veden nad píst levého (praveho) prostoru pracovního válce, zatímco pravý (levý) prostor je propojen s přepadem do nádrže.

Šoupátko je ovládáno jádrem elektromagnetů, připojených k elektrickému obvodu zařízení.

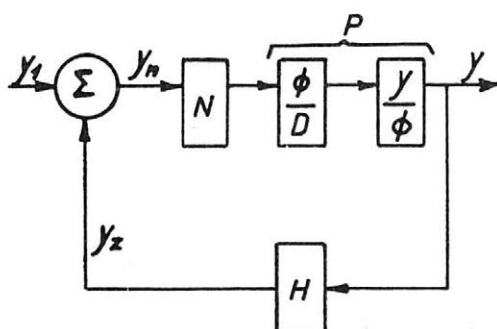
Elektrický obvod (obr. 5) se skládá ze zdroje, z přepínačů, 2 mikropsínačů, elektromagnetů a příslušných vodičů. Přepínačem *P1* se zapojuje buď okruh automatiky, nebo ruční ovládání elektromagnetů. Ruční ovládání elektromagnetů umožňuje třípolohový přepínač *P2*. Při zapnutí automatického ovládání se po-

mocí mikrospínačů zapínají elektromagnety; mikrospínače jsou ovládány vačkou, pevně spojenou s vertikální osou hmatače.

Mechanickou část obvodu tvoří hmatač a zpětná vazba. Hmatač je předstunut před řídicí kolo traktoru. Je umístěn na paralelogramu, umožňujícím horizontální i vertikální vychýlení. Jedno rameno paralelogramu tvoří pevný celek s vertikální osou, na níž je připevněna ovládací vačka mikrospínačů. Mikrospínače jsou zabudovány ve skřínce, která je otočná na ose hmatače. Její rameno je tuhou spojovací tyčí spojeno s řídicí tyčí řízení traktoru, čímž je vytvořena zpětná vazba automatiky. Činnost zpětné vazby je regulovatelná jednak změnou délky spojovací tyče, jednak změnou délky ramene základové desky mikrospínačů.



5. Schéma elektrického obvodu automatiky



6. Blokové schéma automatiky

REGULAČNÍ OBVOD

Popis regulačního obvodu a jeho funkce je uveden v předcházející stati. Tomuto obvodu odpovídá blokové schéma na obrázku 6.

Aby bylo možno stanovit přenosovou funkci celého obvodu, je nutno nejprve určit přenosové funkce jednotlivých členů, tj. poměru operátorových obrazů vstupní a výstupní funkce. Použitím Laplaceovy transformace přejde rovnice (18) v přenos (19)

$$\frac{Y}{\Phi} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2\Omega} p_{\max}}}{S \frac{ri}{v} p^2} \quad (19)$$

Přenos mezi mikrospínačem a řídicím šoupátkem je přímo

$$\frac{\Phi}{D} = \frac{\varphi_o}{\delta} \quad (20)$$

Přenos celého zařízení je

$$P = \frac{Y}{\Phi} \cdot \frac{\Phi}{D} = \frac{\varphi_o}{\delta} \frac{\sqrt{\frac{1}{2\Omega} p_{\max}}}{S \frac{ri}{v} p^2} = \frac{1}{\delta T_1 p^2} \quad (21)$$

kde

$$T_1 = \frac{Sri}{v \varphi_o \sqrt{\frac{1}{2\Omega} p_{\max}}} \quad (22)$$

Jelikož $\varphi_o \sqrt{\frac{1}{\Omega} p_{\max}}$ odpovídá průtočnému množství oleje pro zcela otevřené šoupátko (13), je možno vztah (22) převést do tvaru

$$T_1 = \frac{Sri \sqrt{2}}{v Q_o} \quad (23)$$

Označíme-li dále přenos nelineárního prvku N a přenos zpětné vazby H , dostaneme přenosovou funkci $y : y_1$ řešením obvodu podle obrázku 6:

$$y = (y_1 - H_y) NP \Rightarrow \frac{y}{y_1} = \frac{NP}{1 + HNP} \quad (24)$$

Podle údajů literatury nahrazuje se přenos nelineárního prvku tzv. ekvivalentním přenosem, který nezávisí na frekvenci vstupní veličiny, ale na její amplitudě, popř. na poměru amplitudy k necitlivosti. Ekvivalentní přenos lze stanovit početně; výsledky těchto výpočtů jsou pro často se opakující nelinearity uváděny v literatuře [2]. Pro nelineární prvek s reléovou charakteristikou může ekvivalentní přenos dosáhnout hodnoty nejvýše $N = \frac{2}{\pi} = 0,637$.

Z rovnice (24) plynou rovněž podmínky, za kterých je obvod nestabilní:

$$1 + HNP = 0; \quad PH = -\frac{1}{N} \quad (25)$$

Zobrazíme-li jednotlivé přenosy v komplexní rovině, je patrné, že funkce P a N leží v reálné ose (nemá imaginární člen), funkce $-\frac{1}{N}$ se blíží zleva hodnotě $\frac{\pi}{2}$. Splnění podmínky (25) a tím stability obvodu závisí na průběhu funkce H , tj. přenosu zpětné vazby. Aby obvod byl stabilní, musí mít přenos zpětné vazby (v operátorovém tvaru) imaginární člen. Tím i součin PH bude komplexní číslo, zatímco $-\frac{1}{N}$ je vždy hodnota reálná. Tím je zabráněno splnění podmínky (25); přenosová funkce $\frac{y}{y_1}$ bude mít řešení.

Zpětnou vazbou s požadovaným přenosem je záporná rychlostní zpětná vazba, která působí proti smyslu vzniklé odchylky úměrnou rychlostí.

Přenos tedy bude

$$H = T_2 p + 1 = T_2 j\omega + 1 = \frac{y_z}{y} \quad (26)$$

Hodnotu součinitele T_2 vypočteme porovnáním absolutních hodnot, popř. modulů komplexních čísel:

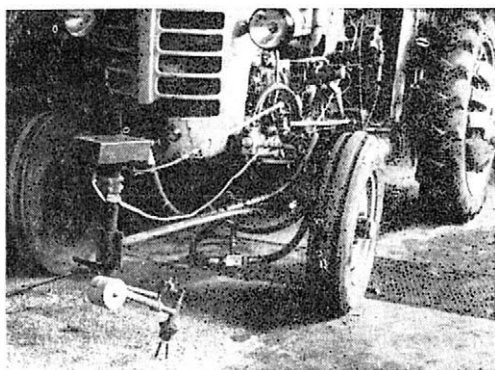
$$\begin{aligned} \text{mod } P \cdot H &= \text{mod } \frac{1}{N} \\ \sqrt{\frac{T_2^2 \omega^2 + 1}{\delta' T_1 \omega^2}} &= \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (27)$$

Amplituda přenosu H :

$$\begin{aligned} \arctg H &= \Phi = \arctg T_2 \omega \\ \omega &= \frac{\arctg \Phi}{T_2} \end{aligned} \quad (28)$$

Po dosazení do rovnice (27) a po úpravě dostáváme:

$$T_2 = \left(\frac{T_1 \delta \pi}{2} \cdot \frac{\sqrt{\arctg^2 \Phi}}{\arctg^2 \Phi + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$



7. Uspořádání hmatače a zpětnovazebního členu

VLIV ZPĚTNÉ VAZBY

Ve vztazích odvozených pro zpětnou vazbu je zpětná vazba charakterizována funkcí Φ . Pro závislost této funkce na geometrii řízení traktoru platí tyto vztahy (uspořádání zpětné vazby na obr. 7):

$$\frac{y}{l} = \frac{dy}{dx} \frac{p_1}{p_2}$$

$$y = l \frac{dy}{dt} \frac{dt}{dx} \frac{p_1}{p_2} = \frac{ly'}{v} \frac{p_1}{p_2} \quad (30)$$

Poněvadž dále podle rovnice (26) pro zpětnou vazbu v rozpojeném stavu platí, že

$$T_2 y' + y = 0; \quad y = |T_2 y'|$$

lze z rovnice (30) vyloučit y' a vyjádřit ji v závislosti na T_2

$$T_2 = \frac{l p_1}{v p_2} \quad (31)$$

Z rovnosti (31) a (29) plyne:

$$T_1 \delta \frac{\pi}{2} \frac{\arctg^2 \Phi}{\sqrt{\arctg^2 \Phi + 1}} = \left(\frac{l}{v} \cdot \frac{p_1}{p_2} \right)^2 \quad (32)$$

Z uvedeného je patrné, že geometrie zpětné vazby je skutečně funkcí Φ .

ÚPRAVA VÝPOČTU PRO DALŠÍ ŘEŠENÍ

Poněvadž výpočet automatiky normálními metodami je při řadě uvažovaných proměnných zdlouhavý a obtížný, bylo k výpočtu použito analogového počítače.

Rovnicí charakterizující regulační obvod je vztah (17), což je diferenciální rovnice druhého řádu, kterou je možno upravit ve tvar:

$$y'' = \frac{v q}{S r i} \sqrt{\frac{1}{2 \Omega} (f_{\max} - \frac{k}{r i S} y')} \quad (33)$$

Dosažením vztahu (22) do rovnice (33) za předpokladu, že charakteristický parametr šoupátka může mít jen tři hodnoty, a to

$$\varphi = 0; \quad +\varphi_0; \quad -\varphi_0$$

dostaneme:

$$y'' = \pm \frac{1}{T_1} \cdot \sqrt{1 - \frac{k}{p_{\max} r i S}} y' \quad (34)$$

Podle hodnoty φ nabývá rovnice (34) hodnot nulových, kladných nebo záporných.

K jejímu převedení do lépe řešitelného tvaru je nutno rozvést člen pod odmocninou v řadu a do rovnice (34) použít jen jejích prvních dvou členů:

$$y'' = \pm \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{k}{2p_{\max} r i S} y' \right) \quad (35)$$

Hodnota tohoto výrazu se řídí velikostí vstupního signálu do nelineárního členu. Jak vyplývá z blokového schématu (obr. 6), je hodnota y_n rovna rozdílu vstupní funkce y_1 a výstupu za zpětné vazby y_z :

$$y_n = y_1 - y_z \quad (36)$$

Přenos zpětnovazebního členu (26) je

$$H = T_2 p + 1 = \frac{y_z}{y}$$

a po provedení naznačených úkonů dostaneme:

$$y_z = T_2 y' + y \quad (37)$$

Je-li hodnota y_n větší než kladná necitlivost $+\delta$ nelineárního členu (mikrospínač ovládaný hmatačem), je znaménko v rovnici (35) kladné. Při y_n menším než záporná necitlivost $-\delta$ je znaménko v rovnici (35) záporné. Při hodnotách y_n uvnitř rozmezí $+\delta \div -\delta$ je $y'' = 0$.

Tyto tři možnosti je možno matematicky znázornit nerovnostmi:

$$\begin{aligned} y_n &= y_1 - (T_2 y' + y) > +\delta \\ y_1 - (T_2 y' + y) &< -\delta \\ +\delta &> y_1 - (T_2 y' + y) > -\delta \end{aligned} \quad (38)$$

Pro výpočet jsou tedy rozhodující vztahy (35) a (38). Rovnici (35) upravíme dále na tvar (39):

$$y'' = \pm A (1 - B y') \quad (39)$$

kde:

$$A = \frac{1}{T_1} = \frac{v Q_0}{S r i \cdot \sqrt{2}} \quad (40)$$

$$B = \frac{k}{2p_{\max} r i S} = \frac{G_p \left(\frac{c v}{g L} + \frac{e \sin \theta}{v} \right)}{2p_{\max} r i S} \quad (41)$$

Ve vztahu (38) označíme T_2 konstantou C :

$$y_n = y_1 - (C y' + y)$$

kde ve smyslu rovnice (29) je C rovno:

$$C = \frac{T_1 \delta \pi}{2} \left(\frac{\operatorname{tg}^2 \Phi}{\operatorname{tg}^2 \Phi + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (42)$$

Ze vztahů pro koeficienty A , B , C je patrné, že v obecném tvaru jsou ovlivňovány řadou činitelů, z nichž některé jsou konstantní pro všechny možné případy řešení a další jsou prakticky proměnné, které se stávají konstantami pro jednotlivé zkoumané případy. Při aplikaci na konkrétní případ je účelné nalézt řešení pro určité konkrétní podmínky, které přicházejí v praxi v úvahu. V praktickém řešení je měnění některých koeficientů omezeno technickým řešením celého zařízení. K těmto hodnotám patří váha traktoru, rozvor, poloha těžiště, geometrie řízení, zvolený typ servomotoru apod.

Za těchto podmínek závisí hodnota součinitele A pouze na rychlosti traktoru a na výkonu olejového čerpadla. Vzhledem k tomu, že rychlost traktoru je možno měnit jak zařazením různých převodových stupňů, tak i měněním otáček motoru, je nutno stanovit výkon olejového čerpadla v závislosti na otáčkách motoru.

Výkon olejového čerpadla pak může být limitujícím činitelem pro použitelnost automatického řízení dané konstrukce při zvyšování pracovní rychlosti traktoru. Obdobný vliv jako zvyšování pracovní rychlosti má na hodnotu součinitele A i zmenšování průměru (plochy) pístu ovládacího válce (servomotoru).

Hodnota součinitele B závisí nejen na konstrukčních parametrech traktoru a automatiky, ale i na rychlosti a pracovním tlaku hydraulického systému. Pracovní tlak hydraulického systému nezávisí prakticky na otáčkách čerpadla ani na dodávaném množství oleje a lze ho s dostatečnou přesností považovat za konstantní. Při konkrétním výpočtu se součinitel B mění při obvyklých pracovních rychlostech traktoru v poměrně malých mezích, při velmi nízkých rychlostech stoupá jeho hodnota výrazněji.

