

VĚDECKÝ ČASOPIS



ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

6

ROČNÍK 30 (LVII)
PRAHA
ČERVEN 1984
CENA 10 Kčs
CS ISSN 0044-3883

ČESKOSLOVENSKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÁ
ÚSTAV VĚDECKOTECHNICKÝCH INFORMACÍ
PRO ZEMĚDĚLSTVÍ

Řídí redakční rada

Ing. Jiří Fiala, DrSc. (předseda), ing. Miloslav Adam, CSc., ing. Vladimír Dufek, prof. ing. Marko Ďuriš, CSc., ing. František Fortuník, CSc., ing. Stanislav Haš, CSc., ing. Dušan Hutla, doc. ing. Ján Jech, CSc., ing. Jiří Kulík, ing. Zdeněk Pastorek, CSc., ing. Vladimír Píša, ing. Bohumil Studeník, CSc., doc. ing. Vladimír Suchý, CSc., prof. ing. Zdeněk Štefl, CSc., Josef Višínský, CSc.

Za vedení časopisu odpovídá ing. Jiří Fiala, DrSc.

Redaktorka ing. Jovanka Václavíčková

© Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha 1984

■

Vědecký časopis ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA uveřejňuje studie, rozborů a vědecká pojednání o vyřešených úkolech výzkumu v oboru zemědělská technika. Vydává Československá akademie zemědělská — Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Vychází měsíčně. Redakce: 120 56 Praha 2, Slezská 7, telefon 257541-9. Celoroční předplatné Kčs 120,—.

■

Научный журнал ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA публикует обзоры, анализы и научные статьи о решенных заданиях по научному исследованию в области сельскохозяйственной техники. Издает Чехословацкая сельскохозяйственная академия — Институт научно-технической информации по сельскому хозяйству. Выход в свет ежемесячно. Редакция 120 56 Прага 2, Слезска 7.

■

The scientific journal ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA publishes studies, analyses and scientific treatises about the solved research tasks in the line of the agricultural mechanization. Published by the Czechoslovak Academy of Agriculture — Institute of Scientific and Technical Information for Agriculture. Issued monthly. Editorial office 120 56 Prague 2, Slezská 7.

POHYB ZEMĚDĚLSKÝCH VOZIDEL NA PŘÍKRÝCH TRAVNATÝCH SVAZÍCH

A. Grečenko

GREČENKO, A. (Agrozet, koncernový výzkumný ústav zemědělských strojů, Praha - Chodov): *Pohyb zemědělských vozidel na příkrých travnatých svazích*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6): 321–334.

Práce obsahuje experimentální a teoretické poznatky o průjezdnosti kolových vozidel na travnatých svazích. Pojednává zejména o záběrových vlastnostech na spádnici svahu při tahu i brzdění, o stoupavosti vozidla a o nastavení vozidla při jízdě podél vrstevnice. Jsou naznačeny současné možnosti předpovědi svahové průjezdnosti vozidel a některé techniky výpočtu.

svahová průjezdnost; kolové vozidlo; teramechanika

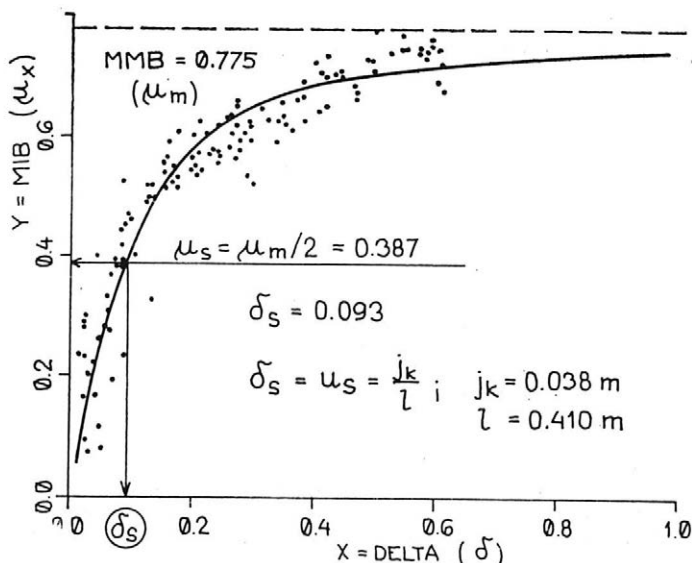
V zemědělské velkovýrobě se orbou obdělává půda do sklonu cca 15°. Důvodem není jen bezpečnost pohybu strojů, nýbrž i zmenšující se hloubka orné půdy a eroze. Vyšší svahy jsou zpravidla pokryty travnatými porosty, které se buď sklízí nebo spásají. Zkušenost ukazuje, že upravenými traktory se čtyřkolovým pohonem, ale s konvenčními pneumatikami, lze pícniny za příznivých podmínek sklízet na svazích do sklonu 20°. Ke sklizni a ošetření porostů na svazích do sklonu cca 25° se nasazují speciální lehké stroje s nízkotlakými pneumatikami, které jsou v praxi při vhodném způsobu jízdy schopny překonat lokální svahy do sklonu 33°.

Hloubka půdy nad skalnatým podložím horských terénů se pohybuje od 2 do 15 cm, přičemž základní drn (kořeny trávy) zasahuje do hloubky 2 až cca 10 cm. Půda je na povrchu zhutnělá, takže zuby konvenčních pneumatik s trakčním dezénem neproniknou do takové hloubky, aby se mohl blahodárně uplatnit plášť pneumatiky. Lepší podmínky záběru poskytují terra-pneumatiky s úzkými a nízkými zuby dezénu STG (Goodyear).

Svahová dostupnost se výrazně zhoršuje při zvyšující se vlhkosti půdy, kterou zjišťujeme především v hloubce 0 až 5 cm. Vzorky obsahují kořenový systém (drn). Na obvyklé hlinito-písčité, popř. prachovito-písčité půdě jsou „suché“, tj. velmi výhodné pro trakci, vzorky s vlhkostí do 25 %; vlhkost 30 až 40 % je v horských podmínkách v létě normální; za „mokrou“ se považuje půda s vlhkostí přes 40 % nebo přes 30 % s mokřým povrchem.

Příčinou kritických situací bývá zejména skluz, který může vést k havárii převržením, dále prvotní překlopení dynamickými účinky, popřípadě funkční nedostatky stroje.

Základní metodou experimentálního výzkumu jízdy na svazích je měření přímo v terénu s použitím skutečných vozidel. Obvykle je předmětem měření pohyb vozidel po spádnici, podél vrstevnice a při zatáčení. Obecně nelze dosáhnout laboratorní systematickosti a reprodukovatelnosti, ale věrohodnost je podstatně lepší. Výsledky jsou závislé na kvalitě rozboru a zobecnění naměřených dat. V aplikaci je možné zjištěný podkladový koncentrát využít s jistým rizikem k předpovědi vlastností dalších vozidel. Smyslem výzkumu je, aby toto riziko bylo co nejmenší.



1. Vyhodnocená závislost $\mu_x - \delta$ pro hnací kola zemědělského vozidla s pneumatikami 12,5/12-18 na suchém travnatém povrchu: μ_m a δ_s jsou parametry prokluzové křivky v bilineárním tvaru, určené počítačem — Record of a $\mu_x - \delta$ relation for driven wheels of an agricultural vehicle with 12.5/12-18 tyres on dry grass-covered ground: μ_m and δ_s are parameters of the computer plotted slip curve in bilinear form

Tento přístup je obdobný jako metody, kterých užili např. Gilfillan (1970), Spencer (1978), Spencer a Owen (1981) při výzkumu jízdních vlastností traktorů s ohledem na bezpečnost.

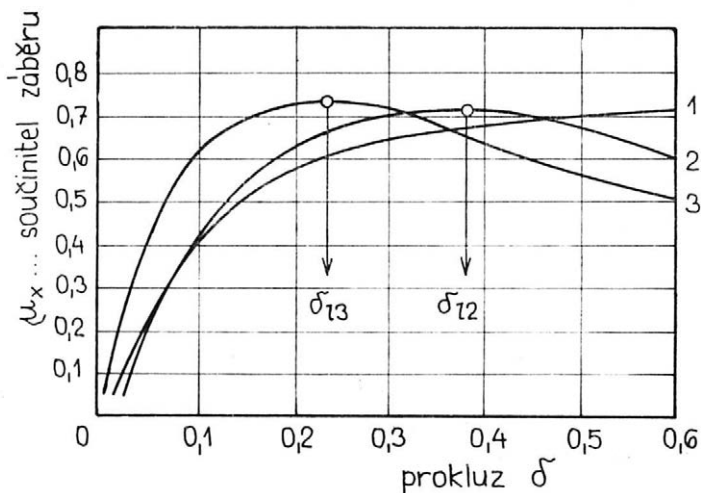
Řešení pohybu strojů na svazích je dále vázáno na upřesnění kinematiky a dynamiky obecného rovinného pohybu kola. Nástin syntetického řešení, který podal Grečenko (1975), je stále v zásadním souhlasu s výsledky, k nimž ve svých pracích dospěli Krick (1971), Schwanghart (1981) i Gee Clough a Sommer (1981).

Obsahem tohoto pojednání je upozornění na některé metody a výsledky výzkumu jízdy vozidel na svazích a poznámky k dosavadním poznatkům teramechaniky. Práce je koncipována jako úvod k návazným detailnějším pojednáním.

EXPERIMENTY

ZÁBĚROVÉ VLASTNOSTI

Záběrové vlastnosti jsou v obecném tvaru vyjádřeny závislostí $\mu_x = f(\delta) \dots$ a) při přenosu hnací síly (např. jízda vozidla do svahu), tzv. tahové vlastnosti; b) při přenosu brzdící síly (jízda vozidla ze svahu), tzv. brzdící vlastnosti.



2. Prokluzové křivky pneumatiky 12,5/12-18, naměřené na travnatém povrchu, mění svůj průběh se změnou vlhkosti půdy w (1... $w = 15\%$; 2... $w = 38\%$; 3... $w = 50\%$); měřeno na různých pozemcích — Thrust-slip curves of a 12.5/12-18 tyre measured on grass-covered ground change with moisture content of the soil w (1... $w = 15\%$, 2... $w = 38\%$, 3... $w = 50\%$)

Ad a)

Tahové vlastnosti se měří urychlenými tahovými zkouškami vozidel. Při každé měřicí jízdě na dráze cca 100 m se proměří celé spektrum závislosti prokluzu na tahové síle (Grečenko, 1980). Doplnková měření zahrnují např. zjištění efektivního odporu valení (tj. součtu odporů pojezdového ústrojí vozidla, které přemáhá celková obvodová hnací síla). Záznam, zpracování, rozbor a vynesení naměřených dat se provádí moderními metodami (obr. 1).

Obr. 2 dokumentuje, jak velké odlišnosti v tahových vlastnostech téže pneumatiky na travnatém povrchu způsobuje vlhkost i druh půdy. Stoupne-li např. prokluz na svahu na úroveň δ_l , dostane se stroj na mez skluzu. Podobná situace hrozí i při jízdě po vrstevnici svahu, dosáhne-li tangenta úhlu směrové úchytky kol γ od vrstevnice hodnoty rovné prokluzu δ_l (princip ekvivalence, Grečenko, 1975).

Pro předpovědi jízdních vlastností vozidel jsme zatím schopni vhodně matematicky vyjádřit jen dvouparametrickou křivku 1 (bilineární rovnice, Grečenko, 1975). Exponenciální tvary prokluzových křivek, včetně návrhu autorů Wong a Preston-Thomas (1983) na vyjádření funkcí typu 2, 3 (obr. 2) vzorcem ve tvaru $\mu_x = f(\delta)$, jsou relativně jednoduché, ale pro nemožnost inverze, tj. vyjádření $\delta = f(\mu_x)$, neumožňují složitější aplikace (viz kap. Předpovědi vlastností vozidel na svahu).

Aplikovatelnost výsledků tahových zkoušek na jízdu vozidel do svahu je poněkud omezena tím, že tahové zkoušky obvykle probíhají na rovině, kde bývá poněkud jiné složení půdy i její hloubka.

Ad b)

Brzdící vlastnosti se měří na rovině urychlenými tlakovými zkouškami, při nichž je zkoušené vozidlo tlačeno plynule vzrůstající rychlostí. Tímto způsobem jsme dosáhli záporných prokluzů do hodnoty -40% (směrová stabilita měřicí soupravy). Zjistili jsme, že v uvedeném rozmezí prokluzů jsou brzdící vlastnosti podobné tahovým vlastnostem.

Prokluz je při tahu i brzdění definován jednotnou závislostí mezi skutečnou rychlostí v a bezprokluzovou rychlostí v_t :

$$\delta = 1 - (v/v_t) \quad (1)$$

Při záporném prokluzu (skluzu) $\delta = -1$ (-100%) se kolo nuceně pohybuje rychlostí $v = 2v_t$, podél styčné plochy jsou posuvy $j = -\delta \cdot x = -x$ (tj. ve směru pohybu); zablokované brzděné kolo má skluz $\delta = -\infty$, tj. v celé styčné ploše existuje stejný posuv. Jednotný vzorec tedy odpovídá základním pravidlům teramechaniky.

Větší hodnoty záporných prokluzů lze obdržet jen brzdícími zkouškami na spádnici svahu, při nichž se změří brzdná dráha za plného brzdění, nebo lépe největší zpoždění (Spencer aj., 1983) ve funkci rychlosti. Průběh úplných závislostí $\mu_x = f(-\delta)$ při brzdění je analogický funkcím $\mu_x = f(+\delta)$ (obr. 2), ale maximální součinitel brzdění nedosahuje stejně vysokých hodnot asi proto, že se kolo při brzdění drží více na povrchu (menší zahloubení prokluzem) a dezén se může zalepovat zeminou.

Skluz se aproximuje stejnými rovnicemi jako prokluz při zavedení absolutní hodnoty $|\delta|$.

PROKLUZ — SKLUZ NA SPÁDNICI SVAHU

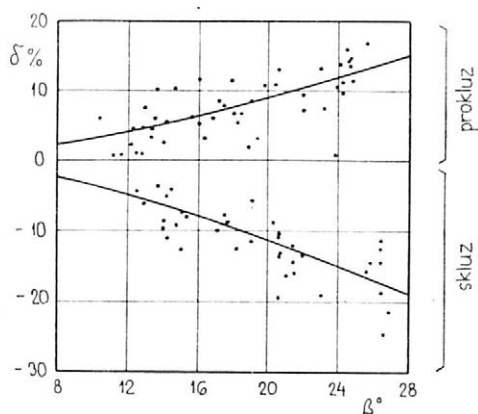
Na svahu se prokluz (skluz) vozidla měří nejlépe kontinuálním způsobem za použití měřicího kola (obr. 3). Nejvhodnější je svah s proměnným sklonem, který je na úpatí nejmenší a zvyšuje se ke konci svahu. Takto vznikl záznam prokluzu i skluzu vozidla (obr. 4).



3. Měřicí jízda experimentálního stroje se simulátorem čelního přípojného stroje na svahu (na znázorněném místě 24°), který je měřen gyroskopem; telemetrický systém přenáší údaje v digitálním tvaru do stacionárního měřicího vozu (listopad 1980) — Test run of an experimental machine with an implement simulator on the gradient that is measured by means of a gyroscope; a telemetric system transmits the data in digital form to a stationary measuring van (November 1980)

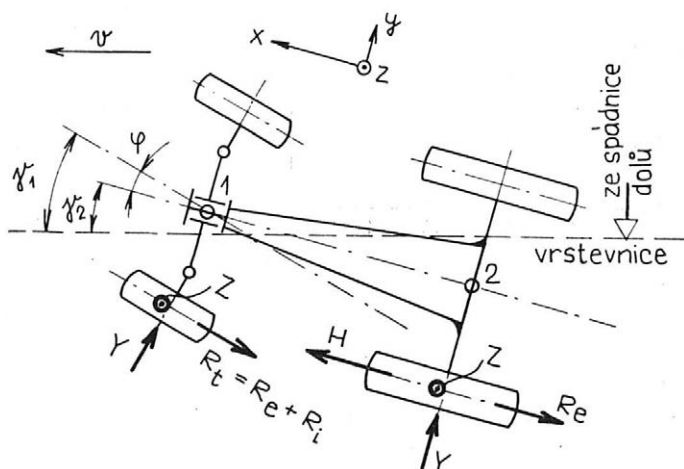
ODKLON OSY STROJE OD VRSTEVNICE

Aby se stroj — např. s řízením předními koly — pohyboval podél vrstevnice svahu, musí být jeho osa odkloněna o úhel γ_2 a přední kola natočena o úhel γ_1 vůči vrstevnici, tj. o úhel rejdu $\varphi = \gamma_1 - \gamma_2$ vzhledem ke stroji (obr. 5). Odklonem se kompenzují směrové úchytky kol vzniklé působením bočních sil na svahu; směrové úchytky vznikají posuvem půdy a deformací pneumatik. Úhly γ jsou proto funkcí úhlu svahu β .



4. Naměřený prokluz a skluz v závislosti na úhlu spádnice vykazují podobnost (stroj se čtyřkolovým pohonem z obr. 3, simulátor čelního přípojného stroje zvednut; travnatý svah s vlhkostí půdy 42 %) — Measured slip and skid plotted against the gradient demonstrate similarity (four wheel-driven machine like in Fig. 3 with the implement simulator raised; grass-covered ground of 42% moisture content)

5. Při jízdě podél vrstevnice zaujme vozidlo s předními řídicími koly polohu s odklonem γ_2 a úhlem rejdu φ — When crossing the hillside, a vehicle with front steering wheels assumes the attitude with heading γ_2 and steering angle φ

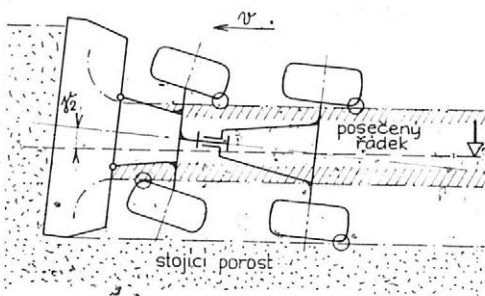


Studium tohoto případu jízdy má význam např. pro koncipování zemědělských vozidel pracujících se žacíím strojem neseným vpředu (obr. 6): při jízdě po vrstevnici musí seč projít mezi koly stroje, aniž by byla přejeta, a kromě toho nesmí kola stroje pojezdít kraj stojícího porostu. Je-li z těchto důvodů limitním např. úhel $\gamma_2 = 4^\circ$, je tím na základě předchozí úvahy určen i největší sklon svahu, na němž může vozidlo úspěšně pracovat. Závislost $\gamma_2 = f(\beta)$ by měla být co možno plochá.

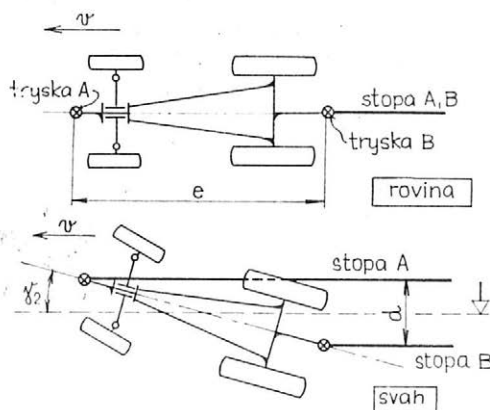
Odklon stroje měříme způsobem zakresleným na obr. 7 s použitím dvou elektrických ostřikovačů čelního skla automobilu. Upravené trysky ostřikovače se upevní na dvou místech rovnoběžně s osou stroje blízko od země. Při jízdě podél vrstevnice se tryskami stříká na posečený povrch vhodná barva. Úhel odklonu stroje

$$\gamma_2 = \arcsin(d/e) \quad (2)$$

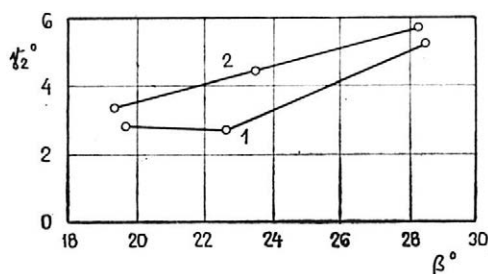
Obecně lze ovšem trysky umístit na dvou libovolných místech. Pak je vhodné stříkat dvě různé barvy a vzorec pro úhel γ_2 vyjde o málo složitější.