Z výrazu (42) je patrné, že součinitel C závisí nejen na rychlosti a dodávaném množství oleje (podobně jako součinitel A), ale je ovlivněn necitlivostí nelineárního členu a charakteristikou zpětné vazby, která je vyjádřena funkcí Φ . Necitlivost δ je na konkrétním zařízení měnitelná v poměrně širokém rozmezí. Z hlediska požadavků na co nejpresnější sledování zadané trajektorie je třeba dosáhnout co největší citlivosti zařízení. Na konkrétním provedení je možné nastavení necitlivosti $\pm \delta = 2$ cm při délce ramene hmatače $l = 600$ mm. Hodnota Φ určuje velikost přenosu zpětnovazebního prvku. Prakticky je měnitelná přestavováním délky ramen mechanismu zpětné vazby.

Z dříve uvedených vztahů je rovněž možno matematicky stanovit kritické hodnoty vstupní funkce. Z definice ekvivalentního přenosu nelineárního prvku [2] plyne, že v případě vstupní funkce definované jako

$$y_1 = A \sin \omega t$$

dosáhne se z hlediska regulované soustavy kritické hodnoty:

$$\frac{A}{\delta} = \sqrt{2} \quad (43)$$

kde A je amplituda vstupní veličiny a frekvence dosáhne podle rovnice (28) a (29) hodnoty:

$$\omega_k = \left(\frac{2 \sqrt{\operatorname{tg}^2 \Phi + 1}}{T_1 \sigma_\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (44)$$

ZÁVĚR

Teoretickým rozbohem automatického řízení traktoru byla prokázána možnost popsat nespojitou regulaci při automatickém vedení traktorového agregátu podle zadané trajektorie nelinerární diferenciální rovnicí druhého řádu a ověřit tak matematicky průběh a jakost regulace pro různé parametry jednotlivých regulačních prvků a podmínky, které se běžně v provozu vyskytují.

Použitá označení

a — zrychlení	$m\ s^{-2}$
A — amplituda vstupní funkce, konstanta pro výpočet na analogovém počítači	$cm, m\ s^{-2}$
B — konstanta pro výpočet na analogovém počítači	
c — závek řídicího kola traktoru	mm
C — konstanta pro výpočet na analogovém počítači	
d — délka šterbiny třípolohového šoupátka	mm
D — Laplaceův obraz necitlivosti	
e — poloměr rejdu řídicího kola traktoru	mm
f — frekvence	s^{-1}
F_a — odstředivá síla	kp
F_p — váhová složka síly působící kolmo na osu svislého čepu řízení	kp
g — zemské zrychlení	$m\ s^{-2}$
G — váha traktoru	kp
G_p — váha připadající staticky na přední nápravu	kp
H — přenos zpětné vazby	
i — převodový poměr	
k — součinitel momentu síly v řízení	kps
l — délka hmatače	m, mm
L — rozvor traktoru	m, mm
m — hmota	kg
M — moment síly	kpm
M_a — moment odstředivé síly	kpm
M_g — moment od zatížení přední nápravy traktoru	kpm
n — otáčky	min^{-1}
N — přenos nelineárního prvku	
p — Laplaceův operátor	s^{-1}
p_1 — délka ramene zpětnovazebního členu	m, mm
p_2 — délka ramene zpětnovazebního členu	m, mm
P_0 — tlak kapaliny v olejové nádrži	$kp\ cm^{-2}$
p_{max} — maximální tlak oleje	$kp\ cm^{-2}$
Δp — rozdíl tlaků na pístu servomotoru	$kp\ cm^{-2}$
Δp_v — tlaková ztráta na jedné straně řídicího šoupátka	$kp\ cm^{-2}$
P — přenos	
Q — množství tlakového oleje	$l\ min^{-1}$
r_0 — poloměr otáčení traktoru	$cm^3\ s^{-1}$
r — rameno působení síly servomotoru	m
s — poloha pístu servomotoru	mm
s' — rychlost pístu servomotoru	mm
S — plocha pístu hydraulického válce	$m\ s^{-1}$
t — čas	cm^2
T_1 — charakteristická konstanta regulačního obvodu	s
T_2 — časová konstanta zpětné vazby	$m^{-1}\ s^{-2}$
v — rychlost	s
y — hodnota výstupní funkce	$m\ s^{-1}$
y_1 — hodnota vstupní funkce	cm
y_z — hodnota výstupu ze zpětnovazebního členu	cm
$y_n = y_1 - y_z$	cm
Y — Laplaceův obraz výstupní funkce	cm
α — natočení řídicích kol traktoru	stupně

β — průtokový součinitel	
γ — měrná hmotnost	kg m ⁻³
δ — necitlivost	cm
ϕ — odklon řídicího kola traktoru	stupně
Q — rameno momentu síly F_p při vychýlení řídicích kol traktoru	mm
φ_0 — zdvih třípolohového šoupátka	mm
φ — poloha šoupátka	mm
Φ — Laplaceův obraz zdvihu řídicího šoupátka	
Θ — příklon rejdového čepu	stupně
ω — úhlová rychlost	s ⁻¹
ω_k — kritická úhlová rychlost	s ⁻¹
Ω — charakteristický parametr šoupátka	kg m ⁻² s ²

Došlo dne 8. 2. 1966

Literatura

1. Borský, V. - Matyáš, S.: Technika použití elektronických analogových počítačů. SNTL, Praha 1963. — 2. Kotek, Z. - Kubík, S.: Nelineární obvody. SNTL, Praha 1962. — 3. Liljedahl, L. A. - Strait, J.: Automatic Tractor Steering. Agricultural Engineering, 1962, June, str. 332-349. — 4. Pick, E. a kol.: Výzkum požadků na automatizaci stabilních procesů v zemědělské výrobě. Dílčí zpráva, VÚZT, Z-555, 1963. — 5. Santrůček, B.: Automatické řízení mobilních zemědělských strojů, Zpráva VÚZS č. 19-010,04, 1964. — 6. Automation in agriculture. EHK, AGRI/ WP2 69.

Теория автоматического управления трактором согласно заданной траектории

Путем теоретического анализа автоматического управления трактором была доказана возможность описания несвязной регулировки при автоматическом управлении тракторным агрегатом согласно заданной траектории нелинейного дифференциального уравнения второй степени; таким образом можно проверить математический ход и качество регулировки для разных параметров отдельных элементов регулирования и условия, которые на практике обычно встречаются.

A Study of the Automatic Steering of Tractors on Preselected Trajectories

A theoretical analysis of the automatic steering of tractors proved a possibility to describe a discontinuous steering action in the automatic guiding of a tractor with linked implements following a preselected trajectory by means of a nonlinear differential equation of the second order and thus to effect a mathematical verification of the course and quality of the steering for different parameters of the individual steering elements and conditions currently occurring in practice.

Die Theorie der automatischen Lenkung des Schleppers nach der vergebenen Trajektorie

Durch theoretische Analyse der automatischen Lenkung des Schleppers wurde die Möglichkeit der Beschreibung einer unstetigen Regelung bei automatischer Führung des Schlepper-Aggregates nach der vergebenen Trajektorie mittels einer unlinearen Differentialgleichung zweiter Ordnung nachgewiesen; somit konnte der Verlauf und die Qualität der Regelung für verschiedene Parameter der einzelnen Steuer- und Regelemente und Bedingungen, die im Betrieb üblich vorkommen, mathematisch überprüft werden.

Adresa autorů:

Inž. Evžen Pick, CSc., inž. Jaroslav Kosek, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, Repy u Prahy

■ V současné době se u nás řeší několik výzkumných úkolů, které mají naši zemědělské praxi přinést nové postupy při přípravě objemových krmiv pro skot, při jejich uskladňování a vydávání zvířatům do žlabů. V duchu požadavků na zprůmyslnění našeho zemědělství je nutno, aby tyto nové technologické postupy byly v co nejširší míře zajištěny mechanizačními prostředky. Součástí výzkumu technologických postupů jsou některé dílčí specializované úkoly, jejichž řešení slouží k hlubšímu poznání zkoumaných otázek. Jedním z těchto úkolů je řešení vztahu mezi hlavními fyzikálně mechanickými vlastnostmi siláže a provozními vlastnostmi vrchních vybíračů siláže z věží.

V úvodu tohoto pojednání nutno předeslat, že převážná většina strojů, které jsou začleněny do linek pro uskladňování objemových krmiv a jejich vydávání zvířatům do žlabů, jsou stroje dopravní, z nichž některé přímo vytvářejí velikost krmné dávky, která je zvířeti předkládána, jiné tuto dávku více či méně ovlivňují a konečně některé se na vytváření velikosti dávky vůbec nepodílejí.

V předkládané práci je z tohoto hlediska podroben hlubšímu rozboru vrchní vybírací stroj siláže z věží, který svou činností bezprostředně vytváří velikost dávek; předpokládáme, že v budoucnu bude tento stroj při dostatečném výkonu podávat krmivo přímo na krmný hrnec nebo unášivý dopravník, který může být užíván ve vazných neprůjezdných stájích. Proto byla u všech dosud u nás ověřovaných vybíračů siláže z věží vždy zjišťována tzv. nerovnoměrnost dávkování.

Tato veličina je vyšetřována tak, že v průběhu vybírání siláže strojem z věže je v pravidelných, rychle po sobě následujících intervalech krmivo zachycováno po předem stanovenou dobu do nádob a váženo. Z jednotlivých naměřených hodnot se pak vypočítá aritmetický průměr hmotnosti těchto dávek a dále směrodatná odchylka σ , jejíž velikost, vyjádřena v procentech průměrné dávky, se považuje za charakteristickou veličinu pro nerovnoměrnost dávkování. Doba odběru jednotlivých vzorků je stanovena vždy tak, aby velikost dávky přibližně odpovídala předpokládané velikosti dávky tohoto krmiva pro jeden kus a jedno krmení. K tomu je však třeba ještě doplnit, že až dosud nebylo ze zootechnického hlediska zřetelně stanoveno, jak velká smí být směrodatná odchylka od průměrné dávky; předběžně se uvádí podmínka

$$\sigma \leq 20 \%$$

Není však vyloučeno, že tato předběžně stanovená podmínka bude v budoucnu ještě zpřísněna.

I. Nerovnoměrnost dávkování různých vybíračů siláže

Vybírací stroj	Typ stroje	Materiál	Ovládání stroje	Směrodatná odchylka od průměrné dávky σ %
Badger	vrchní vybírače s vnější	kukuřice	ruční	14,58
Badger	shazovací	kukuřice	automatické	11,60
Starline	šachtou	kukuřice	automatické	11,92
		jetel	automatické	8,12
Big Jim	vrchní vybírače s vnitřní	vojtěška	ruční	30,5
VÚZS	shazovací šachtou	vojtěška	—	15,4
Harvestore	spodní	vojtěška	—	47,30
Harvestore	vybírače	vojtěška	—	30,30
Alkosil		vojtěška	—	10,50

Výsledky měření nerovnoměrnosti dávkování jednotlivých dosud u nás zkoušených vybíracích strojů jsou přehledně uvedeny v tabulce I.

Tato měření sice objasnila otázku tvorby dávek krmiva jednotlivými vybíracími stroji, avšak pouze v podmínkách konaného pokusu a nelze z nich tedy odvozovat obecnější vztahy mezi různými podmínkami a výsledkem nerovnoměrnosti dávkování. Této veličiny je nyní užíváno i v naší zkušební praxi jako ukazatele charakteristického pro konstrukci stroje.

Práce z poslední doby však prokázaly, že nerovnoměrnost dávkování vrchních vybíračů siláže z věží je ovlivněna mnoha činiteli, z nichž na důležitém místě je jednak kvalita zpracování materiálu, a dále rozložení materiálu ve věži, tedy fyzikálně mechanické vlastnosti materiálu. Dřívějšími pracemi [1, 2] bylo již prokázáno, že výkon vybíracího stroje a tedy též nerovnoměrnost dávkování ovlivňuje délka řezanky a obsah sušiny v materiálu, i když se zatím nepodařilo odvodit obecně platnou definici těchto závislostí. Na vysvětlení nutno připojit, že nerovnoměrnost dávkování lze vyjádřit též jako kolísání okamžitého výkonu stroje, neboť pod pojmem dávka g se rozumí

$$g = Q \cdot t$$

kde: Q = výkon stroje

t = konstanta, která má rozměr času

Teoreticky by tedy bylo možno usuzovat, že ve věži naplněné materiálem, řezaným na různou délku a rozloženým odděleně tak, že v jediném vodorovném řezu je část materiálu s větší délkou řezanky a část materiálu s menší délkou řezanky, bude vrchní vybírací stroj vybírat za jinak zcela stejných okolností nerovnoměrně, neboť po určitou část jedné otáčky by pracoval s krátkým materiálem a tedy s vyšším výkonem a část otáčky s delším materiálem a tedy s nižším výkonem. Obdobně by se projevila nerovnoměrnost dávkování i v tom případě, kdyby za jinak stejných okolností se v jediném vodorovném řezu projevila rozmanitost ve vlhkosti materiálu.

Tyto popsané případy však nemají na rovnoměrnost dávkování příliš významný vliv, neboť proměnlivost délky řezanky i proměnlivost vlhkosti materiálu ve věži se projevují mnohem nápadněji se změnou výšky náplně, než v jediném vodorovném řezu. To má své logické vysvětlení v postupu plnění věže, které pokračuje přibližně stejnoměrně odspoda nahoru a nikoliv od jedné strany věže ke druhé.