6. Při sečení píce podél vrstevnice svahu nesmí zemědělský stroj přejíždět ani stojící plodinu ani posečený rádek — An agricultural machine mowing forage along the contour line of a gradient must not touch either the standing crop or the mown swath



7. Metoda určení odklonu γ_2 u vozidla jedoucího podél vrstevnice svahu — A method to determine the heading γ_2 of a vehicle travelling along the contour line of a gradient



8. Naměřené hodnoty odklonu γ_2 v závislosti na úhlu svahu β (travnatý pozemek) pro vozidlo se čtyřkolovým pohonem, vybavené buď terra-pneumatikami 38x20,00-16.1 (1), nebo standardními pneumatikami 12,5/12-18 (2) — Measured values of heading γ_2 in relation to the gradient β (grassy slope) for a four wheel-driven vehicle equipped with terra-tyres 38x20,00-16.1 (1) or standard tyres 12.5/12-18 (2)

Uvedeným způsobem byly zjištěny průběhy odklonu svahového stroje na různých pneumatikách, znázorněné na obr. 8. Zjišťovali jsme i vliv rychlosti jízdy do výše cca 12 km/h na odklon stroje. Na nerovném povrchu se s rychlostí odklon spíše zvětšuje (nadhazování stroje do strany), na rovném povrchu zůstává stejný nebo se i zmenšuje (reologie bočních deformací a skluzu).

MANÉVRY NA SVAHU

K charakteristickým měřeným manévřům na svahu patří:

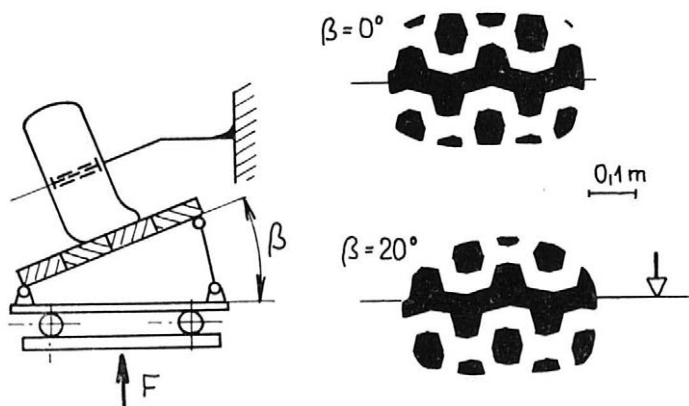
- schopnost rozjezdu do spádnice svahu,
- schopnost zabrzdit ze spádnice ve funkci rychlosti,
- průjezd U-zatáčkou s nájezdem ze spádnice ve funkci rychlosti.

Měření se provádějí v rámci hodnocení svahové dostupnosti strojů.

TVAR STYČNÉ PLOCHY

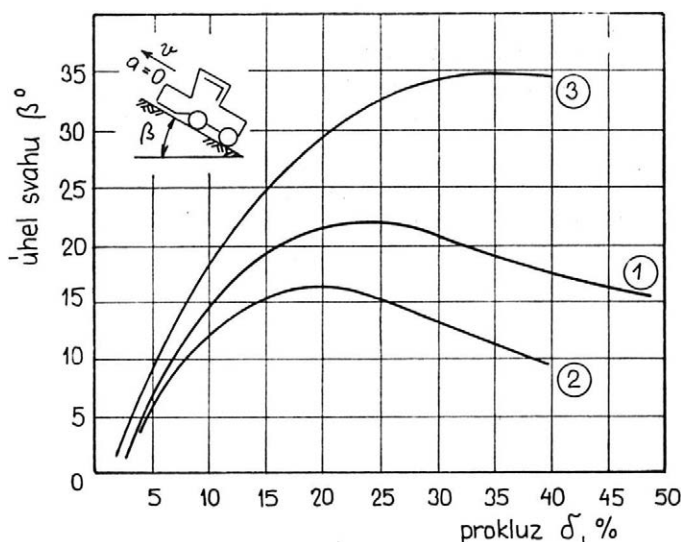
Styčná plocha pneumatiky mění při jízdě podél vrstevnice svůj tvar i velikost. S tvarem souvisí rozložení kontaktního tlaku, což společně s dezénem ovlivňuje boční záběrové vlastnosti pneumatiky. Na obr. 9 je znázorněno schéma speciálního stendu, na němž lze pořizovat otisky styčné plochy až do sklonu plošiny 30°, a ukázky pořizených statických otisků pneumatiky Barum 15,5—26 ZS.

Vyhodnocení otisků a rozbor naznačují, že při jízdě traktoru podél vrstevnice se střední kontaktní tlak dolních (rozhodujících) pneumatik při změnách sklonu svahu 0 až 30° téměř nemění.



9. Schéma stendu, jehož pomocí byla studována geometrie pneumatik na nakloněné rovině a dva příklady otisků pneumatiky Barum 15,5-25 ZS — Schematic drawing of a stand where the geometry of tyres on an inclined plane was studied and two samples of Barum 15.5-25 ZS tyre imprints

10. Diagram s vypočtenou stoupavostí zemědělského vozidla za různých podmínek; vrchol každé křivky určuje mezní úhel svahu a příslušný prokluz — A computed diagram predicting the performance of an agricultural vehicle when ascending a slope for different conditions; the top of each curve indicates the limiting ascent slope and the respective slip



PŘEDPOVĚDI VLASTNOSTÍ VOZIDEL NA SVAHU

ODHAD SVAHOVÉ VÝKONNOSTI VOZIDLA

Je užitečné orientačně určit svah, který vozidlo překoná jízdou do spádnice nebo podél vrstevnice. Několik užívaných vzorců je odvozeno v příloze 1.

JÍZDA DO SPÁDNICE — EXAKTNÍ ŘEŠENÍ

Vhodným diagramem je závislost úhlu svahu, který stroj překoná, na prokluzu za podmínek dříve určených měření [tj. definováním průběhu $\delta = f(\mu_x)$]. Křivky na obr. 10 platí pro tyto podmínky:

položka	1	číslo křivky 2	3
druh půdy	hlinitý písek	prachovitá hlína	hlinitý písek
povrch	louka	louka	louka
stav povrchu	poměrně suchý	krátce po dešti	suchý
vlhkost půdy, %	30	30	10
lokalita	Hanušovice	Jílové	Nová Ves
rok	1978	1976	1976

Další variantou výpočtu je rozjezd do svahu stanoveným zrychlením (obvykle $a = 0,05 \text{ g} \div 0,50 \text{ m/s}^2$).

JÍZDA PODÉL VRSTEVNICE — EXAKTNÍ ŘEŠENÍ

Účelem je popsat pohybový a silový stav stroje v závislosti na úhlu svahu β alespoň těmito veličinami:

kinematické:

- úhly odklonu a rejdu $\gamma_1; \gamma_2; \varphi$,
- rychlost jízdy podél vrstevnice,
- otáčky horních a dolních kol při otevřených nápravových diferenciálech;

dynamické:

- normálové reakce Z na všech kolech,
- hnací síly H na všech hnacích kolech,
- boční síly Y na všech kolech,
- odpory valení R všech kol.

V nejjednodušším případě (dvounápravové vozidlo s dvoukolovým pohonem, diferenciál uzavřen) jde o prostorový případ tříkrát staticky neurčitý, který je tedy popsán šesti rovnovážnými výminkami a třemi deformačními rovnicemi.

Všechny deformační rovnice z oblasti interakce pojezdového ústrojí vozidla s půdou vycházejí ze vztahů mezi rychlostmi dvou podvozkových členů (např. kol) ve směrech x a y (obr. 5). Bezprokluzové rychlosti kol v_i vyjadřují kinematické vazby pohonu, skutečné rychlosti kol v jsou vázány podmínkou tuhosti stroje jakožto mechanického tělesa. Vztah mezi rychlostmi je třeba převést na vztah mezi prokluzy a také mezi tangentami úhlů směrové úchytky. Tyto veličiny mohou být podle teorie rovinného pohybu kola (Grečenko, 1975) vyjádřeny silovými účinky, takže se jako výsledek obdrží vztah mezi silami — to je hledaná deformační rovnice.

Vychází se ze známých vztahů:

$$\delta = u \cdot \cos \xi \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{u \cdot \sin \xi}{1 - \delta} \quad (4)$$

Gradient deformace u je roven:

$$u = \frac{u_s}{2} \cdot \frac{3\mu \cdot \mu_m - 2\mu^2}{\mu_m \cdot (\mu_m - \mu)} \quad (5)$$

$$u_s = j_k / l; \mu = \sqrt{H^2 + Y^2} / Z$$

Úhly výsledné síly s rovinou kola:

$$\cos \xi = \frac{H}{\sqrt{H^2 + Y^2}}; \sin \xi = \frac{Y}{\sqrt{H^2 + Y^2}} \quad (6)$$

Dosazením do vzorců (3, 4) se obdrží hledané vyjádření prokluzu δ a tangenty úhlu směrové úchytky γ :

$$\delta = \frac{m}{n} \cdot H \quad (7)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{m \cdot Y}{n - m \cdot H} \quad (8)$$

$$\text{kde: } m = u_s \cdot (3Z \cdot \mu_m - 2\sqrt{H^2 + Y^2}) \\ n = 2Z \cdot \mu_m \cdot (Z \cdot \mu_m - \sqrt{H^2 + Y^2})$$

Odpor valení R v rovině kola zůstává konstantní do úhlu $\gamma = 30 - 40^\circ$, což je znovu potvrzováno rozбором novějších měření, jež uvádějí Schwanghart (1981) i Gee-Clough a Sommer (1981).

Jednoduchý příklad sestavení a aplikace deformační výminky je uveden v příloze 2.

Bylo ukázáno, že deformační výminky lze odvodit jen prostřednictvím vztahů (5), u nichž je gradient deformace vyjádřen explicitně [rovnice (5) představuje např. při $Y = 0$ vztah mezi prokluzem δ a součinitelem záběru μ_x].

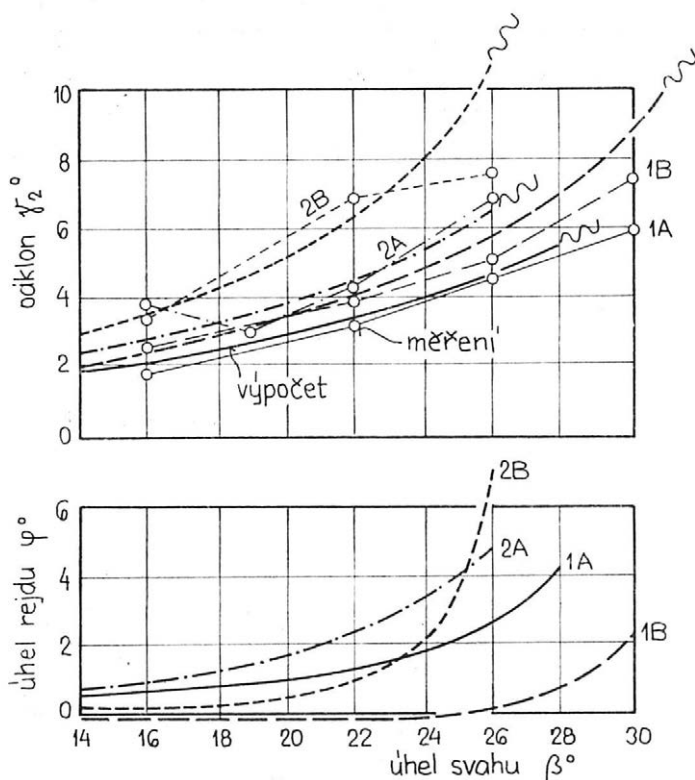
Veškeré známé rovnice pro hnací sílu (nebo součinitel záběru) ve funkci prokluzu exponenciálního typu, které obsahují společně členy tvaru $1/x$ a e^{-x} , postrádají možnost explicitně vyjádřit prokluz (obecně gradient deformace), a nejsou tedy v těchto důležitých aplikacích použitelné.

Pomocí teorie rovinného pohybu kola se podařilo formulovat potřebné deformační výminky pro různé druhy pohonu dvounápravových vozidel a obdržené soustavy nelineárních algebraických rovnic řešit na počítači. Např. obr. 11 ukazuje výpočtovou interpretaci měření úhlů svahového vozidla při jízdě podél vrstevnice svahu β . Vozidlo se dvěma nápravami má pohon všech kol a nápravové diferenciály v činnosti (případ byl řešen jako šestkrát staticky neurčitý). Při měření bylo vozidlo alternativně vybaveno dvěma druhy pneumatik a přípojným strojem (adaptérem) neseným buď vpředu, nebo vzadu. Výpočet potvrdil, že teorie je schopna poskytnout cenné informace o chování a parametrech vozidla i o nejvyšším svahu, který je vozidlo schopno překonat.

ZÁVĚR

Výzkum jízdy vozidel na svazích je jedním z problémů mechaniky a teramechaniky, které posouvají náplň řešení do více dimenzí, prověřují platnost a použitelnost teorií a nabízejí nové náměty výzkumu.

11. Vypočtené hodnoty odklonu γ_2 zemědělského svahového stroje při jízdě podél vrstevnice na travnatém svahu se sklonem β vynesené společně s naměřenými hodnotami; vypočtený úhel rejdu φ předních kol je vynesěn ve spodní části grafu (1 ... terra-pneumatiky 38 X 20,00-16.1; 2 ... standardní pneumatiky 12,5/12-18; A ... čelně nesený diskový žací stroj; B ... vzadu nesený obračec-shrnovač) — Computed values of heading γ_2 of an agricultural hillside machine travelling along the contour line of a dry grass-covered slope with a gradient β plotted together with experimental values; the computed steering angle φ of the front wheels is given in the lower section of the graph (1 ... terra-tyres 38 X 20,00-16.1; 2 ... standard 12.5/12-18 tyres; A ... front mounted disc mower; B ... rear mounted rake)



Zdá se, že třídímní (prostorové) problémy v mechanice terénních vozidel lze úspěšně řešit pomocí dvoudímní teramechaniky v duchu M. G. Bekkera, i když aplikovatelnost klasických veličin, jako jsou „koheze“ nebo „vnitřní tření“, bude třeba přehodnotit. Známé předpoklady akademické teramechaniky pozbývají v terénu s travnatým nebo s kompaktním povrchem ve vztahu k trakčním rovnicím svůj původní smysl (zuby pneumatiky do půdy neprotrnou a ta není homogenní), ale bez těchto předpokladů by řešení bylo chaotické.

Aplikace naznačují, že naději na použitelnost k řešení složitějších úloh o jízdních vlastnostech vozidel mají jen ty trakční vzorce, u nichž lze deformační veličinu (např. prokluz) vyjádřit explicitně.

Teorie prokluz — směrová úchylna prokazuje kladné výsledky při řešení kinematiky a dynamiky jízdy vozidla po vrstevnici svahu z těchto důvodů:

— výsledný silový účinek na uchylující kolo v rovině podložky se rozkládá na složky ve směru roviny kola a osy kola (nejde o formalitu, jelikož při tomto rozkladu lze hnací sílu vyjádřit podle klasických představ a odpor valení zůstává téměř nezávislý na úhlu směrové úchylny kola),

— umožňuje formulovat deformační výminky s pomocí bilineárního vzorce pro gradient deformace s explicitním vyjádřením gradientu.

PŘÍLOHA

1. Odhad svahové průjezdnosti vozidla

Předpokládá se vozidlo se čtyřkolovým pohonem s pevnou otáčkovou vazbou náprav. Využívá se rovnoměrný pohyb do spádnice a podél vrstevnice (zanedbání odklonu osy stroje a ředů řídicích kol) s pomocí středního součinitele záběru $\mu_x = \Sigma H / \Sigma Z$ a $\mu_y = \Sigma Y / \Sigma Z$ podle obr. 12.

Pro pohyb vozidla do spádnice (obr. 12a) platí pohybová rovnice

$$\Sigma H = G \cdot \sin \beta + \Sigma R = G \cdot \sin \beta + \psi \cdot G \cdot \cos \beta$$

$$\mu_x \cdot G \cdot \cos \beta = G (\sin \beta + \psi \cdot \cos \beta)$$

Vozidlo tedy vyjede svah s tangentou:

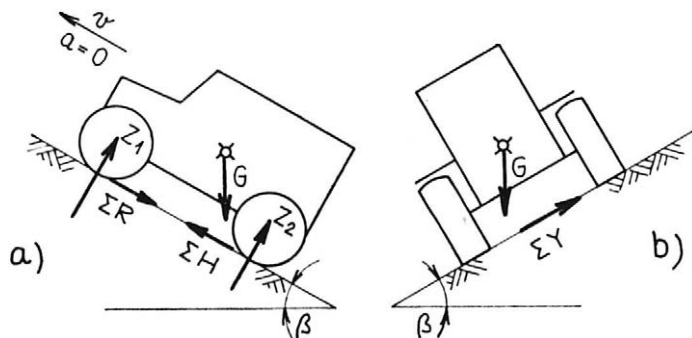
$$\tan \beta = \mu_x - \psi \quad (a)$$

Součinitel valení pneumatik ψ na travnaté podložce bývá 0,04–0,05.

Udržení vozidla na svahu při jízdě podél vrstevnice je při velmi malém prokluzu kol podmíněno rovnovážnou výminkou (obr. 12b)

$$\Sigma Y = G \cdot \sin \beta$$

$$\mu_y \cdot G \cdot \cos \beta = G \cdot \sin \beta.$$



12. Zjednodušená silová schémata: a) vozidlo jedoucí do spádnice; b) jedoucí podél vrstevnice — Simplified schematics of forces: a) a vehicle travelling up the gradient, b) travelling across the gradient

Pohyb je možný na svahu s tangentou

$$\operatorname{tg} \beta = \mu_y \quad (b)$$

Podle zkušenosti je třeba rozlišovat při charakteristické velikosti součinitele záběru (SZ):
— absolutně nejvyšší SZ ve směrech x ; y (součinitel lpění) ... μ_{xm} ; μ_{ym}
charakteristika: stejný posuv ve styčné ploše, tj.

$$\mu_{xm} \sim SZ \text{ při } \delta = \infty;$$

$$\mu_{ym} \sim SZ \text{ při } \gamma = 90^\circ;$$

stanovení: např. smykacím přístrojem

— mezní provozní SZ ... μ_{xl} ; μ_{yl}

charakteristika: posuv ve styčné ploše s gradientem $u \leq 1$;

$$\text{tj. } \mu_{xl} \sim SZ \text{ při } \delta = \delta_l \text{ (obr. 2);}$$

$$\mu_{yl} \sim SZ \text{ při } \gamma = \arctg \delta_l;$$

stanovení: vyhodnocení příslušných zkoušek stroje v terénu;

vazba na součinitel lpění:

$$\mu_{xl} = \alpha_x \cdot \mu_{xm}$$

$$\mu_{yl} = \alpha_y \cdot \mu_{ym}$$

— provozní SZ ... μ_x ; μ_y

stanovení: pomocí součinitele bezpečnosti κ (podle dosavadní zkušenosti se doporučuje $\kappa = 1,20$);
vazba na mezní provozní SZ a součinitel lpění:

$$\mu_x = \mu_{xl}/\kappa = \alpha_x \cdot \mu_{xm}/\kappa$$

$$\mu_y = \mu_{yl}/\kappa = \alpha_y \mu_{ym}/\kappa = \alpha_y \cdot \left(\frac{\mu_{ym}}{\mu_{xm}} \right) \cdot \mu_{xm}/\kappa$$

Průměrná hodnota součinitele lpění μ_{xm} pro celkovou styčnou plochu pneumatik vozidla na svahu se určí prostřednictvím smykové pevnosti půdy $\tau_m = c + q_s \cdot \operatorname{tg} \varphi$

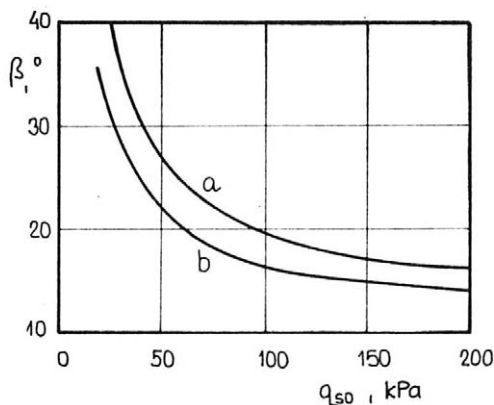
kde: $q_s = q_{so} \cdot \cos^n \beta$ a $q_{so} = G/\Sigma S_o$:

$$\mu_{xm} = \frac{\tau_m}{q_{so} \cdot \cos^n \beta} = \frac{c}{q_{so} \cdot \cos^n \beta} + \operatorname{tg} \varphi \quad (c)$$

Poměr μ_{ym}/μ_{xm} závisí především na dezénu pláště a na hlavních rozměrech styčné plochy vzhledem ke směru působení celkové síly.

Součinitel n je menší než 1; např. u pneumatik 12,5/12-18 se šípovým dezénem bylo experimentálně zjištěno $n = 0,37$ pro β alespoň do 30° . Součinitel lpění se tedy vlivem kohezni složky s rostoucím svahem zvětšuje.