Souhrnně lze tedy vysvětlit, že mění-li se délka řezanky nebo vlhkost materiálu jen s výškou hladiny náplně věže, neprojevuje se za jinak stejných okolností nerovnoměrnost dávkování v krátkodobých intervalech (např. v průběhu jedné otáčky stroje ve věži), nýbrž v delších časových obdobích podle změny výšky sloupce siláže ve věži. Tuto nerovnoměrnost výkonu stroje a tedy i dávkování lze do jisté míry korigovat obsluhou stroje — různou velikostí hloubky záběru stroje [3]. Přes tyto již dříve zjištěné okolnosti zůstává nevysvětlena příčina poměrně vysoké nerovnoměrnosti dávkování při pokusech s některými vrchními vybírači, u nichž se podle dřívějších poznatků očekávala jen malá nerovnoměrnost dávkování.

1. ČÁST TEORETICKÁ

K dalším úvahám vezmeme za základ vztah pro hodinovou výkonnost stroje Q [3], totiž:

$$Q = F \cdot s \cdot n \cdot \gamma \cdot \frac{60}{1000} \quad (\text{q h}^{-1}) \quad (1)$$

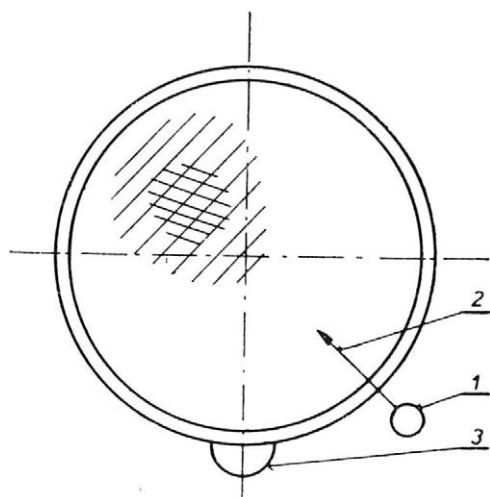
kde: F = plocha profilu náplně ve věži (m^2)

s = hloubka záběru frézovacího orgánu stroje (mm)

n = počet otáček otočné části stroje ve věži (min^{-1})

γ = objemová hmotnost materiálu ve věži (q m^{-3})

Vztahy mezi jednotlivými veličinami rovnice (1) pro $\gamma = \text{konst}$ byly již vysvětleny dříve [3]. Zůstává otázkou, zda objemová hmotnost materiálu γ se může za jinak stejných podmínek ve věži měnit nejen v závislosti na výšce sloupce materiálu, nýbrž i v jediném vodorovném průřezu věže, a dále, jaké důsledky by tento stav vyvolal.



Proměnlivost objemové hmotnosti materiálu γ ve vodorovných profilech věže je stav, který může velmi často vzniknout způsobem plnění věže. K objasnění této otázky lze uvést krajní (ovšem nevhodný) případ, že totiž věž byla plněna potrubím od metače, které je ukončeno neotočnou koncovkou bez možnosti zavádět materiál do různých míst profilu věže. Materiál tedy do věže dopadá stále na stejné místo, ve kterém se vytváří velmi zhutnělá vrstva nejen tím, že se zde materiál dopadem

1. Půdorys věže

1 — plnicí potrubí, 2 — směr plnění věže, 3 — shazovací šachta. Šrafováním je vyznačeno místo nejčastějšího dopadu částic materiálu

pěchuje, ale i tím, že se zde ukládají objemově těžší částice (části stonků, palic apod.), zatímco lehčí částice (lístky apod.) se rozlétají na podstatně větší plochu. Tento stav byl vytvořen v betonové věži průměru 9 m na pracovišti VÚZT při plnění v r. 1965, kdy byla původní otočná koncovka plnicího potrubí nahrazena koncovkou neotočnou. Na obrázku 1 je schematicky znázorněn půdorys této věže a šrafováním je vyznačeno místo nejčastějšího dopadu materiálu. Takto vzniklá nepravidelnost objemové hmotnosti materiálu ve věži se zřejmě projeví v činnosti vrchního vybíracího stroje též jistou nepravidelností; u stroje s hnacím bubnem [4] lze očekávat, že v tomto zhutnělém místě se zmenší hloubka záběru s , neboť při stejném seřízení stroje, které logicky nelze během jeho činnosti stále upravovat, bude stroj vnikat snadněji do materiálu méně upěchovaného než do materiálu znatelně tvrdšího. Při vybírání bude v tomto místě zajisté vznikat vyvýšenina, takže povrch nebude pravidelný, ale kuželovitý.

Zbývá tedy poslední otázka, jaký bude v tomto místě výkon (a tedy též dávkování) stroje, totiž v jakém vztahu bude zmenšení hloubky záběru s ke zvětšení objemové hmotnosti γ .

2. ČÁST EXPERIMENTÁLNÍ

2.1 STROJ POUŽITÝ PŘI POKUSECH

Při pokusech byl použit vrchní vybírač pro průměr věže 9 m. Stroj je zavěšen na jednom lanu, jeho pohon je upraven jedním hnacím bubnem. Materiál je odebírán z povrchu jedním frézovacím šnekem a dopravován k metači, který ho odhazuje do dopravního šneku a ten jej přemísťuje do vnější shazovací šachty.

2.2 DÉLKA ŘEZANKY A OBSAH SUŠINY V MATERIÁLU

Délka řezanky, se kterou stroj v průběhu pokusu pracoval, byla po celé období pokusů denně zjišťována. Výchozím materiálem byla kukuřice setá v polovině června, sklizená 15.—27. 10. 1965 sklízecí řezačkou E 066, dopravená do věže metačem SMPU 80 a z malé části hrnucím mechanickým dopravníkem.

K posouzení, zda náhodné výběry délek řezanky pocházejí z téhož základního souboru, lze použít Kolmogorov—Smirnovovy metody. Testovaná veličina λ je podle [5] definována vztahem

$$\lambda = D \sqrt{n} \quad (2)$$

kde: D = maximum absolutní hodnoty rozdílu kumulativních relativních četností náhodných výběrů

$$n = \frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}$$

n_1 = počet případů v prvním náhodném výběru

n_2 = počet případů ve druhém náhodném výběru

Vypočtené hodnoty λ jsou uvedeny v tabulce II. Jednotlivé náhodné výběry jsou označeny tak, že první římská číslice značí pokus a druhé číslo pořadí výběrů. Na dny pokusů připadají výběry označené I.2, II.6 a III.9.

Pro testování významnosti byla zvolena hranice významnosti 0,1 %, které odpovídá $\lambda_{0,001} = 1,95$. Z tabulky II vyplývá, že mimo dvojité orámované výsledky jsou všechny vypočítané hodnoty $\lambda < \lambda_{0,001}$, že tedy mimo výběr I.1 pocházejí všechny z jednoho základního souboru. Jelikož byl výběr I.1 odebrán

II. Hodnoty λ pro Kolmogorov-Smirnovův test porovnání rozdílů délek řezanky v průběhu pokusů

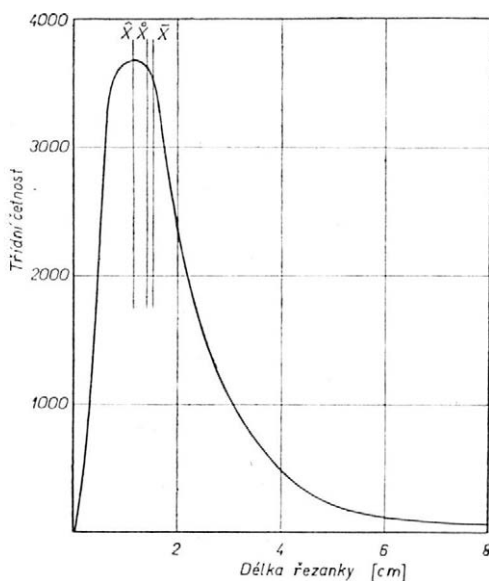
Označení výběrů	λ	Označení výběrů	λ	Označení výběrů	λ	Označení výběrů	λ
I.1/I.2	0,91	I.2/II.5	0,33	I.3/III.9	1,55	II.5/III.9	1,66
I.1/I.3	1,36	I.2/II.6	0,53	I.3/III.10	0,70	II.5/III.10	0,81
I.1/I.4	1,10	I.2/II.7	1,31	I.4/II.5	0,24	II.6/II.7	0,89
I.1/II.5	1,22	I.2/III.8	1,69	I.4/II.6	0,47	II.6/III.8	1,19
I.1/II.6	0,68	I.2/III.9	1,93	I.4/II.7	1,11	II.6/III.9	0,22
I.1/II.7	2,22	I.2/III.10	1,18	I.4/III.8	1,49	II.6/III.10	1,37
I.1/III.8	2,62	I.3/I.4	0,26	I.4/III.9	1,84	II.7/III.8	0,37
I.1/III.9	2,98	I.3/II.5	0,35	I.4/III.10	0,98	II.7/III.9	0,70
I.1/III.10	2,12	I.3/II.6	0,64	II.5/II.6	0,53	II.7/III.10	0,20
I.2/I.3	0,45	I.3/II.7	0,83	II.5/II.7	0,95	III.8/III.9	0,37
I.2/I.4	0,19	I.3/III.8	1,21	II.5/III.8	1,32	III.8/III.10	0,53
						III.9/III.10	0,88

dva dny před celkovým začátkem pokusů, je možno předpokládat, že se délka řezanky v průběhu pokusů neměnila a není tedy určujícím faktorem, který by mohl veličiny naměřené při pokusech ovlivnit.

Pro zpřesnění charakteristiky siláže použité při pokusech byly ještě stanoveny parametry souboru délek řezanky pro celý pokus, s vynecháním výběru I.1, použitím logaritmického normálního rozložení [6]. Křivka rozložení četností je vyznačena na obrázku 2, kde je modus $\hat{x} = 1,29$ cm, medián $\hat{x} = 1,45$ cm a střední hodnota $\bar{x} = 1,52$ cm.

Dalším faktorem, který by mohl mít vliv na zkoumanou nerovnoměrnost dávkování stroje, je obsah sušiny v materiálu. Proto byly při jednotlivých pokusech hodnoty obsahu sušiny v materiálu zjišťovány obdobně jako u délek řezanky a jsou uvedeny v tabulce III. Označení je v podstatě stejné jako u délek řezanky.

Jednotlivé hodnoty se od sebe jen velmi málo liší, pouze hodnota III.8 je menší, zřejmě vlivem předchozího deště. Domněnka, že se hodnoty od sebe



2. Charakteristiky délek řezanky v průběhu pokusů

III. Sušiny siláže v průběhu pokusů

Označení	Obsah sušiny %	Označení	Obsah sušiny %
I. 1	16,86	II. 6	17,82
I. 2	17,26	II. 7	16,56
I. 3	17,00	III. 8	14,95*)
I. 4	17,42	III. 9	16,52
II. 5	17,28	III. 10	17,55

* po dešti

významně neliší, byla ověřena neparametrickým pořadovým testem V [7]. Bylo testováno, zda se neodlišují naměřené hodnoty mezi jednotlivými pokusy I, II, III. Na pětiprocentní hladině významnosti není žádný rozdíl pořadových hodnot výběrů významný. Je tedy možno předpokládat, že obsah sušiny v materiálu není určujícím faktorem, který by mohl naměřené hodnoty nerovnoměrnosti dávkování ovlivnit.

2.3 OSTATNÍ PODMÍNKY POKUSŮ

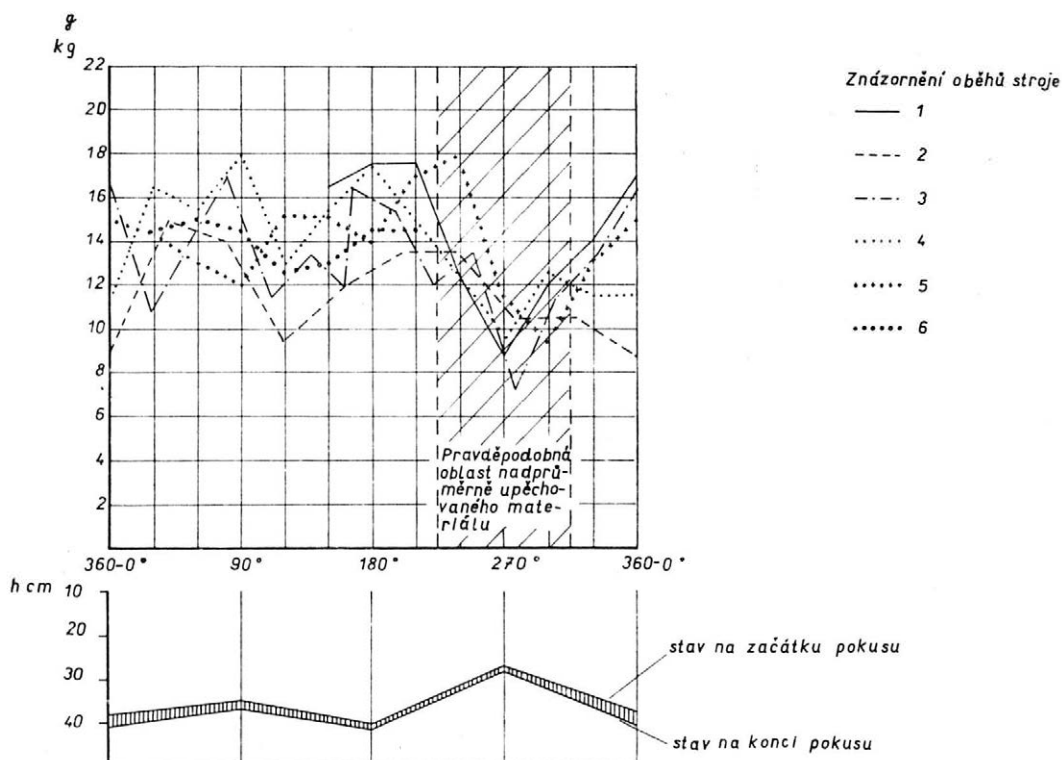
Během pokusů byl stroj popouštěn do záběru ručně. Obsluhován byl jedním pracovníkem, který reguloval hloubku záběru výhradně podle intenzity vy-
padávajícího proudu materiálu. Pracovník byl zacvičený. Ostatní podmínky pokusů jsou shrnuty v tabulce IV.