13. Odhad svahové průjezdnosti vozidla se čtyřkolovým pohonem v závislosti na průměrném kontaktním tlaku na mokřem travnatém svahu: a ... do spádnice, b ... podél vrstevnice — An assessment of the hillside performance of a four wheel-driven vehicle with respect to the average contact pressure on a wet grass-covered slope: a ... directly up-hill, b ... along the contour line



Dosazením (c) do (a), (b) se obdrží přibližné vzorce pro svahovou průjezdnost vozidla:

— do spádnice

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\alpha_x}{\kappa} \cdot \left(\frac{c}{q_{so} \cdot \cos^n \beta} + \operatorname{tg} \varphi \right) - \kappa \quad (d)$$

— podél vrstevnice

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\alpha_y}{\kappa} \cdot \frac{\mu_{ym}}{\mu_{xm}} \cdot \left(\frac{c}{q_{so} \cdot \cos^n \beta} + \operatorname{tg} \varphi \right) \quad (e)$$

Z těchto vzorců lze např. vyhodnotit závislost $\beta = f(q_{so})$: nejdříve se zjednodušeně řeší pro $n = 0$ přímo $\operatorname{tg} \beta$ (vyjde poněkud nižší), pak postupným přibližováním při $n > 0$ konečný úhel β .

Na obr. 13 je znázorněn výsledek řešení pro typické parametry: $c = 18$ kPa; $\operatorname{tg} \varphi = 0,34$; $\psi = 0,05$; $n = 0,37$; $\alpha_x = 0,95$; $\alpha_y = 0,82$; $\mu_{ym}/\mu_{xm} = 0,83$ (šípový dezén); $\kappa = 1,20$; $q_{so} = G/\Sigma S_o$.

Z diagramu je zejména patrné:

- vozidlo překoná větší svah jízdou do spádnice;
- v rozmezí $q_{so} = 100 - 200$ kPa se svahová průjezdnost příliš nemění; teprve dalším snižováním q_{so} se svahová průjezdnost progresivně zvětšuje.

Tyto závěry jsou ve shodě s dosavadní zkušeností.

2. Příklad odvození deformační rovnice

Je dána úloha: odvodit vzorce pro rozdělení hnacích sil H_1 a H_2 mezi podobně provedenými nápravami 1 a 2 traktoru se čtyřkolovým pohonem (elementární $1 \times$ staticky neurčitý případ).

Lze napsat tři rovnovážné výminky, z nichž plynou např. normálové reakce na nápravách Z_1 a Z_2 a dále celková hnací síla $H = H_1 + H_2$ ve funkci tahové síly F .

Deformační rovnice plyne z kinematických vazeb:

$$v_{t1} = v_{t2}; v_1 = v_2$$

Dělením rovnic se obdrží $v_1/v_{t1} = v_2/v_{t2}$, neboli s ohledem na dřívější rovnici (1):

$$1 - \delta_1 = 1 - \delta_2 \text{ a tedy } \delta_1 = \delta_2$$

Prokluzy obou náprav jsou stejné. Podle (7):

$$\delta = \frac{u_s \cdot (3Z \cdot \mu_m - 2H)}{2Z \cdot \mu_m \cdot (Z \cdot \mu_m - H)} \cdot H = \frac{u_s \cdot (3\mu_m - 2H/Z)}{2\mu_m \cdot (\mu_m - H/Z)} \cdot \frac{H}{Z} = f\left(\frac{H}{Z}\right) = f(\mu_x)$$

Proto: $f(H_1/Z_1) = f(H_2/Z_2)$ s výsledkem:

$$\frac{H_1}{Z_1} = \frac{H_2}{Z_2} \dots \mu_{x1} = \mu_{x2}$$

což je hledaná deformační rovnice, která společně se vztahem $H = H_1 + H_2$ dá výsledky:

$$H_1 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot H$$

$$H_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot H$$

Seznam hlavních symbolů

G	kN	tíha vozidla
H	kN	hnací (obvodová) síla
R	kN	odpor valení
R_e	kN	vnější odpor valení
R_i	kN	vnitřní odpor valení
S_o	m ²	stýčná plocha pneumatiky
Y	kN	boční síla na kolo

Z	kN	normálová reakce
a	m/s ²	zrychlení pohybu
c	kPa	koheze půdy
g	m/s ²	zrychlení zemské tíže 9,81 m/s ²
j	m	posuv ve styčné ploše
j_k	m	charakteristický posuv
l	m	délka styčné plochy
n	—	součinitel
q_s	kPa	střední kontaktní tlak
q_{so}	kPa	průměrný kontaktní tlak $G/\Sigma S_o$
u	—	gradient deformace
u_s	—	střední gradient
v	m/s	rychlost pohybu skutečná
v_t	m/s	rychlost bezprokluzová
w	—, %	vlhkost půdy
x	m	1. délka od náběžného bodu styčné plochy 2. podélná souřadnice
y	m	příčná souřadnice
α_x	—	součinitel μ_{xl}/μ_{xm}
α_y	—	součinitel μ_{yl}/μ_{ym}
β	°	úhel svahu
γ	°	úhel směrové úchylny kola
γ_1	°	úhel odklonu (směrové úchylny) předních kol
γ_2	°	úhel odklonu (směrové úchylny) zadních kol
δ	—	prokluz
δ_l	—	limitní prokluz
δ_s	—	střední prokluz v bilineární rovnici
ξ	°	úhel výsledné síly na kolo od osy kola
κ	—	součinitel bezpečnosti
μ_m	—	součinitel lpění
$\mu_{x, y}$	—	provozní součinitel záběru (SZ) ve směru x, y
μ_{x, y_l}	—	mezní provozní SZ ve směru x, y
$\mu_{x, ym}$	—	součinitel lpění ve směru x, y
τ_m	kPa	smyková pevnost půdy
φ	°	1. úhel tření v půdě 2. úhel rejdu řídicích kol

Literatura

- GEE-CLOUGH, D. — SOMMER, M. S.: Steering forces on undriven angled wheels J. Terramech., 18, 1981, č. 1, s. 25-49.
- GILFILLAN, G.: Attitude of a tractor on sloping land. J. agric. Engng Res., 12, 1967, č. 4, s. 293-296.
- GILFILLAN, G.: Tractor behaviour during motion uphill. Part I, II. J. agric. Engng Res., 15, 1970, č. 3, s. 221-243.
- GREČENKO, A.: Nové výsledky teorie rovinného pohybu kola. Zeměd. Techn., 21, 1975, č. 9, s. 507-524.
- GREČENKO, A.: Urychlená měření tahových vlastností terénních vozidel — techniky měření. Zeměd. Techn., 26, 1980, č. 11, s. 643-664.
- KRICK, G.: Schräglaufverhalten angetriebener Reifen im nachgiebigen Boden. ATZ, 73, 1971, č. 7, s. 243-246; č. 8, s. 301-306.
- SCHWANGHART, H.: Messungen von Kräften an gelenkten, nicht angetriebenen Reifen. Proc. 7th int. Conf. ISTVS, Calgary 1981, s. 335-356.
- SPENCER, H. B.: Stability and control of two-wheel drive tractors and machinery on sloping ground. J. agric. Engng Res., 23, 1978, č. 2, s. 169-188.
- SPENCER, H. B. — OWEN, G.M.: A device for assessing the safe descent slope of agricultural vehicles. J. agric. Engng Res., 26, 1981, č. 3, s. 277-286.
- SPENCER, H. B. — OWEN, G. M. — GREENHILL, A. L.: A microprocessor-based safe descent slope meter. J. agric. Engng Res., 28, 1983, č. 3, s. 269-272.
- WONG, J. Y. — PRESTON-THOMAS, J.: On the characterization of the shear stress — displacement relationship of terrain. J. Terramech., 19, 1983, č. 4, s. 225-234.

Došlo dne 1. 2. 1984

ГРЕЧЕНКО, А. (Агрозет, концерновый научно-исследовательский институт сельхозмашин, Прага - Ходов): Передвижение сельхозмашин на травянистых косогорах. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 321-334.

В статье приводятся экспериментальные и теоретические данные о проходимости колесных машин на травянистых косогорах. Главным образом обсуждаются сцепляемость на линии максимального уклона откоса при усилии и торможении, скороподъемность машины и установка машины при передвижении вдоль горизонтали. Приводятся современные возможности прогноза проходимости машин на откосах, а также некоторые техники расчета.

проходимость машин на откосах; колесные машины; термеханика

GREČENKO, A. (Agrozet, Concern Research Institute of Farm Machines, Praha-Chodov): *Travel of Agricultural Vehicles on Steep Grass-Covered Slopes*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 321-334.

Some experimental and theoretical results of research into the performance of wheeled vehicles on grass-covered slopes are given. Particularly traction properties and hillside performance up or down the gradient are dealt with and the attitude of vehicles when moving along the contour line. The present state of art of predicting the hillside performance of wheeled vehicles is outlined together with some recommendations on the techniques of computation.

hillside performance; wheeled vehicle; terramechanics

Adresa autora:

Doc. ing. Alexandr Grečenko, CSc., Agrozet, koncerový výzkumný ústav zemědělských strojů, 140 03 Praha 4 - Chodov

MECHANICKÉ A ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI KOŘENŮ A HLÍZ V PRŮBĚHU STLAČOVÁNÍ

J. Blahovec, K. Patočka, B. Míča

BLAHOVEC, J. — PATOČKA, K. — MÍČA, B. (Vysoká škola zemědělská, Praha-Suchbát; Výzkumný a šlechtitelský ústav bramborářský, Havlíčkův Brod): *Mechanické a elektrické vlastnosti kořenů a hlíz v průběhu stlačování*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 335-354.

V práci je uvedena originální metoda souběžného vyšetřování mechanických vlastností a elektrické vodivosti vzorků připravených z hlíz, bulv a kořenů důležitých zemědělských produktů. Válcové vzorky jsou stlačovány mezi dvěma deskami sloužícími zároveň jako elektrody pro určování elektrické vodivosti. Jsou uvedeny výsledky dvouletých proměření odenkových hlíz brambor (tři odrůdy), hypokotylních hlíz ředkviček, stonkových hlíz kedlubnu, kořenů mrkve a petržele a bulv salátové řepy. Je ukázán vliv rychlosti stlačování na naměřené veličiny a diskuse se zabývá mechanismy řídicími průběh deformace dužinatých materiálů.

brambory; kořenová zelenina; deformace; měrná elektrická vodivost; modul pružnosti; pevnost

Důležité produkty zemědělské výroby, jakými jsou brambory, kedlubny a kořenová zelenina, jsou tvořeny dužninami, jejichž pletiva se skládají z poměrně velkých buněk s vysokým obsahem vody a nižším obsahem vlákniny. Tato struktura je příčinou toho, že se uvedené produkty poměrně snadno mechanicky poškodí nárazem, otlakem či otěrem, což je doprovázeno přímým snížením konzumní hodnoty nebo po infikování mikroorganismy úplným znehodnocením produktu. Zároveň je však nutné připomenout, že uvedená struktura produktů je současně významným ukazatelem konzumní kvality. Zvláště u kořenové zeleniny je žádoucí, aby produkty byly nezdřevnatělé a šťavnaté.