IV. Ostatní podmínky pokusů

Výška náplně materiálu ve věži	okolo hranice 8 m
Denně odebíraná výška vrstvy	5,67 – 19,67 cm
Výška vrstvy odebraná v době pokusů	99 cm
Denně odebírané množství	okolo hranice 40 q
Výkon stroje dosahovaný v období pokusů	30,62 – 40,66 q h ⁻¹
Celkem vybrané množství za dobu pokusů	536,15 q
Teplota vzduchu v době pokusů	0 – 7° C

2.4 ZJIŠŤOVÁNÍ NEROVNOMĚRNOSTI DÁVKOVÁNÍ

31. 1. 1966 byl vykonán první informativní pokus, jehož cílem bylo před-
běžně ověřit výše vysvětlené předpoklady. Nerovnoměrnost dávkování byla zkou-
šena podle dosud běžně užívané metodiky, avšak v záznamech výsledků měření
byla vždy vyznačena ukončená otáčka stroje ve věži. Tím bylo umožněno zpra-
covat výsledky do grafu (obr. 3), ve kterém je různými čarami vyznačen průběh
velikosti dávek g vždy pro každou otáčku stroje ve věži. Doba odběru vzorku
byla při všech pokusech 15 s. Na stejném obrázku dole je znázorněn tvar hla-
diny materiálu ve věži na počátku a konci tohoto pokusu, sestavený ze čtyř
měření. Tyto údaje jsou naměřeny od předem vyznačené vodorovné roviny na
stěně věže.



3. Grafické znázornění výsledků pokusu č. I

g – velikost dávky, h – údaj o stavu hladiny

Výsledek tohoto pokusu prokázal zřetelné zmenšení dávek v místě předpokládaného většího upěchování materiálu, jakož i zřetelné zvýšení hladiny materiálu v tomto místě.

Zavedeme-li značení:

n = počet měření

σ = směrodatná odchylka

g = velikost dávky (kg)

$\bar{g}$ = aritmetický průměr jednotlivých měření (dávky) (kg)

pak ze známého vztahu

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum g^2 - \bar{g} \cdot \sum g}{n - 1}} \quad (3)$$

lze vypočítat (pro $n = 61$)

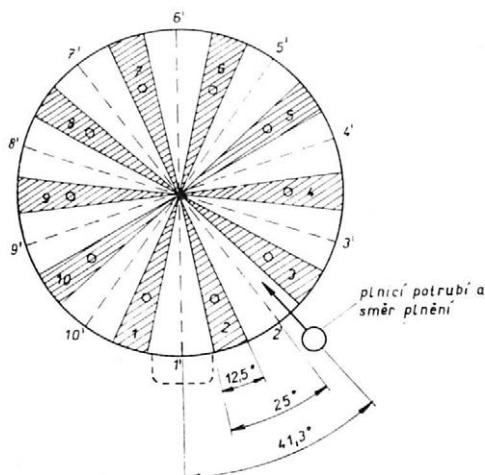
$$\sigma = \pm 2,76$$

a porovnáním s $\bar{g}$, což je

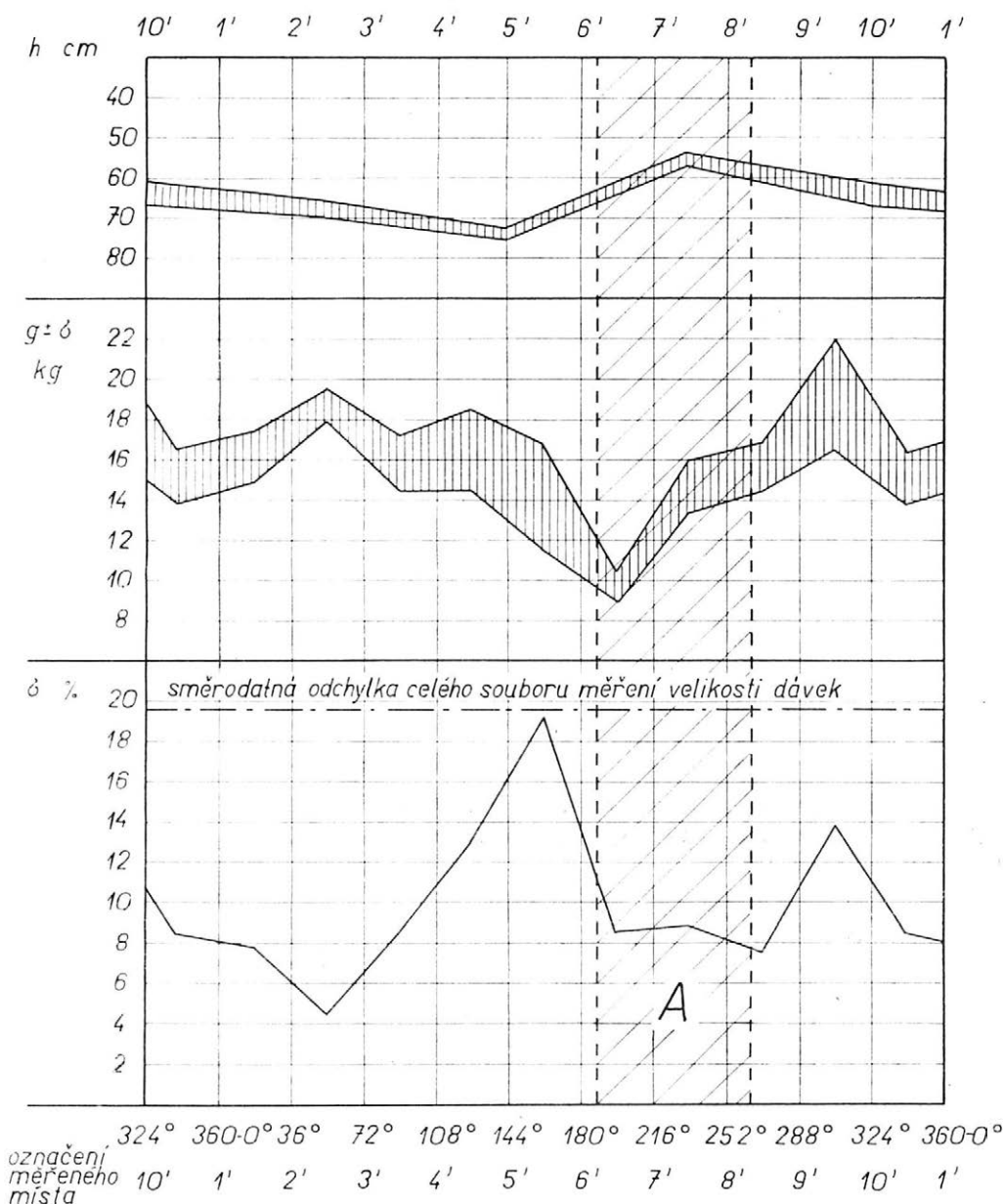
$$\bar{g} = 13,79 \text{ kg}$$

shledáváme, že

$$\sigma = \pm 20,01 \%$$



4. Půdorys věže s vyznačením míst, ve kterých bylo měřeno



5. Grafické znázornění výsledků pokusu č. II

g – velikost dávek, h – údaj o stavu hladiny, σ – směrodatná odchylka od průměrné dávky, vyjádřená v procentech průměrné dávky, A – oblast nadprůměrně upěchovaného materiálu

Vyloučíme-li z daného souboru měření všechna ta, která byla získána při odběru materiálu z místa předpokládaného většího upěchování siláže, a zpracujeme-li zbylá měření stejně jako výše, shledáváme, že

$$\bar{g} = 14,31 \text{ kg}$$

$$\sigma = \pm 2,04 \text{ kg} = \pm 14,26 \%$$

Tento pokus tedy naznačil, že rozdílné upěchování materiálu ve věži pravděpodobně velmi významně ovlivňuje nerovnoměrnost dávkování stroje. Proto byly připraveny další pokusy, ve kterých byl rozsah měření rozšířen a celý postup cílevědomě zpřesněn.

Plocha profilu věže byla rozdělena na deset polí (obr. 4), v nichž byly pravidelně měřeny jednotlivé ukazatele. Počet otáček stroje ve věži pro pokus byl stanoven na šest. Výsledky pokusu, vykonaného 4. 2. 1966, jsou graficky znázorněny v diagramech na obrázku 5.

V tomto případě bylo tedy možno zpracovávat všechny výsledky nejen jako jediný soubor měření, ale i samostatné výsledky, získané vždy ve stejném měřném místě.

Průměrná velikost dávky, stanovená ze všech měření, je

$$\bar{g} = 15,52 \text{ kg}$$

a směrodatná odchylka

$$\sigma = \pm 3,04 \text{ kg} = \pm 19,59 \%$$

Vyloučíme-li z tohoto souboru měření ty výsledky, které byly získány v polích 7 a 8, tj. v polích s nadprůměrně upěchovaným materiálem, shledáváme, že

$$\bar{g} = 16,41 \text{ kg}$$

$$\sigma = \pm 2,38 \text{ kg} = \pm 14,5 \%$$

Shodně jako při prvním pokusu bylo i zde shledáno významné zmenšení nerovnoměrnosti dávkování v případě, když ze zpracování vyloučíme výsledky měření z míst s nadprůměrně upěchovaným materiálem.

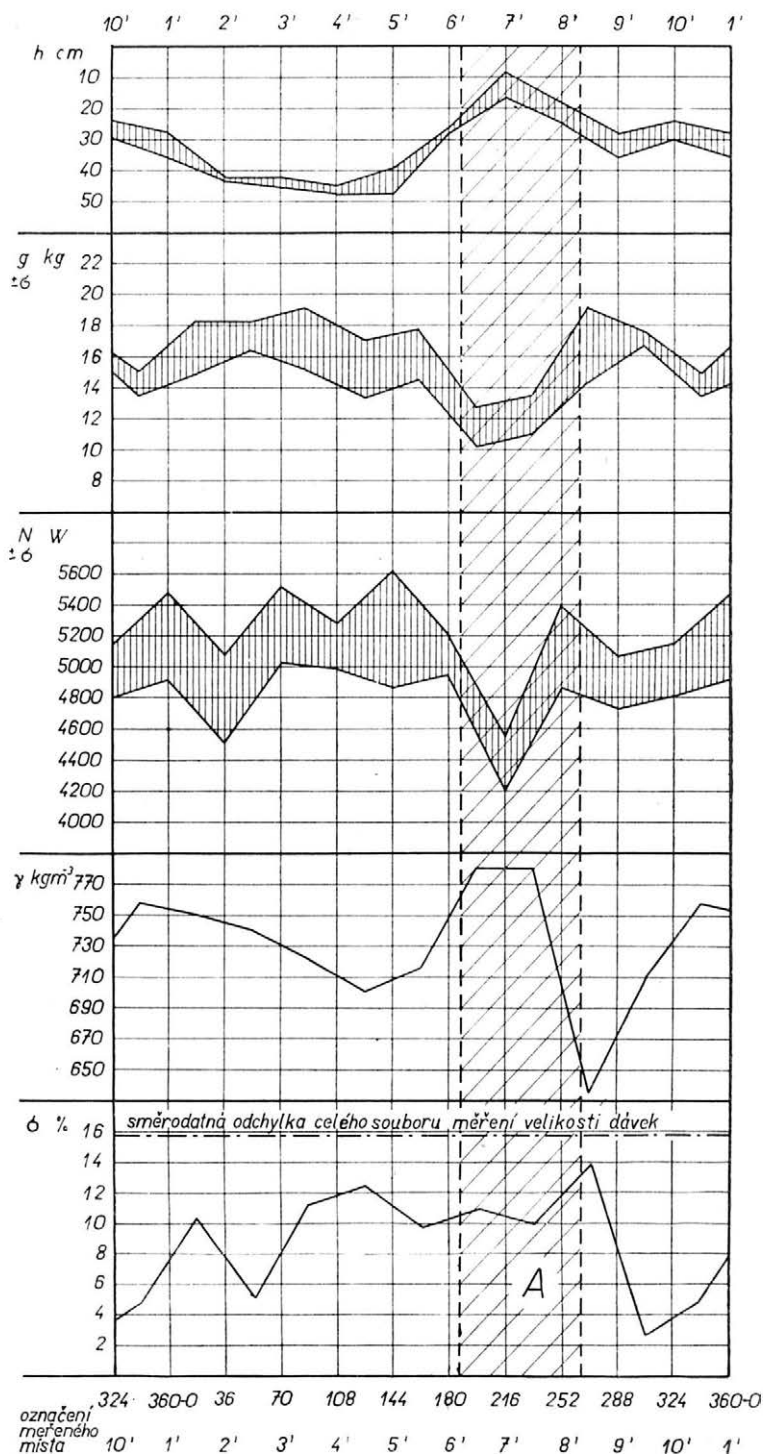
A dále: V jednotlivých měrných místech byla vypočtena směrodatná odchylka, jejíž velikost je pro tato místa vynesena v diagramu na obrázku 5 dole. Z tohoto znázornění je patrné, že směrodatná odchylka měření v jednotlivých měrných místech je (s výjimkou místa 6) vždy významně menší než směrodatná odchylka celého souboru měření.

Konečně dne 11. 2. 1966 byl vykonán poslední pokus, při kterém byl dále rozšířen rozsah měření, a to o měření příkonu N v jednotlivých měrných místech, dále o měření objemové hmotnosti materiálu γ v jednotlivých měrných polích a tvar hladiny byl sestaven z měření ve všech deseti měrných místech.

Objemová hmotnost materiálu γ byla stanovena bezprostředně po skončení pokusu odebráním a zvážení



6. Vyjímání vzorku siláže z přístroje pro určování objemové hmotnosti



7. Grafické znázornění výsledků pokusu č. III

g – velikost dávek, h – údaj o stavu hladiny, σ – směrodatná odchylka vyjádřená v procentech dávky, N – příkon motoru, γ – objemová hmotnost materiálu, A – oblast nadprůměrně upěchovaného materiálu

přesně určených objemů pomocí speciálního odebíracího ústrojí (obr. 6). Měřeno bylo na kružnici o průměru 6 m tak, aby sondované místo odpovídalo místu, z něhož byl odebrán vzorek při určování velikosti dávky [8].

Dále nutno ještě vysvětlit, že výška hladiny materiálu a příkon motoru byl měřen v místech, označených na obrázku 4 číslicemi s čárkou, zatímco dávky krmiva a objemová hmotnost materiálu byly zjišťovány v polích, označených prostými číslicemi. Číslování míst je vzestupné ve směru pohybu stroje. Tento postup bylo nutno volit s ohledem na technické zvládnutí úkolu.

Výsledky tohoto pokusu jsou graficky znázorněny v diagramech na obrázku 7. Stejně jako předcházející pokusy dokázal i tento, že v místech nadprůměrně upěchovaného materiálu se na hladině vytváří vyvýšenina a dávky krmiva se zde zmenšují (zmenšuje se výkon stroje).

Vypočtené veličiny z výsledků tohoto pokusu jsou:

$$\bar{g} = 15,40 \text{ kg}$$

$$\sigma = \pm 2,43 \text{ kg} = \pm 15,78 \%$$

Tytéž veličiny vypočtené z výsledků měření s vyloučením hodnot, které byly získány z míst 7 a 8, jsou:

$$\bar{g} = 16,26 \text{ kg}$$

$$\sigma = \pm 1,8 \text{ kg} = \pm 11,07 \%$$

tedy opět významně příznivější než z celého souboru měření.

Dále byly opět vypočítány směrodatné odchylky výsledků měření z jednotlivých měrných míst a tyto jsou graficky znázorněny na obrázku 7 dole. Zde se rovněž potvrdila již dříve popsána skutečnost, že totiž směrodatné odchylky výsledků měření z jednotlivých měrných míst jsou významně menší než směrodatná odchylka celého souboru měření.

Při posuzování výsledků, obsažených v diagramech na obrázku 7, nelze přehlédnout, že zvětšení objemové hmotnosti materiálu v polích 7 a 8 bylo prokázáno měřením a dále, že ve shodě s poklesem výkonu stroje v těchto místech se projevuje též pokles příkonu motoru.

Popsanými pokusy bylo tedy zajisté dostatečně prokázáno, že zvýšená ulehlost materiálu, která se projevuje jako výjimečné místo na hladině siláže ve věži, velmi významně ovlivňuje jak rovnoměrnost dávkování, tak i příkon hnacího motoru stroje. Kromě toho vzniká na povrchu náplně vyvýšené místo, které by v krajním případě mohlo způsobit provozní poruchu stroje.

Uvedené výsledky dále dokazují, že stroj, s nímž byly tyto pokusy konány, pracuje vcelku velmi pravidelně, i když celková výsledná nerovnoměrnost dávkování je poměrně dosti vysoká a pohybuje se přibližně v mezích

$$15 \% < \sigma < 20 \%$$

Vyloučíme-li při zpracování výsledků hodnoty zjištěné v měrných místech 7 a 8 (tj. kdyby v materiálu ve věži nebylo upěchované místo), ležela by nerovnoměrnost dávkování v těchto podstatně příznivějších mezích:

$$10 \% < \sigma < 15 \%$$

což je výsledek zajisté náležitě průkazný, a to tím spíše, že výsledky měření při jednotlivých pokusech mají velmi podobný charakter.

Z uvedeného však nesmí vzniknout nesprávná představa, že fyzikálně mechanické vlastnosti materiálu jsou jedinými činiteli, kteří ovlivňují rovnoměrnost dávkování vybíracího stroje. Kromě těchto okolností ovlivňuje nerovnoměrnost dávkování též konstrukce stroje, především pak způsob popouštění stroje do záběru. Již dříve bylo prokázáno, že ruční popouštění stroje do záběru, je-li pečlivě prováděno, nemusí příliš citelně zhoršovat nerovnoměrnost dávkování, ovšem za předpokladu, že je stroj zavěšen na navijáku se šnekovým převodem, poháněným klikou. Navijáky s pákovým pohonem a západkou nejsou z tohoto hlediska vhodné, neboť neumožňují dostatečně citlivou regulaci popouštění stroje. Nejlepších výsledků bylo v tomto směru dosaženo při popouštění automatickém.

3. PRAVIDELNOST ČINNOSTI STROJE V DELŠÍM OBDOBÍ

Vývody obsažené v předcházející stati se vztahují ke krátkodobé činnosti stroje, čímž nutno rozumět např. jediný den, kdy je vybírán materiál z věže. Ovšem otázka případných změn nerovnoměrnosti dávkování v delším období tím dostatečně objasněna není. Proto nyní navzájem porovnejme výsledky jednotlivých pokusů. Přitom nelze přehlédnout, že kromě času a výšky hladiny náplně ve věži byly všechny ostatní podmínky při všech třech pokusech, vykonaných v rozmezí dvanácti dnů, téměř stejné (viz stať 2.2 a 2.3).

Hlavní výsledky pokusů jsou souhrnně uvedeny v tabulce V. Před odvozením dalších úvah uvedme ještě tabulku hodnot vypočtených z jednotlivých výsledků pokusů s vyloučením měření, získaných v místě nadprůměrně upěchovaného materiálu (tab. VI).

Pokládáme-li proměnlivost směrodatné odchylky σ od průměrné dávky v rozmezí $\pm 5 \%$ za velice uspokojivou (což vyplývá ze samé podstaty tohoto jevu a z pokusů konaných u jiných strojů již po dobu dvou let), shledáváme, že stroj, se kterým byly tyto pokusy vykonány, vykazuje i z hlediska déletrvajícího pro-

V. Hlavní výsledky pokusů

Označení pokusu	Datum pokusu	Střední velikost dávky $\bar{g}$ kg	Směrodatná odchylka σ kg	Směrodatná odchylka σ %
I	31. 1. 1966	13,79	2,76	20,01
II	4. 2. 1966	15,52	3,04	19,59
III	11. 2. 1966	15,40	2,43	15,78

VI. Výsledky pokusů zpracování po vyloučení hodnot z míst 7 a 8

Označení	Datum pokusu	Střední velikost dávky $\bar{g}$ kg	Směrodatná odchylka σ kg	Směrodatná odchylka σ %
I	31. 1. 1966	14,31	2,04	14,26
II	4. 2. 1966	16,41	2,38	14,50
III	11. 2. 1966	16,26	1,80	11,07

VII. Průměrná velikost dávky za jednu otáčku stroje ve věži

Označení pokusu	Datum	Pořadové číslo otáčky					
		1	2	3	4	5	6
I	31. 1. 1966	14,47	11,92	13,33	14,83	13,96	14,21
II	4. 2. 1966	15,60	15,56	15,45	15,33	16,19	15,10
III	11. 2. 1966	14,94	16,60	14,83	14,83	15,56	15,45

vozu velice uspokojivou pravidelnost činnosti, a to i v tom případě, kdy je obsluhován ručně. Lze se oprávněně domnívat, že při automatickém popouštění by se tato nerovnoměrnost činnosti ještě dále zmenšila.

A dále: Údaje tabulky VI dokazují, že vyloučíme-li z věže abnormálně upěchovaná místa, zlepši se poměry nejen co do absolutní velikosti vytvářených dávek (a tedy též výkonu stroje), ale i pokud jde o rovnoměrnost dávkování, a to jak v krátkém, tak i v delším období.

Konečně lze ještě pro dokreslení pravidelnosti činnosti stroje uvést další, neméně zajímavou okolnost: při každém pokusu vykonal stroj vždy šest otáček ve věži. Stanovíme-li průměrnou velikost dávky vždy za jednu otáčku stroje ve věži, získáme hodnoty souhrnně obsažené v tabulce VII. Tyto výsledky znovu potvrzují, že stroj pracuje v delším období poměrně velice pravidelně, což dále prohlubuje výše uvedený výsledek. Je zřejmé, že nerovnoměrnost dávkování vzniká hlavně v průběhu jediné otáčky stroje ve věži (čas otáčky ve věži je mírně proměnlivý a je asi 7 min), což, jak bylo prokázáno, je způsobeno nerovnoměrným naplněním věže, přičemž tato nerovnoměrnost zůstává v celé výšce náplně, ve které byly pokusy konány, zhruba stejná.

4. SOUHRN POZNATKŮ A ZÁVĚR

Nerovnoměrnost dávkování u vrchních vybíračů siláže z věží není závislá jen na konstrukci stroje, nýbrž též na fyzikálně mechanických vlastnostech siláže, z nichž důležité z tohoto hlediska jsou: délka řezanky, obsah sušiny v materiálu a objemová hmotnost. Vliv změny obsahu sušiny v materiálu a vliv délky řezanky na pravidelnou činnost vrchního vybírače není zpravidla příliš nápadný, neboť rozdíly těchto veličin se ve shodě s postupem plnění věže projevují výrazněji vertikálně (se změnou výšky náplně) než v horizontálních rovinách. Důsledky změn těchto veličin se tedy častěji projevují jako pozvolné kolísání vlastností vybírače v delších obdobích, což lze do jisté míry korigovat obsluhou stroje.

Nepravidelnost fyzikálně mechanických vlastností siláže ve věži ve vodorovných rovinách působí proměnlivost vlastností vybíracího stroje v krátkých časových intervalech, ve skutečnosti během jediné otáčky stroje ve věži. Poněvadž tyto změny již nelze korigovat obsluhou stroje, projevují se jako nerovnoměrnost činnosti vybírače. Prakticky se takto může projevit různá objemová hmotnost materiálu, způsobená již při plnění věže tím, že materiál byl zaváděn stále na stejné místo (nebyl rozrovnáván). Tak vzniká v náplni sloupec nadprůměrně upěchovaného materiálu v místech nejčastějšího dopadu částic. Jestliže potom

při vybírání přejíždí vybírací stroj právě přes toto místo, zmenšuje se hloubka jeho záběru, klesá výkon i příkon a na hladině siláže se vytváří vyvýšené místo.

Praktické důsledky toho, co bylo výše vysvětleno, lze závěrem shrnout takto:

- Nerovnoměrnost činnosti vrchního vybíracího stroje není způsobena jen jeho konstrukcí (i když tato se na ní může podílet), ale též fyzikálně mechanickými vlastnostmi siláže; z nich pro provoz stroje je nejneprůpustnější proměnlivost objemové hmotnosti siláže ve vodorovných rovinách.
- Má-li být dosaženo přiměřeně pravidelné činnosti vrchního vybíracího stroje, musí být věž rovnoměrně naplněna. Tato okolnost zdůrazňuje tedy již dříve vytyčený požadavek na vývoj zařízení pro rozrovnávání materiálu ve věži při plnění.

Vývody této práce platí pro vrchní vybírače siláže z věží s hnacím bubnem. U strojů se zavěšeným rámem tato otázka dosud zkoumána nebyla.

Došlo dne 4. 3. 1966

Literatura

1. Blažek, J.: Zpráva VÚZT č. Z-627: Ověřování vrchních vybíračů siláže z věží s vnitřní shazovací šachtou. — 2. Blažek, J.: Rozbor hlavních provozních vlastností vrchních vybíračů siláže se zavěšeným rámem. Zemědělská technika, 1966, č. 4. — 3. Blažek, J.: Příspěvek k teorii a výpočtu vrchních vybíračů siláže. Zemědělská technika, 1965, č. 10. — 4. Blažek, J.: Zkušenosti z provozu horních vybíračů siláže z věží. Mechanizace zemědělství. 1965, č. 10. — 5. Myslivec, V.: Statistické metody zemědělského a lesnického výzkumnictví. ČSAZV v SZN 1957. — 6. Myslivec, V.: Oponentský posudek ke zprávě VÚZT: Užití radioizotopové stopovací metody pro měření roztečí semen v polních podmínkách. — 7. Pechač, V.: Vyhodnocování měření a početní metody v chemickém průmyslu. SNTL 1961. — 8. Fiala, J.: Některé fyzikálně mechanické vlastnosti siláže. Zemědělská technika, 1964, č. 10.

Влияние физико-механических свойств силоса на работу устройства для верхней выемки силоса

Нерегулярность работы устройств для верхней выемки силоса из башен зависит не только от конструкции машин, но и от физико-механических свойств силоса, прежде всего от длины резки содержания сухого вещества и объемной массы. В то время как длина резки и сухое вещество материала влияют на регулярность работы машины обычно в течение продолжительного периода, изменчивость объемной массы материала нередко проявляется в горизонтальных плоскостях, что имеет последствием нерегулярность действия машины в течение одного оборота. Это вызывается неправильным порядком работы при наполнении башни (недостаточное распределение слоев материала). Позже при выемке, в местах с чрезмерной утрямкой материала, производительность машины уменьшается (уменьшение глубины захвата), подводимая мощность двигателя слабеет и на поверхности образуется возвышенное место.

Следовательно для того, чтобы достичь соответствующей регулярной работы устройства для верхней выемки силоса, башню следует наполнять систематически.

Выводы настоящей работы действительны для устройств с верхней выемкой силоса из башен с приводным барабаном. У машин с навесной рамой этот вопрос пока что подробно не изучался.