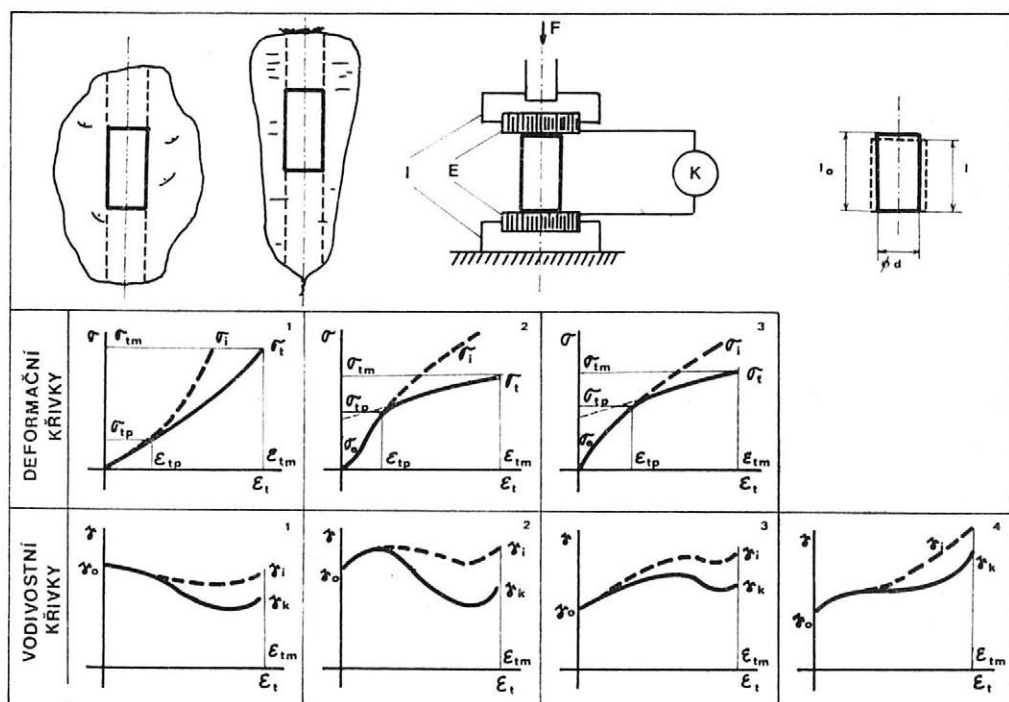
Požadavky na odolnost proti mechanickému poškození jsou alespoň částečně v rozporu s požadavky na dodržení konzumní kvality produktů. Stále rostoucí požadavky na mechanizaci sklizně a posklizňového zpracování brambor i zeleniny vyžaduje detailnější znalosti mechanických vlastností těchto materiálů, aby v mechanizačních prostředcích při jejich zpracování docházelo k minimálním ztrátám. V dnešní době najdeme v literatuře již velké množství prací týkajících se problematiky mechanických vlastností zemědělských materiálů (M o h s e n i n, 1970), zejména brambor a zeleniny. Několik zajímavých prací s uvedenou tematikou je uvedeno v soupisu literatury. Velmi podrobně jsou studovány mechanické vlastnosti dužnin z hlediska teorie elastického kontinua (D i e h l a j., 1979), pozornost je věnována vztahu mechanických vlastností k veli-

kosti tzv. vodního potenciálu (Murase aj., 1980) a také množství vytlačené šťávy z deformovaných vzorků (Peleg aj., 1976).

V předchozích pracích (Blahovec aj., 1983, 1984) jsme věnovali pozornost jednoduchému testování mechanických vlastností hlíz brambor. V této práci se zabýváme širším souborem materiálů a jiným způsobem testování: deformací válcových vzorků tlakem, který umožňuje kromě pevnostních veličin určovat také modul pružnosti vzorku a navíc umožňuje zachycovat v průběhu celé deformace měrnou elektrickou vodivost stlačovaného vzorku.

MATERIÁL A METODA

K měření byly použity hlízy brambor odrůd 'Resy', 'Karin' a 'Boubín' v období asi 14 dnů po sklizni v letech 1981 a 1982. Brambory byly pěstovány na pokusných pozemcích Výzkumného a šlechtitelského ústavu bramborářského v Havlíčkově Brodu, stanice Valečov, při základní agrotechnice a dávkách hnojení 120 kg dusíku, 200 kg draslíku a 160 kg fosforu na hektar. Brambory byly po krátkodo-



1. Schéma experimentálního uspořádání a typů deformačních a vodivostních křivek — Experiment layout and the types of deformation and conductance curves

ϵ — poměrná deformace: inženýrská (i), skutečná (t); σ — tlakové napětí ve vzorku: inženýrské (i), skutečné (t); γ — měrná elektrická vodivost vzorku: s korekcí změny délky vzorku (i), s korekcí změny délky a průřezu vzorku (t); E — elektrody; I — izolátor; K — konduktometr

$$\epsilon_i = \frac{l_0 - l}{l_0}; \quad \epsilon_t = -\ln(1 - \epsilon_i); \quad \sigma_i = \frac{4F}{\pi d^2}$$

$$\sigma_t = \frac{4F}{\pi d^2} \cdot (1 - \epsilon_i); \quad \gamma_i = \frac{4G \cdot l_0}{\pi d^2} (1 - \epsilon_i); \quad \gamma_t = \gamma_i \cdot (1 - \epsilon_i)$$

G — měřená hodnota vodivosti vzorku

I. Přehled proměřených vzorků — A survey of the measured samples

Plodina	Odrůda	Datum experimentu	Obsah sušiny %	Obsah vlákniny %	Rychlost deformace mm.s ⁻¹	Počet opakování
Brambory	Boubín	28. 10. 1981	25,5	1,21	0,0167 0,167 1,67	5 15 10
		14. 10. 1982	28,7	1,28	0,0167 0,167	6 20
	Karin	7. 10. 1981	18,6	2,37	0,0167 0,167 1,67	4 10 10
		30. 9. 1982	20,6	1,44	0,0167 0,167	10 20
	Resy	30. 9. 1981	18,4	2,29	0,0167 0,167 1,67	10 10 10
		20. 9. 1982	21,1	1,55	0,0167 0,167	10 20
	Saxa	6. 5. 1981	4,7	—	0,0167 0,167 1,67	10 10 10
		6. 5. 1982	4,0	9,10	0,167 1,67	20 10
Kedlubny	Gigant	11. 11. 1981	7,4	—	0,0167 0,167 1,67	4 17 5
		3. 11. 1982	7,4	3,81	0,0167 0,167	10 20
Mrkev	Chantenay Lysská	14. 10. 1981	9,7	5,97	0,0167 0,167	10 20
	Karotina	28. 10. 1982	14,4	6,85	0,0167 0,167	10 20
Petržel	Hanácká	28. 10. 1981	15,9	9,00	0,0167 0,167 1,67	10 10 9
Řepa salátová	Betina	14. 10. 1982	18,7	5,93	0,0167 0,167	6 20

bém uskladnění převezeny do Prahy a ihned podrobeny zkouškám. Kedlubny a kořenová zelenina, použitá k experimentům (tab. I), byly pěstovány na pozemcích VŠZ v Praze Tróji a měření u nich prováděná následovala do tří dnů po jejich sklizni.

Z donesených hlíz a kořenů byly připraveny vzorky válcovitého tvaru o průměru 15 mm a délce 22 mm. Vzorky byly vyříznuty korkovrtem ve směru osy hlízy či kořene (Blažovec aj., 1983) — (obr. 1) a zkráceny řezy kolmými na osu vzorku ve speciálním přípravku. Vzorky byly ve všech případech odebrány ze středu sledovaného objektu. Potom byly umístěny mezi dvě ocelové elektrody se slabým povlakem niklu a stlačovány univerzálním deformačním strojem Instron se stálou rychlostí posunu způsobem naznačeným v obr. 1. Při deformaci byla kromě průběhu síly (deformační křivka) průběžně sledována elektrická vodivost deformovaného vzorku G . Za tímto účelem byly elektrody E přípravku trvale spojeny s konduktometrem Radelkis OK 102/1. Frekvence proudu, použitá k měření vodivosti, byla 3 kHz.

Ze získaných výsledků byly vyhodnocovány poměrné deformace ε , tlakové napětí vzorku σ a měrná elektrická vodivost γ . Vzhledem k tomu, že v případě tlakových testů biologických materiálů nemůžeme považovat realizované deformace za malé, vyhodnocovali jsme kromě běžně užívané tzv. inženýrské poměrné deformace σ_i také tzv. skutečnou poměrnou deformaci ε_t . Kromě inženýrského napětí σ_i bylo definované tzv. skutečné napětí σ_t , charakteristické uvážením změny plochy průřezu vzorku s rostoucí deformací za předpokladu nestlačitelnosti vzorku. V případě měrné elektrické vodivosti byly použity k vyhodnocení také dvě alternativy výpočtu, jedna respektující pouze změnu délky vzorku a předpokládající jeho stálý průměr γ_i , druhá respektující obě změny na základě poměrné deformace a předpokladu, že vzorek je tvořen nestlačitelným materiálem — γ_t .

Při hodnocení výsledků budeme dávat přednost veličinám s indexem t , i když korekce na změnu průřezu vzorku, která je základem pro odvození veličin σ_t a γ_t není v našem případě zcela opodstatněná, neboť kromě přirozené stlačitelnosti vzorků hraje svou roli průběžné vytlačování šťávy z nich. Hlavní typy získaných závislostí tlakového napětí a měrné elektrické vodivosti na poměrné deformaci vzorků jsou zachyceny v obr. 1. V tomto obrázku je také naznačen způsob odečítání některých charakteristických veličin ze získaných závislostí.