Effect of the Physico-Mechanical Properties of Silage on the Performance of the Upper Unloaders

The irregularity of performance of the upper unloaders of silage from the tower silos is dependent not only on the construction of the machine but also on the physico-mechanical properties of silage, mainly on the length of chaff, on the

dry matter content and on the volume mass. Whereas the length of chaff and dry matter of the material influences the regular function of the machine usually in longer time-periods, can the variability of the volume mass of the material manifest itself often in horizontal levels, the consequence of which is the irregularity of machine performance during one rotation. It is usually brought about by an improper operation when filling the silo tower (insufficient spreading of material). In places where the material is excessively compressed there occurs the reducing of performance of the machine (reducing of depth of grab in unloading), lowering of engine input, and on the top surface there forms a heightened spot.

If, therefore, an adequately regular performance of the upper unloader is to be attained, the tower must be being filled up regularly.

The conclusions arrived at in this work hold for the upper unloaders of silage out of the tower silos equipped with a driving drum. In machines with a suspension frame this problem was not yet being investigated in detail.

Einfluß der physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Gärfutters auf die Tätigkeit der Obenentnahmegeräte

Die Unregelmäßigkeit der Tätigkeit der Obenentnahmegeräte aus den Silotürmen ist nicht nur von der Konstruktion der Maschine, sondern auch von physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Gärfutters, insbesondere von der Häcksellänge, von Trockensubstanzgehalt und von der Volumenmasse abhängig. Während die Häcksellänge und Trockensubstanz des Materials die regelmäßige Tätigkeit der Maschine gewöhnlich in längeren Zeitabschnitten beeinflussen, kann die Veränderlichkeit der Volumenmasse des Materials oft in waagrechten Ebenen zum Vorschein kommen, was eine Unregelmäßigkeit der Maschinetätigkeit im Laufe einer Umdrehung zur Folge hat. Das ist meistens durch einen ungeeigneten Vorgang bei der Silobefüllung (ungenügendes Ausbreiten der Materials) verursacht. Bei der Entnahme dann auf den Stellen, wo das übermäßig gestampfte Material ist, kommt die Verminderung der Maschineleistung zum Vorschein (Verminderung der Entnahmetiefe), Senkung der Leistungsaufnahme des Motors, und auf der Oberfläche entsteht eine erhöhte Stelle.

Wenn also eine angemessen regelmäßige Tätigkeit des Obenentnahmegerätes erreicht werden soll, so muß der Siloturm regelmäßig befüllt werden.

Die Schlüsse, zu den man in dieser Arbeit gekommen ist, gelten für die Obenentnahmegeräte aus den Silotürmen, die mit Trommelantrieb versehen sind. Bei den Maschinen mit aufgehängten Rahmen wurde diese Frage noch nicht ausführlich geprüft.

Adresa autorů:

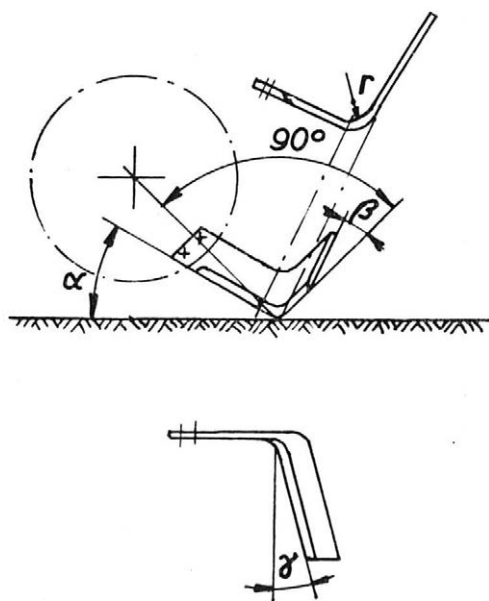
Inž. Josef Blažek, CSc., inž. Jiří Fiala, CSc., Výzkumný ústav zemědělské techniky, Řepy u Prahy



■ V posledních letech se v celém světě značně rozšiřuje používání strojů pro zpracování půdy s rotačními pracovními orgány. I v ČSSR je řešena otázka použití těchto strojů a v současné době jsou pro sériovou výrobu připraveny rotační kypřič pro traktor Zetor 4011 a rotační plečka pro traktor Zetor 3011. S širokým použitím těchto strojů se počítá hlavně v oblastech s těžkými půdami, kde současně nářadí na zpracování půdy pracuje nedostatečně, hlavně pokud jde o nízký stupeň drobení půdy a ničení plevelů. Od rotačních strojů se očekává především odstranění těchto nedostatků nářadí s pasívními pracovními orgány. Jejich další výhodou je možnost využití plného výkonu moderních, váhově lehkých kolových traktorů, neboť nároky rotačních strojů na tažnou sílu jsou v důsledku přenosu energie traktoru pomocí kloubového hřídele velmi nízké. Jako perspektivní stroj je uvažován hlavně rotační kypřič pro své univerzální použití během celého roku; tento stroj se ve zkouškách osvědčil při předseťové přípravě půdy k okopaninám a ozimým obilovinám, pro zapravení zeleného hnojení do půdy, pro podmítku, pro obnovu luk a pro kultivační práce v zelinářství, chmelačství, vinařství i ovocnářství.

Stroje s rotačními pracovními orgány jsou však charakterizovány poměrně vysokou spotřebou energie na zpracování jednotkového objemu půdy.

Při zkouškách rotačních kypřičů bylo zjištěno, že spotřebovaná energie a kvalita zpracování půdy závisí též na typu použitých pracovních orgánů — nožů. Při provozu těchto strojů se používá hlavně tři typů pracovních orgánů: nože „L“, nože šípového a nože zaobleného. Nože dlátové (drapákové) se používají jen zřídka, neboť půdu při jejím zpracování spíše trhají než odřezávají, což má za následek rozprašování půdy a vysokou spotřebu energie. U těchto nožů dochází též k jejich za-



1. Frézovací nůž „L“



lepování rostlinnými zbytky a pleveli a nelze je použít pro zapravení chlévské mrvy nebo zeleného hnojení do půdy.

Pro univerzální použití se nejlépe osvědčil nůž L (obr. 1), jehož předností v porovnání s nožem zaobleným je vysoká účinnost drobení půdy a urovnávání jejího povrchu, rovné dno zpracované vrstvy a též jeho jednoduchá výroba. Při práci na utužené půdě se však tento nůž špatně zahlubuje, takže pro podmítku nebo pro zpracování půdy bez předchozí orby se lépe osvědčil nůž šípový, který lépe vniká do půdy.

1. VLASTNÍ PRÁCE A METODIKA

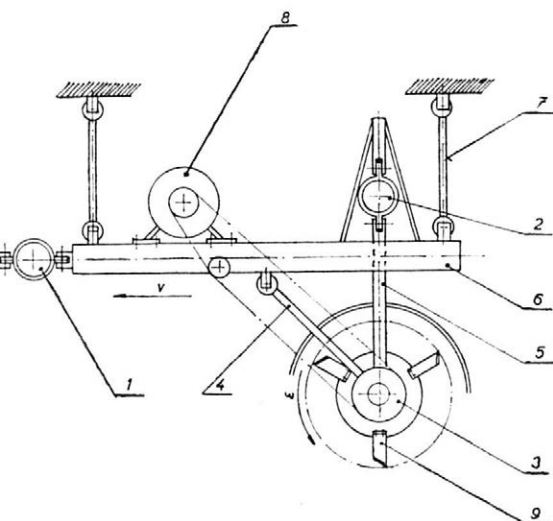
Za účelem stanovení zásad pro volbu optimálních pracovních úhlů frézovacích nožů z hlediska spotřebované energie bylo navrženo laboratorní zkušební zařízení pro energetická měření rotačních pracovních orgánů a na tomto zařízení byly zkoušeny zkušební nože.

1.1 POPIS MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

Měřicí zařízení bylo řešeno jako laboratorní pro použití v půdním kanálu, neboť tímto způsobem bylo možno vyloučit vliv kolísání pracovní hloubky a nestejnorodosti zpracovávané půdy. Stálost pracovní hloubky byla při měření zaručena vedením měřicího zařízení po kolejkách půdního kanálu a konstantní půdní podmínky byly dány vždy stejnou vlhkostí půdy v půdním kanálu a stejným způsobem její přípravy před měřením. V půdním kanálu bylo použito hlinitopísčité půdy s vysokým obsahem písku, která prakticky nepodléhala vlivům stále opakovaných mechanických zásahů. Použitá půda měla toto mechanické složení:

Kategorie zrn	I	II	III	IV
Množství v %	13,9	6,3	11,1	68,7

Před každým měřením byla půda upravena na vlhkost 11–13 %, urovnána smykem pevně připojeným k rámu vozu půdního kanálu, utužena lehkým válcem a znovu třikrát usmykována, takže bylo dosaženo dokonalého urovnání povrchu a rovnoměrného utužení půdy.



Měřicí zařízení bylo navrženo tak, aby umožňovalo stanovit průběh sil působících na jeden frézovací nůž při jeho průchodu půdou (obr. 2). Rotor 3, nesoucí tři frézovací nože 9, je k rámu měřicího zařízení 6 kloubově uchycen pomocí dvou šikmých 4 a dvou svislých ramen 5, která spolu s tahovým dynamometrem 2 zachycují posuvný pohyb rotoru. Rám měřicího zařízení je k rámu vozu půdního kanálu kloubově uchycen pomocí tří ramen 7 a pomocí tahového dynamometru 1, který zachycuje jeho vodorovný pohyb.

2. Schéma měřicího zařízení půdního kanálu

Pohon rotoru je uskutečněn řetězovým převodem od převodové skříně. Krouticí moment je od elektromotoru na převodovou skříň přenášen klínovým řemenem. Vůz s měřicím zařízením se pohybuje po kolejnicích, umístěných po obou stranách půdního kanálu.

Pro zjišťování a registraci krouticího momentu a sil bylo použito metody měření neelektrických veličin elektrickou cestou pomocí elektronických přístrojů s nosným proudem, zabudovaných v měřicím voze. Použitá metoda umožňuje zjišťovat jak statické průběhy měřené veličiny, tak i průběhy dynamické, a to s kmitočtovým spektrem až do 200 Hz. Při měření bylo použito snímačů na principu odporových tenzometrů, typu G 120, zapojených do úplného Wheastona mostu. Pro měření krouticího momentu na hřídeli rotoru byly tenzometry napojeny přímo na zvlášť upravený hřídel, který byl přírubou pevně spojen s hřídelem rotoru. Spojení snímačů s přívodními kabely bylo realizováno prostřednictvím osmikroužkového agregátu, umístěného na konci hřídele. Kroužkový agregát má stříbrné kroužky a stříbrografitové kartáčky a je vybaven zařízením dodávajícím impulsy v závislosti na otáčkách rotoru. Tyto impulsy jsou registrovány současně s měřeným krouticím momentem. Svislá a vodorovná síla byla měřena speciálními měřicími články rovněž s nalepenými odporovými tenzometry.

K měření byla dále použita staticko-dynamická měřicí aparatura TDT 59, konstrukce VÚZT, a smyčkový oscilograf N 700 s registrací na papír šířky 120 mm. Začátek a konec měřicí dráhy o délce 2 m byl snímán elektricky prostřednictvím kontaktního zařízení.

Na registrační papír byly při měření zachycovány tyto hodnoty:

časová základna,
začátek a konec dráhy měření,
otáčky rotoru,
krouticí moment,
vodorovná složka síly,
svislá složka síly.

Posuv registračního papíru činil 160 mm/s.

1.2 POPIS ZPŮSOBU MĚŘENÍ

Při zkouškách v půdním kanálu byly měřeny tyto tvary nožů:

a) Nože se změnou úhlu vstupu svislé části nože do půdy (úhel α). Pro měření byly vyrobeny nože ve tvaru desky s úhlem α , který měl hodnoty 0° , 15° , 30° , 45° .

b) Nože se změnou drobicího úhlu (úhel β). Úhel β zkušebních nožů činil 20° , 25° , 30° , 35° .

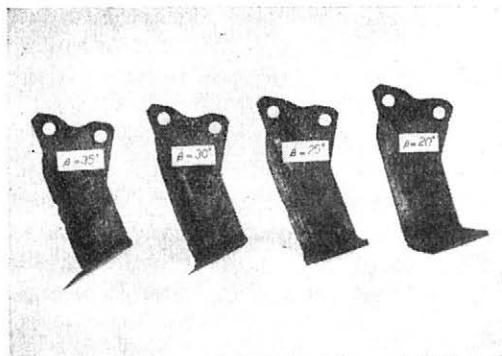
c) Nože se změnou úhlu nastavení ostří (úhel γ). Úhel γ činil -30° , -20° , -10° , 0° , 10° , 20° , 30° .

d) Nože se změnou poloměru zaoblení r , který měl hodnoty 0 mm, 15 mm, 30 mm, 45 mm.

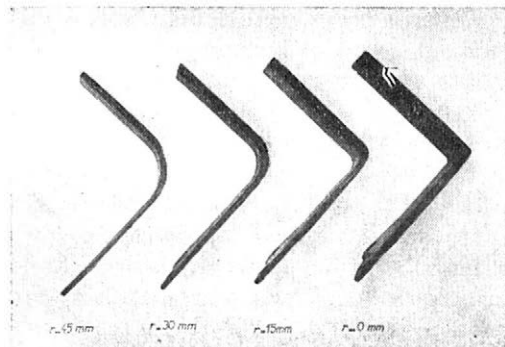
U zkušebních nožů byl vždy změněn pouze jeden úhel nebo rozměr, ostatní hodnoty zůstaly konstantní, a to:

$$\alpha = 15^\circ, \beta = 25^\circ, \gamma = 0^\circ, r = 0 \text{ mm}$$

Šířka záběru všech nožů (mimo nožů se změnou úhlů α) byla 150 mm. Každý typ nožů byl měřen při otáčkách rotoru 122, 160 a 199 ot./min, při



3. Zkušební nože pro měření vlivu změny úhlu β



4. Zkušební nože pro měření vlivu změny poloměru zaoblení r

poloměru rotoru $R = 210$ a $R = 265$ mm, přičemž pojezdová rychlost byla vždy volena tak, aby poměr k obvodové a pojezdové rychlosti $\left(k = \frac{v_o}{v_p}\right)$ se rovnal 3,5. Všechna měření se uskutečnila při hloubce zpracování půdy $h = 10$ cm. Na rotoru byly umístěny vždy tři stejné nože.

1.3 ZPŮSOB VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

a) Čas t k projetí zkušební dráhy 2 m byl stanoven na základě registrace začátku a konce dráhy a na základě časové základny:

$$t = \frac{\text{počet kmitů časové základny}}{\text{frekvence kmitů časové základny}} \text{ (s)}$$

b) Pojezdová rychlost:

$$v = \frac{2}{t} \text{ (m/s)}$$

c) Počet otáček rotoru:

$$n = \frac{\text{počet záznamů otáček}}{t} \cdot 60 \text{ (ot./min)}$$

d) Krouticí moment:

Z diagramů byl planimetricky stanoven střední krouticí moment. Střední velikost špiček krouticího momentu byla stanovena jako aritmetický průměr velikosti špiček krouticího momentu od průchodu jednotlivých nožů půdou.

e) Velikost vodorovné a svislé síly byla stanovena planimetricky.

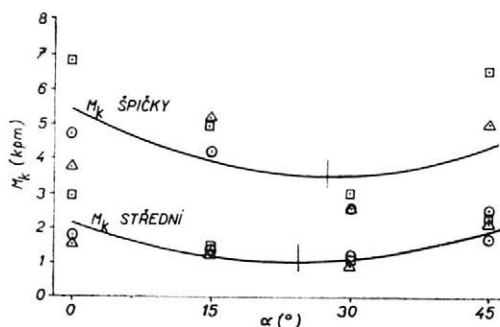
Jednotlivé hodnoty průměrného krouticího momentu a špiček krouticího momentu byly naneseny do diagramů.

Na základě průběhu těchto hodnot v závislosti na změně úhlů α , β , γ a poloměru zaoblení nože r byl vyrovnán průběh krouticího momentu, a to u nožů se změnou úhlu α a γ parabolou a u nožů se změnou úhlu β a z poloměru zaoblení r přímkou. Vyrovnání bylo uskutečněno početně metodou nejmenších čtverců, tj. byly vypočteny konstanty navržených přímek a křivek tak, aby součet čtverců odchylek vypočtených hodnot od naměřených byl minimální.

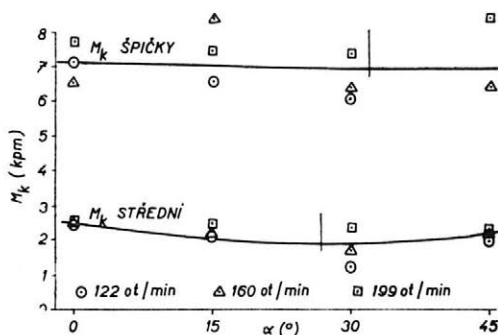
2. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

2.1 VLIV VELIKOSTI ÚHLU VSTUPU SVISLÉ ČÁSTI NOŽE DO PŮDY (ÚHEL α)

Při zkouškách se dosáhlo nejnižších hodnot středního krouticího momentu a špiček krouticího momentu u nožů s úhlem $\alpha = 30^\circ$, a to jak při různých obvodových rychlostech rotoru, tak i při různých poloměrech rotoru. Působící svislá a vodorovná síla měly nepravidelný průběh a pohybovaly se: vodorovná síla v rozmezí $4,7 \div 15,4$ kp a svislá síla v rozmezí $4,4 \div 16,4$ kp. (Kladný smysl vodorovné síly je uvažován ve směru pojezdu a svislé síly vzhůru.) (Obr. 5, 6.)



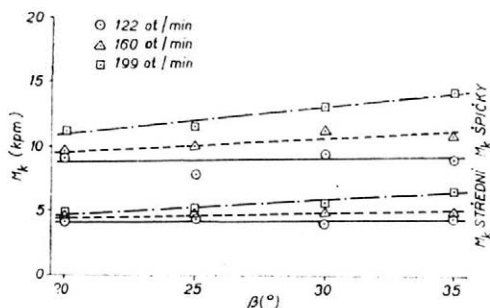
5. Průběh krouticího momentu v závislosti na úhlu α (poloměr rotoru $R = 210$ mm)



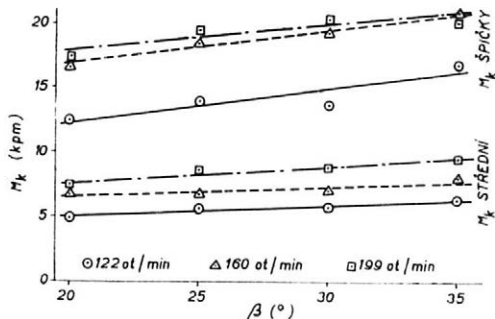
6. Průběh krouticího momentu v závislosti na úhlu α (poloměr rotoru $R = 265$ mm)

2.2 VLIV VELIKOSTI ÚHLU DROBENÍ (ÚHEL β)

Se vzrůstající hodnotou drobicího úhlu β úměrně vzrůstá jak velikost středního krouticího momentu, tak i špiček krouticího momentu. Při zvýšení drobicího úhlu z 20° na 35° stoupl střední krouticí moment při poloměru rotoru $R = 210$ mm o 19 % a při poloměru rotoru $R = 265$ mm o 22 %. Minimální velikost úhlu β je však dána podmínkou, že nůž při průchodu půdou se nesmí svou zadní hranou (tj. hranou protilehlou k ostří) třít o nezpracovanou stěnu brázdy, vytvořenou ostřím. Velikost vodorovné síly se pohybovala v mezích od 13,4–20,8 kp, svislé síly v mezích 16,8–28,1 kp (obr. 7, 8).



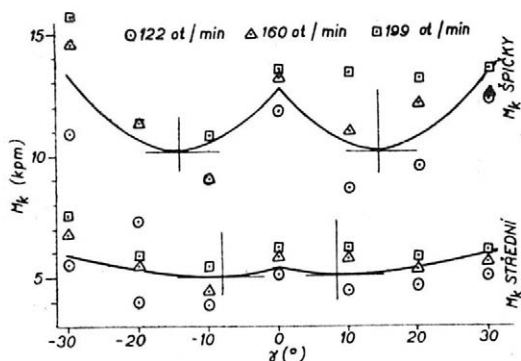
7. Průběh krouticího momentu v závislosti na úhlu β (poloměr rotoru $R = 210$ mm)



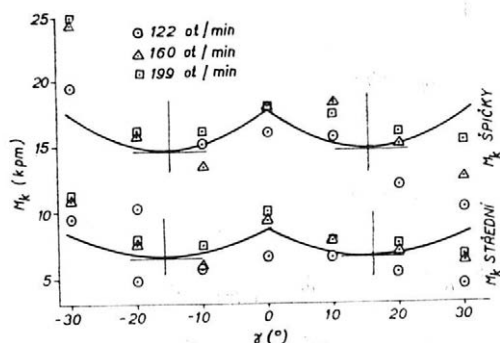
8. Průběh krouticího momentu v závislosti na úhlu β (poloměr rotoru $R = 265$ mm)

2.3 VLIV VELIKOSTI ÚHLU NASTAVENÍ OSTRÍ (ÚHEL γ)

Při měření bylo zjištěno, že nejnižších hodnot krouticího momentu, a tedy i spotřebované energie, se dosáhne u nožů, jejichž hodnota úhlu γ se pohybuje okolo 20° a okolo hodnoty -10° . Nejvyšších hodnot krouticího momentu bylo dosahováno u nožů s úhlem $\gamma = -30^\circ$ a $\gamma = 0^\circ$. Při úhlu $\gamma = -30^\circ$ dochází pravděpodobně k posuvu půdy na noži do boku směrem k svislé části nože (k slupici), na kterou pak půda působí tlakem a zvětšuje se třecí síla a tedy krouticí moment. Při úhlu $\gamma = 0^\circ$ vniká nůž celým ostrím do půdy najednou, což se projevilo zvětšením krouticího momentu a zvětšením špiček krouticího momentu (obr. 9, 10).

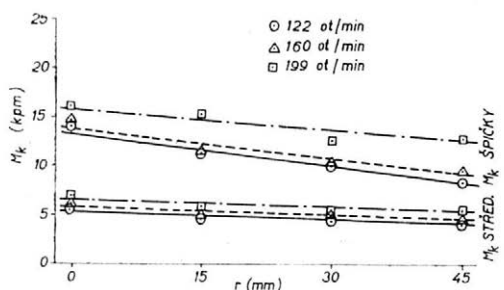


9. Průběh krouticího momentu v závislosti na úhlu γ (poloměr rotoru $R = 210$ mm)

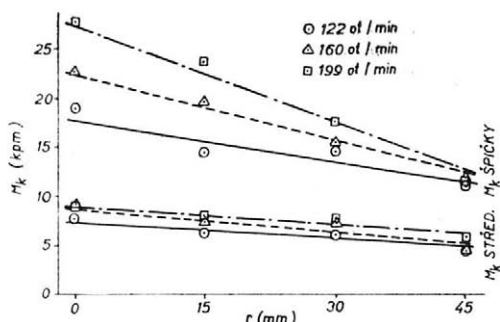


10. Průběh krouticího momentu v závislosti na úhlu γ (poloměr rotoru $R = 265$ mm)

Použití nožů se záporným úhlem γ se předpokládalo pro zpracování uhlé půdy, např. pro podmítku, kdy dochází ke snižování zahlubitelnosti vlivem zvýšení svislé síly. Protože záběr do půdy nastává u těchto nožů koncem nože, předpokládalo se, že dojde k snížení svislé síly, neboť u nožů s kladným úhlem γ vstupuje nůž do půdy najednou jak svislou, tak i vodorovnou částí ostrí, tj. v místě zaoblení nože. Naměřené hodnoty však tuto domněnku nepotvrdily; naopak při růstu záporných hodnot úhlu γ docházelo ke zvyšování svislé síly. Proto se použití nožů se záporným úhlem γ nedoporučuje.



11. Průběh krouticího momentu v závislosti na poloměru zaoblení r (poloměr rotoru $R = 210$ mm)



12. Průběh krouticího momentu v závislosti na poloměru zaoblení r (poloměr rotoru $R = 265$ mm)

2.4 VLIV VELIKOSTI POLOMĚRU r ZAOBLNÍ NOŽE

Velikost poloměru r značně ovlivňuje velikost krouticího momentu. S rostoucí velikostí poloměru klesá velikost krouticího momentu tak, že při změně poloměru z $r = 0$ na $r = 45$ mm se zmenšil krouticí moment o 37 %. Větší velikost poloměru než $r = 45$ mm však není vhodná, protože se vzrůstajícím poloměrem r se zvětšuje nerovnost dna brázdy (obr. 11, 12).

2.5 VLIV ŠÍŘKY ZÁBĚRU FRÉZOVACÍCH NOŽŮ

Porovnáním výsledků měření laboratorních nožů se změnou úhlu α a nožů se změnou úhlu β , γ a r o záběru 15 cm zjistíme, že na velikosti krouticího momentu se průměrně podílí svislá část nože 30,9 % při $R = 210$ mm a 30,6 % při $R = 265$ mm. U nejnižších naměřených hodnot ze zkoušek laboratorních nožů s úhlem α , tj. u nožů s úhlem $\alpha = 30^\circ$, činí podíl krouticího momentu, připadající na svislou část, 18,9 % při poloměru rotoru $R = 210$ mm a 24,9 % při $R = 265$ mm. Proto je z hlediska spotřebované energie vhodnější volit nože s větším záběrem. Z toho vyplývá též vysoká spotřeba energie dříve používaných frézovacích nožů, které měly malý záběr.

2.6 VLIV POČTU OTÁČEK ROTORU

Se stoupajícím počtem otáček rotoru za minutu stoupá i krouticí moment, jak ukazuje tabulka I, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty z měření zkušebních nožů β , γ a r . Hodnoty jsou uvedeny v %.

I. Vliv počtu otáček rotoru na krouticí moment

Velikost poloměru rotoru R mm	Počet otáček rotoru (ot./min)		
	122	160	199
210	100	114	130
265	132	163	181

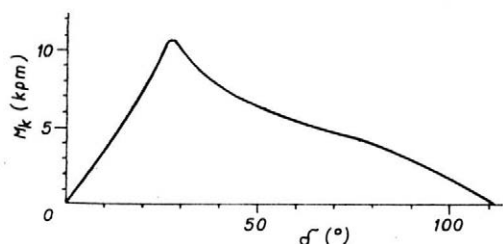
Obdobné údaje vlivu počtu otáček rotoru na krouticí moment byly získány při polně laboratorních zkouškách rotačních kypřičů na jílovitohlinité půdě při jarní přípravě půdy.

3. PRŮBĚH KROUTICÍHO MOMENTU PŘI PRŮCHODU NOŽE PŮDOU

Grafické záznamy, získané z měření zkušebních nožů v půdním kanálu, umožnily získat i závislost průběhu velikosti krouticího momentu na úhlu pootočení rotoru při průchodu nože půdou (obr. 13).