Dalšími významnými veličinami odečítanými z deformačních křivek jsou její směrnice. Definujeme je obecně výrazem:

$$E(\varepsilon_t) = \frac{d\sigma_{(t,i)}}{d\varepsilon_t} \quad (1)$$

VÝSLEDKY

Získané deformační křivky a tzv. vodivostní křivky, tj. závislosti měrné elektrické vodivosti na poměrné deformaci, měly značně proměnlivý tvar, rozdílný nejen pro různé materiály, ale také v rámci jedné plodiny. V obr. 1 jsou uvedeny základní idealizované typy těchto závislostí: tři typy deformačních křivek (TDK) a čtyři typy vodivostních křivek (TVK).

Deformační křivky mohou být vyjádřeny jako závislosti inženýrského napětí na inženýrské poměrné deformaci, jak je to běžné u klasických materiálů, či jako závislost skutečného napětí na skutečné poměrné deformaci. V případě velkých deformací při deformaci tlakem je však výlučně třeba použít skutečné poměrné deformace. Obdobný závěr by platil i pro napětí, kdyby nedocházelo k objemovému stlačování materiálu v průběhu testu a zejména kdyby se nesnižoval objem vzorku výronem šťáv. V obr. 1 jsou jako deformační křivky vyznačeny závislosti obou veličin σ_i a σ_t na skutečné poměrné deformaci ε_t . Dále však budeme užívat spíše hodnoty skutečného napětí σ_t .

Deformační křivky všech typů můžeme rozdělit na dvě části: část s nízkými hodnotami poměrné deformace ($\varepsilon_t < \varepsilon_{tp}$) a část s vysokými

hodnotami poměrné deformace. Obě části jsou od sebe odděleny buď inflexním bodem (TDK 2 a 3), nebo zastavením růstu směrnice deformační křivky (TDK 1). Velmi výrazná je závislost σ_t na ε_t u TDK 3, tvořená dvěma téměř lineárními úseky. Ve všech případech je však možné za přibližně lineární považovat úsek deformační křivky s vysokými hodnotami poměrné deformace ($\varepsilon_t > \varepsilon_{tp}$); pro tento úsek je možné vyjádřit závislost σ_t na ε_t ve tvaru:

$$\sigma_t = \sigma_e + E_k \cdot \varepsilon_t \quad (2)$$

v němž E_k je směrnicí této části deformační křivky. Veličiny ε_{tp} a σ_{tp} tvoří souřadnice průsečíku linearizovaných závislostí z první a druhé části deformační křivky. Veličiny ε_{tm} a σ_{tm} jsou pak souřadnicemi koncového bodu u deformační křivky, za nímž klesá napětí v důsledku porušení vzorku. Veličinou E_p popisujeme směrnicí linearizované první části deformační křivky — viz vztah (1). Jako modul pružnosti v tlaku E je chápána veličina, která je rovna E_k (TDK 1), maximální směrnicí závislosti $\sigma_t - \varepsilon_t$ (TDK 2) nebo E_p (TDK 3).

Různé typy vodivostních křivek jsou uvedeny také v obr. 1 a liší se průběhem měrné elektrické vodivosti v závislosti na deformaci od počáteční hodnoty γ_0 . Jak postupně roste index TDK od 1 ke 4, mění se charakter závislosti od klesající k rostoucí.

Získané deformační a vodivostní křivky nebyly ve všech případech tak plynulé, jak jsou vyznačeny v obr. 1; některé z nich vykazovaly větší či menší odchylky od tohoto průběhu.

Charakter porušení vzorku na konci deformace byl zachycen indexem i_{destr} , který prostřednictvím hodnot (celých čísel) 1—4 zachycuje stupeň vývoje trhlin ve vzorku od stavu bez viditelných trhlin přes stav vzorku s mikrotrhlinami až ke stavu, v němž vzorek praskl velkou diagonální trhlinou.

Střední hodnoty veličin určených z deformačních křivek jsou uvedeny v tab. II. V případě petržele jsou uvedeny dvě sady výsledků: pro centrální (křehkou) a okrajovou (houževnatější) část kořene.

DISKUSE

DEFORMAČNÍ A VODIVOSTNÍ KŘIVKY

Na obr. 2 jsou uvedeny inženýrská a skutečná deformační křivka získané, u vzorku brambor odrůdy 'Resy'. Z obrázku jsou patrné rozdíly mezi oběma závislostmi. Zatímco v první části křivky ($\varepsilon < \varepsilon_{tp}$) jsou rozdíly malé, v druhé části jsou již rozdíly velmi významné. Přepočet inženýrského napětí a inženýrské poměrné deformace na skutečné hodnoty je základem lineárního charakteru druhé části závislosti $\sigma_t - \varepsilon_t$. Obr. 2 ukazuje, že hodnota σ_{im} je asi o polovinu vyšší než příslušná hodnota σ_{tm} . Změny průřezu vzorku v průběhu stlačování jsou při vysokých hodnotách dosažené poměrné deformace skutečné velké, je tedy pravděpodobné, že nepřesnosti v určení hodnot σ_{tp} , E_k i γ_t pro velké deformace nebudou v důsledku uvolnění tekutin ze vzorku a v důsledku jeho stlačitelnosti zanedbatelné a budou pro různé materiály různé. V našich výsledcích však tyto vlivy nemůžeme nijak korigovat.

Plodina — rok (odrůda)		R. d. $\frac{\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}}$	ε_{tp}	$\frac{\sigma_{tp}}{\text{MPa}}$	$\frac{E_p}{\text{MPa}}$
Brambory (Boubín)	81	0,0167	$0,0523 \pm 0,0068$	$0,260 \pm 0,020$	$5,14 \pm 0,48$
		0,167	$0,0487 \pm 0,0038$	$0,258 \pm 0,019$	$5,39 \pm 0,19$
		1,67	$0,0740 \pm 0,0093$	$0,335 \pm 0,028$	$4,73 \pm 0,21$
	82	0,0167	$0,0540 \pm 0,0065$	$0,147 \pm 0,014$	$3,30 \pm 0,14$
		0,167	$0,0475 \pm 0,0039$	$0,201 \pm 0,007$	$4,59 \pm 0,19$
(Karin)	81	0,0167*	0,0283	0,185	6,68
		0,167	$0,0310 \pm 0,0019$	$0,227 \pm 0,011$	$7,24 \pm 0,35$
		1,67	$0,0247 \pm 0,0013$	$0,208 \pm 0,007$	$8,63 \pm 0,48$
	82	0,0167	$0,0377 \pm 0,0029$	$0,198 \pm 0,089$	$5,40 \pm 0,31$
		0,167	$0,0407 \pm 0,0020$	$0,201 \pm 0,005$	$4,99 \pm 0,13$
(Resy)	81	0,0167	$0,0375 \pm 0,0027$	$0,199 \pm 0,011$	$5,44 \pm 0,27$
		0,167	$0,0483 \pm 0,0057$	$0,244 \pm 0,029$	$5,14 \pm 0,31$
		1,67	$0,0544 \pm 0,0023$	$0,269 \pm 0,013$	$4,96 \pm 0,17$
	82	0,0167	$0,0331 \pm 0,0027$	$0,190 \pm 0,007$	$5,93 \pm 0,27$
		0,167	$0,0340 \pm 0,0016$	$0,179 \pm 0,006$	$5,39 \pm 0,20$
Ředkvičky (Saxa)	81	0,0167	$0,101 \pm 0,014$	$0,225 \pm 0,036$	$2,13 \pm 0,13$
		0,167	$0,062 \pm 0,006$	$0,150 \pm 0,015$	$2,28 \pm 0,15$
		1,67	$0,060 \pm 0,006$	$0,189 \pm 0,024$	$3,11 \pm 0,27$
	82	0,167	$0,0532 \pm 0,0030$	$0,170 \pm 0,011$	$3,19 \pm 0,15$
		1,67	$0,0373 \pm 0,0029$	$0,123 \pm 0,008$	$3,36 \pm 0,22$
Kedlubny (Gigant)	81	0,0167	$0,0857 \pm 0,0073$	$0,540 \pm 0,033$	$6,43 \pm 0,69$
		0,167	$0,0781 \pm 0,0044$	$0,533 \pm 0,022$	$6,73 \pm 0,36$
		1,67	$0,0518 \pm 0,0058$	$0,367 \pm 0,041$	$7,15 \pm 0,39$
	82	0,0167	$0,0508 \pm 0,0025$	$0,340 \pm 0,015$	$6,88 \pm 0,46$
		0,167	$0,0718 \pm 0,0042$	$0,449 \pm 0,017$	$6,50 \pm 0,27$
Mrkev (Chantenay) (Karotina)	81	0,0167	$0,0673 \pm 0,0131$	$0,434 \pm 0,057$	$5,63 \pm 0,48$
		0,167	$0,0659 \pm 0,0070$	$0,506 \pm 0,056$	$6,23 \pm 0,36$
		1,67	$0,0824 \pm 0,0202$	$0,642 \pm 0,094$	$8,34 \pm 1,02$
	82	0,0167	$0,0833 \pm 0,0113$	$0,648 \pm 0,056$	$7,83 \pm 0,46$
Petržel (Hanácká) centrál. část okrajová část	81	0,0167	$0,0636 \pm 0,0094$	$0,224 \pm 0,022$	$3,28 \pm 0,46$
		0,167	$0,0680 \pm 0,0077$	$0,260 \pm 0,040$	$3,45 \pm 0,14$
		1,67	$0,0542 \pm 0,0141$	$0,182 \pm 0,029$	$3,35 \pm 0,47$
	81	0,0167	$0,0580 \pm 0,0160$	$0,174 \pm 0,036$	$3,12 \pm 0,47$
		0,167	$0,0840 \pm 0,0049$	$0,222 \pm 0,030$	$2,42 \pm 0,28$
		1,67	$0,0624 \pm 0,0084$	$0,166 \pm 0,021$	$3,03 \pm 0,40$
Řepa salátová (Betina)	82	0,0167	$0,0846 \pm 0,0272$	$0,479 \pm 0,090$	$4,73 \pm 0,58$
		0,167	$0,0578 \pm 0,0076$	$0,379 \pm 0,065$	$5,35 \pm 0,28$