Graf byl získán jako průměrná hodnota ze šesti vybraných měření, přičemž u každého měření bylo vyhodnoceno průměrně dvanáct zásahů nožů do půdy.

Při vstupu nože do půdy dochází k prudkému vzrůstu krouticího momentu tak, že maxima se dosahuje při úhlu pootočení $\omega t = 27^\circ$ (měřeno od počátku vstupu nože do půdy), pak krouticí moment klesá až k nule při výstupu nože



13. Průběh krouticího momentu při průchodu jednoho frézovacího nože půdou

z půdy. Velikost špiček krouticího momentu dosahovala průměrně 2,2násobku středního krouticího momentu při 122 ot./min rotoru.

Je tedy odběr krouticího momentu v závislosti na úhlu pootočení rotoru značně nepravidelný. Nerovnoměrnost krouticího momentu může však konstruktér značně ovlivnit vhodným rozložením jednotlivých nožů po obvodu rotoru.

Pro správné rozložení nožů na rotoru byly stanoveny tyto zásady:

1. Nože musí vstupovat do půdy pravidelně a tak, aby úhel pootočení ωt mezi počátky vstupu dvou za sebou následujících nožů byl konstantní a aby nedocházelo ke vstupu dvou nebo více nožů do půdy najednou. Úhlovou vzdálenost mezi záběry jednotlivých nožů do půdy určuje rovnice:

$$\omega t = \frac{360}{Zr} \quad (0)$$

kde: Zr = počet nožů na rotoru

2. S ohledem na zalepování rotoru půdou je vhodné, aby úhlová vzdálenost mezi noži sousedních sekcí byla co největší, tj. aby nože byly rozloženy do stěrné šroubovice.

3. U nožů tvaru L je vhodné, aby se střídaly v záběru nože levostranné a pravostranné. Nesplní-li se tento požadavek (zabírá-li tedy nejprve několik nožů pravostranných a pak několik levostranných), vznikají kolem podélné a výškové osy stroje momenty, které mají za následek neklidný chod stroje.

Došlo dne 8. 3. 1966

Literatura

1. Böttcher, G.: Untersuchungen an Bodenfräswerkzeugen in einem Bodenkanaal. Landtechnische Forschung, 1957, č. 2. — 2. Havelc, S.: Kinematika rotačních pracovních orgánů strojů pro zpracování půdy. Zemědělská technika, 1964, č. 12. — 3. Kanafojskij, C.: Biuletyn Prac Naukowo-Badawczych, Varšava, 1962, 2. — 4. Kanev, N. F.: Mechanika počvoobrabatyvajuščej frezy. Moskva 1957. — 5. Munch, B.: Untersuchungen an einer Bodenfräse. Landtechnische Forschung, 1957, č. 4. — 6. Schilling, E.: Landmaschinen. Köln, 1953, 2. díl. — 7. Vasilenko, P. M.: Kultivatory. Kijev 1961.

Влияние формы рабочих органов ротационных рыхлителей на потребление энергии

С целью определения оптимальных конструкторских параметров фрезерных ножей с точки зрения потребления энергии и равномерности хода ротационных рыхлителей проводились энергетические измерения испытываемых фрезерных ножей. Измерения проводились в почвенном канале лабораторной измерительной установкой, которая вместе в измерительной тележке регистрировала ход крутящего момента, регистрировала горизонтальные и вертикальные составные части силы, действующие на ротор, регистрировала отметки времени и числа оборотов ротора. На нескольких испытываемых ножах устанавливалось влияние размера угла входа вертикальной части ножа в почву (угол α), влияние размера угла крошения (угол β), влияние размера угла регулировки острия (угол γ), влияние размера радиуса закругления

ножа, влияние ширины захвата фрезерного ножа и влияние числа оборотов ротора на размер и ход крутящего момента и составляющие силы, действующие на ротор. По проведенному измерению также оценивался ход крутящего момента при проходе одного фрезерного ножа почвой и установлены принципы для распределения ножей на роторе с точки зрения равномерного отбора энергии.

The Effects of the Blade Shapes of the Rotary Tillers on the Power Requirements

Power investigations of the experimental rotary blades were carried out to determine the optimum design parameters of the blades with respect to the power required and to the uniform operation of the rotary tillers. The investigations were carried out in a soil trough by means of laboratory measuring equipment, linked with a strain-gauging truck, recording the course of the torque, the vertical and horizontal components of forces effecting the rotor, the recording of the time base and the revolution of the rotor. A number of different experimental blades were used to determine the effects of the intake angle of the vertical part of the blade into the soil (angle α), the effects of the angle of pulverizing (angle β), the effects of the angle of the blade setting (angle γ), the effects of the radius of the blade rounding, the effects of the width of bite of the blades and the effects of the rotary revolutions on the size and course of the torque and of the force components effecting the rotor. Furthermore, the course of the torque with the passage of a blade through the soil was determined on hand of the measurements and principal characteristics were set for the positioning of the blades on the rotor with respect to a uniform power off-take.

Einfluß der Form der Arbeitselemente von Rotations-Lockerern auf den Energieverbrauch

Zwecks Bestimmung optimaler Konstruktions-Parameter der Fräsenmesser vom Gesichtspunkt des Energieverbrauches und der Gleichmäßigkeit des Ganges der Rotations-Lockerer wurden energetische Messungen der Prüfungs-Fräsenmesser vorgenommen. Die Messungen wurden in einem Bodenkanal mittels einer Labor-Meßvorrichtung durchgeführt; diese Vorrichtung, in Verbindung mit einem Meßwagen ermöglichte die Registrierung des Drehmoment-Verlaufes, die Registrierung der senkrechten und waagrechten auf den Rotor wirkenden Kraftkomponente und die Registrierung der Zeitbasis der Rotor-Umdrehungen. An einer Reihe der Prüfungsmesser ermittelte man den Einfluß der Winkelgröße des Einganges des senkrechten Messerteils in den Boden (Winkel α), den Einfluß des Bröckelungswinkels, (Winkel β), den Einfluß der Winkelgröße der Schneiden-Einstellung (Winkel γ), den Einfluß des Radius der Messerabrundung, den Einfluß der Angriffsbreite des Fräsenmessers und den Einfluß der Rotor-Umdrehungszahl auf die Größe und den Verlauf des Drehmomentes und der auf den Rotor wirkenden Kraftkomponente. Auf Grund der durchgeführten Messungen wurde auch der Verlauf des Drehmomentes beim Durchgang eines Fräsenmessers durch den Boden ausgewertet und Grundsätze für die Verteilung der Messer auf dem Rotor vom Gesichtspunkt der gleichmäßigen Energieabnahme festgesetzt.

Adresa autora:

Inž. Stanislav Havelec, Výzkumný ústav zemědělské techniky, Řepy u Prahy

OBSAH

Freininger M.: 15 let činnosti Výzkumného ústavu zemědělské techniky	233
Fiala J.: Některé fyzikální vlastnosti granulovaných průmyslových hnojiv	235
Vávra A.: Rychlost částic při pneumatické dopravě II — experimentální výzkum	251
Pick E., Kosek J.: Teorie automatického řízení traktoru podle zadané trajektorie	273
Blažek J., Fiala J.: Vliv fyzikálně mechanických vlastností siláže na činnost vrchních vybíračů	285
Havelec S.: Vliv tvaru pracovních orgánů rotačních kypřičů na spotřebu energie	301

СОДЕРЖАНИЕ

Фиала Й.: Некоторые физические свойства гранулированных минеральных удобрений (249). — Вávра А.: Скорость частиц при пневматическом транспорте. II — экспериментальное исследование (271). — Пйик Е., Косек Я.: Теория автоматического управления трактором согласно заданной траектории (284). — Блажек Й., Фиала Й.: Влияние физико-механических свойств силоса на работу устройства для верхней выемки силоса (298). — Гавелец С.: Влияние формы рабочих органов ротационных рыхлителей на потребление энергии (308).

CONTENT

Fiala J.: Some Physical Properties of the Granulated Fertilizers (249). — Vávra A.: Flow Velocity of the Particles in Pneumatic Conveying. II — Experimental Research (271). — Pick E., Kosek J.: A Study of the Automatic Steering of Tractors on Preselected Trajectories (284). — Blažek J., Fiala J.: Effect of the Physico-Mechanical Properties of Silage on the Performance of the Upper Unloaders (298). — Havelec S.: The Effects of the Blade Shapes of the Rotary Tillers on the Power Requirements (309).

INHALT

Fiala J.: Einige physikalische Eigenschaften von granulierten Handelsdüngern (250). — Vávra A.: Geschwindigkeit der pneumatisch beförderten Teilchen. II. — Experimentaluntersuchungen (272). — Pick E., Kosek J.: Die Theorie der automatischen Lenkung des Schleppers nach der vergebenen Trajektorie (284). — Blažek J., Fiala J.: Einfluß der physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Gärftutters auf die Tätigkeit der Obenentnahmegeräte (299). — Havelec S.: Einfluß der Form der Arbeitselemente von Rotations-Lockern auf den Energieverbrauch (309).

TABLE DES MATIÈRES

Fiala J.: Quelques propriétés physiques des engrais industriels granulés (res. An/249, Al/250). — Vávra A.: Célérité des particules au cours du transport pneumatique. II — Recherche expérimentale (res. An/271, Al/272). — Pick E., Kosek J.: Théorie du réglage automatique du tracteur, suivant la trajectoire donnée (res. An, Al/284). — Blažek J., Fiala J.: Influence des propriétés physiques et mécaniques de l'ensilage sur l'action des évacuateurs par le haut (res. An/298, Al/299). — Havelec S.: Influence de la forme des pièces de travail des scarificateurs rotatifs sur la consommation de l'énergie (res. An, Al/309).

otiskuje tyto práce:

J. Kosek, E. Pick, A. Vávra: *K otázce automatického řízení kolových traktorů*

Práce navazuje na příspěvek E. Picka a J. Koska v minulém čísle Zemědělské techniky, v němž byla teoretickým rozбором automatického řízení traktoru prokázána možnost popsat nespojitou regulaci při automatickém vedení traktorového agregátu podle zadané trajektorie nelineární diferenciální rovnicí druhého řádu.

Druhá část práce uvádí laboratorní zkoušky, jimiž byla prokázána dobrá shoda výsledků s výsledky získanými na analogovém počítači a potvrzena oprávněnost teoretického řešení na analogovém počítači zejména se zřetelem na vyhledávání nejvhodnějších parametrů jednotlivých členů automatiky. Zkouškami bylo především prokázáno, že pokles dodávky oleje do servomotorů o 5–10 % proti jmenovitému množství prakticky neovlivňuje činnost zařízení.

Bylo dokázáno, že pro zemědělské účely a požadovanou přesnost sledování zadané trajektorie vyhovují i soustavy s nespojitě pracující regulací.

Za současného stavu je systém automatického vedení traktoru řešitelný poměrně jednoduchými prostředky, přičemž spolehlivost celého systému závisí na přesnosti a spolehlivosti, s jakou hmatač kopíruje zadanou trajektorii.

J. Kováčik: *Příspěvek k vlastnostem podhušťovacích pneumatik v terénu*

Práce dokazuje, že jednou z cest k zabezpečení maximální styčné i smyčkové plochy je podhušťování speciálně konstruovaných pneumatik. Podhušťování se ukazuje jako vhodná cesta k zvyšování jízdních výkonů na bořivých půdách. Plným podhuštěním klesá měrný tlak na hodnotu rovnou cca 40 % měrného tlaku při plném huštění. Při valení podhuštěné pneumatiky na pružném terénu klesá jeho trvalá deformace i hloubka koleje, zmenšuje se valivý odpor a roste adheze. To se projevuje ve větší záloze tažné síly pro tah na háku, v menším skluzu pneumatik, a tedy i v lepší energetice pohybu.

Podhušťovat je však možno jen speciálně konstruované pneumatiky, přičemž musí být vozidlo vybaveno zařízením, které umožňuje změnu huštění z místa řidiče bez námahy.

B. Radil: *Některé poznatky o poškození brambor při strojním třídění*

Práce uvítá výsledky pokusů, které ukázaly, že hlavními příčinami poškození bramborových hlíz při strojním třídění jsou dopady hlíz při průchodu pracovními orgány třídícího a při výpadu hlíz na dno pytle postaveného na tvrdé podložce. Další příčinou je tření hlíz o součásti třídícího, popř. navzájem o sebe, nebo o příměsi hrud a kamení.

Dále byl prokázán vliv konstrukce třídícího ústrojí na poškození hlíz. Nejnižší poškození způsobilo třídící ústrojí stroje JIR. Nejvyšší poškození vzniklo na válečkovém třídícím ústrojí. Bylo zjištěno, že poškození válečkovým třídícím ústrojím je závislé na dostatečném a plynulém přísunu. V rámci dané velikostní skupiny dochází k vyššímu poškození těch hlíz, které se velikostí blíží profilu danému válečky třídícího ústrojí.

J. Kalina: *Dezinsekce obilí vysokofrekvenční energií*

Práce přináší velmi zajímavé výsledky pokusů s použitím mikrovlnné energie k hubení škůdců, především roztočů a pilousů.

Výsledky zkoušek ukázaly úzkou korelaci mezi smrtností pěstovaných škůdců a teplotou prostředí, kterou byl hmyz obklopen. Kritická teplota, při níž docházelo ke 100 % mortalitě imag *Cal. granaria*, byla 51 °C a pro *Tyr. norius* se tato teplota pohybovala mezi 38–47 °C. Smrt pilousů i roztočů zjevně nastávala naprostým vysušením organismu.

Celková účinnost dielektrického ohřevu při pokusech dosahovala 30–40 %. Příkonem 5 kW se ohřálo o 1 °C 0,87–0,98 kg hmoty. Klíčivost a klíčivá energie se dielektrickým ohřevem neměnila.