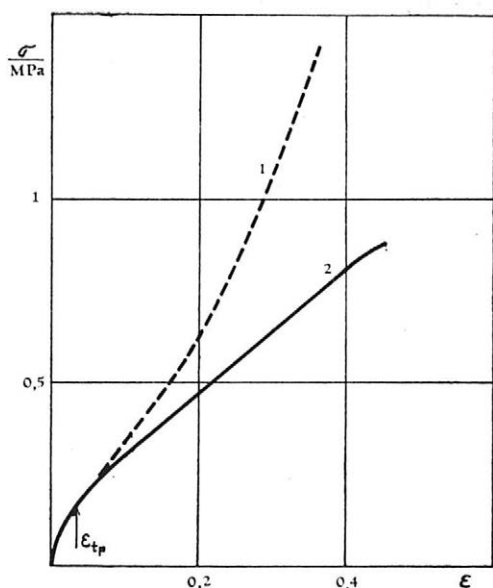
R. d. — rychlost deformace

mean values of the studied parameters and the standard error of the mean

$\frac{E_k}{\text{MPa}}$	$\frac{\sigma_e}{\text{MPa}}$	ϵ_{tm}	$\frac{\sigma_{tm}}{\text{MPa}}$	$\frac{\gamma_o}{\text{Sm}^{-1}}$
2,21 ± 0,05	0,144 ± 0,013	0,462 ± 0,014	1,11 ± 0,04	0,0338 ± 0,0014
2,63 ± 0,05	0,131 ± 0,012	0,398 ± 0,009	1,18 ± 0,03	0,0316 ± 0,0007
2,85 ± 0,06	0,126 ± 0,008	0,383 ± 0,011	1,24 ± 0,04	0,0338 ± 0,0008
1,72 ± 0,06	0,081 ± 0,007	0,483 ± 0,017	0,90 ± 0,05	0,0360 ± 0,0014
1,98 ± 0,03	0,111 ± 0,004	0,430 ± 0,005	0,95 ± 0,02	0,0384 ± 0,0007
1,82	0,133	0,462	0,89	0,0312
21,4 ± 0,04	0,158 ± 0,008	0,393 ± 0,006	0,93 ± 0,03	0,0326 ± 0,0009
2,24 ± 0,02	0,153 ± 0,007	0,365 ± 0,010	0,95 ± 0,02	0,0317 ± 0,0006
1,77 ± 0,06	0,132 ± 0,009	0,490 ± 0,005	0,94 ± 0,00	0,0375 ± 0,0008
1,89 ± 0,05	0,127 ± 0,050	0,462 ± 0,005	0,96 ± 0,02	0,0371 ± 0,0005
1,88 ± 0,05	0,128 ± 0,008	0,445 ± 0,011	0,90 ± 0,02	0,0399 ± 0,0015
2,09 ± 0,06	0,143 ± 0,021	0,400 ± 0,012	0,93 ± 0,03	0,0385 ± 0,0014
2,21 ± 0,06	0,148 ± 0,010	0,377 ± 0,011	0,98 ± 0,02	0,0448 ± 0,0023
1,62 ± 0,05	0,136 ± 0,004	0,500 ± 0,007	0,89 ± 0,02	0,0440 ± 0,0001
1,82 ± 0,03	0,117 ± 0,005	0,481 ± 0,007	0,97 ± 0,05	0,0390 ± 0,0006
1,69 ± 0,09	0,062 ± 0,013	0,401 ± 0,008	0,62 ± 0,05	—
1,72 ± 0,05	0,043 ± 0,007	0,416 ± 0,011	0,68 ± 0,03	—
2,20 ± 0,09	0,054 ± 0,012	0,339 ± 0,009	0,74 ± 0,03	—
1,70 ± 0,06	0,081 ± 0,006	0,402 ± 0,013	0,70 ± 0,04	0,0443 ± 0,0017
1,78 ± 0,06	0,056 ± 0,004	0,414 ± 0,023	0,73 ± 0,05	0,0429 ± 0,0016
2,36 ± 0,18	0,336 ± 0,044	0,592 ± 0,037	1,59 ± 0,07	0,397 ± 0,0006
2,86 ± 0,12	0,296 ± 0,020	0,497 ± 0,014	1,68 ± 0,06	0,0374 ± 0,0020
3,55 ± 0,15	0,183 ± 0,030	0,428 ± 0,029	1,69 ± 0,14	0,0327 ± 0,0020
2,67 ± 0,10	0,207 ± 0,013	0,559 ± 0,014	1,43 ± 0,07	0,0447 ± 0,0032
2,91 ± 0,06	0,242 ± 0,013	0,497 ± 0,008	1,61 ± 0,05	0,0428 ± 0,0014
5,29 ± 0,23	0,093 ± 0,019	0,298 ± 0,008	1,53 ± 0,08	0,0204 ± 0,0013
5,71 ± 0,24	0,128 ± 0,020	0,281 ± 0,008	1,55 ± 0,05	0,0220 ± 0,0007
5,04 ± 0,31	0,224 ± 0,033	0,329 ± 0,014	1,70 ± 0,07	0,0256 ± 0,0013
6,05 ± 0,22	0,154 ± 0,019	0,305 ± 0,009	1,94 ± 0,09	0,0247 ± 0,0014
4,37 ± 0,40	0,046 ± 0,007	0,396 ± 0,012	1,45 ± 0,09	0,0161 ± 0,0008
4,27 ± 0,31	0,087 ± 0,002	0,361 ± 0,012	1,44 ± 0,04	0,0195 ± 0,0007
3,68 ± 0,51	0,028 ± 0,011	0,389 ± 0,016	1,30 ± 0,16	0,0221 ± 0,0009
2,72 ± 0,16	0,034 ± 0,007	0,362 ± 0,016	0,91 ± 0,08	0,0213 ± 0,0023
2,77 ± 0,46	0,079 ± 0,010	0,360 ± 0,024	0,91 ± 0,13	0,0208 ± 0,0021
2,35 ± 0,24	0,096 ± 0,034	0,369 ± 0,031	0,84 ± 0,04	0,0226 ± 0,0023
4,35 ± 0,29	0,113 ± 0,021	0,399 ± 0,016	1,52 ± 0,89	0,0236 ± 0,0022
5,50 ± 0,21	0,087 ± 0,012	0,350 ± 0,008	1,67 ± 0,03	0,0245 ± 0,0032

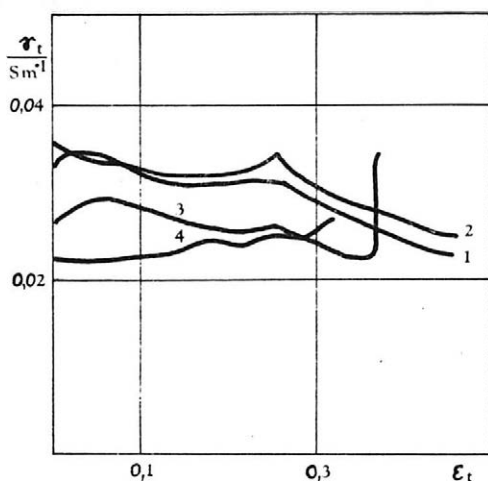
* vzhledem k malému počtu opakování je uváděna pouze střední hodnota

Plodina — rok (odrůda)		<i>i</i> destr.	<i>TDK</i>	<i>TVK</i>	$\frac{E}{\text{MPa}}$
Brambory (Boubín)	81	2,60 ± 0,24	3	2	5,14 ± 0,48
		2,87 ± 0,09	2,53 ± 0,13	2	5,79 ± 0,20
		2,50 ± 0,17	2,20 ± 0,13	2	5,83 ± 0,22
	82	2,33 ± 0,42	2	1,67 ± 0,21	4,22 ± 0,04
		2,85 ± 0,21	2,90 ± 0,07	1,30 ± 0,11	4,63 ± 0,18
(Karin)	81	2,33	3	2	6,68
		4	3	2	7,24 ± 0,35
		2,55 ± 0,36	3	2	8,63 ± 0,48
	82	2,20 ± 0,32	3	1,30 ± 0,15	5,40 ± 0,31
		2,90 ± 0,16	3	1,75 ± 0,10	4,99 ± 0,13
(Resy)	81	2,40 ± 0,34	3	1,70 ± 0,20	5,44 ± 0,27
		2,56 ± 0,38	3	1,32 ± 0,20	5,14 ± 0,31
		2,50 ± 0,37	2,10 ± 0,10	2	6,46 ± 0,45
	82	1,10 ± 0,10	3	1	5,93 ± 0,27
		1,45 ± 0,20	3	1,20 ± 0,09	5,39 ± 0,02
Ředkvičky (Saxa)	81	1,60 ± 0,27	2,50 ± 0,26	—	2,39 ± 0,18
		—	2,70 ± 0,15	—	2,46 ± 0,11
		—	2,90 ± 0,10	—	3,20 ± 0,25
	82	2,28 ± 0,11	2,89 ± 0,07	1,24 ± 0,16	3,27 ± 0,16
		1,67 ± 0,24	3	1,11 ± 0,11	3,36 ± 0,22
Kedlubny (Gigant)	81	3,25 ± 0,75	3	2	6,43 ± 0,69
		2,35 ± 0,24	3	2	6,73 ± 0,36
		2,40 ± 0,51	3	1,60 ± 0,25	7,15 ± 0,39
	82	2,40 ± 0,22	2,70 ± 0,15	1,90 ± 0,50	6,96 ± 0,47
		2,70 ± 0,22	2,21 ± 0,09	2	6,86 ± 0,19
Mrkev (Chantenay) (Karotina)	81	2,60 ± 0,27	1,90 ± 0,23	2,20 ± 0,20	7,10 ± 0,51
		3,11 ± 0,29	2,41 ± 0,12	2,17 ± 0,09	7,87 ± 0,24
	82	2,25 ± 0,25	2,44 ± 0,17	2,22 ± 0,22	10,90 ± 0,60
		2,06 ± 0,23	2,10 ± 0,07	2,53 ± 0,25	11,00 ± 0,37
Petržel (Hanácká) centrální část okrajová část	81	2	1,2	3,00 ± 0,20	5,87 ± 0,40
		2,60 ± 0,24	2,10 ± 0,24	3,30 ± 0,20	6,27 ± 0,35
		2,50 ± 0,65	1,50 ± 0,50	2,80 ± 0,20	3
	81	2,20 ± 0,20	2,00 ± 0,44	3,00 ± 0,40	3,02 ± 0,37
		2,40 ± 0,24	1,50 ± 0,24	3,30 ± 0,40	3,52 ± 0,67
		1,60 ± 0,40	1,60 ± 0,24	3,30 ± 0,40	3,57 ± 0,27
Řepa salátová (Betina)	82	2,17 ± 0,17	2	2,67 ± 0,56	6,35 ± 0,41
		2,30 ± 0,15	2,15 ± 0,08	1,80 ± 0,27	6,41 ± 0,17



2. Příklad deformačních křivek (brambory — odrůda Résy) — An example of deformation curves (potatoes — Résy cultivar)

1 — závislost $\sigma_t - \varepsilon_t$; 2 — závislost $\sigma_t - \varepsilon_t$

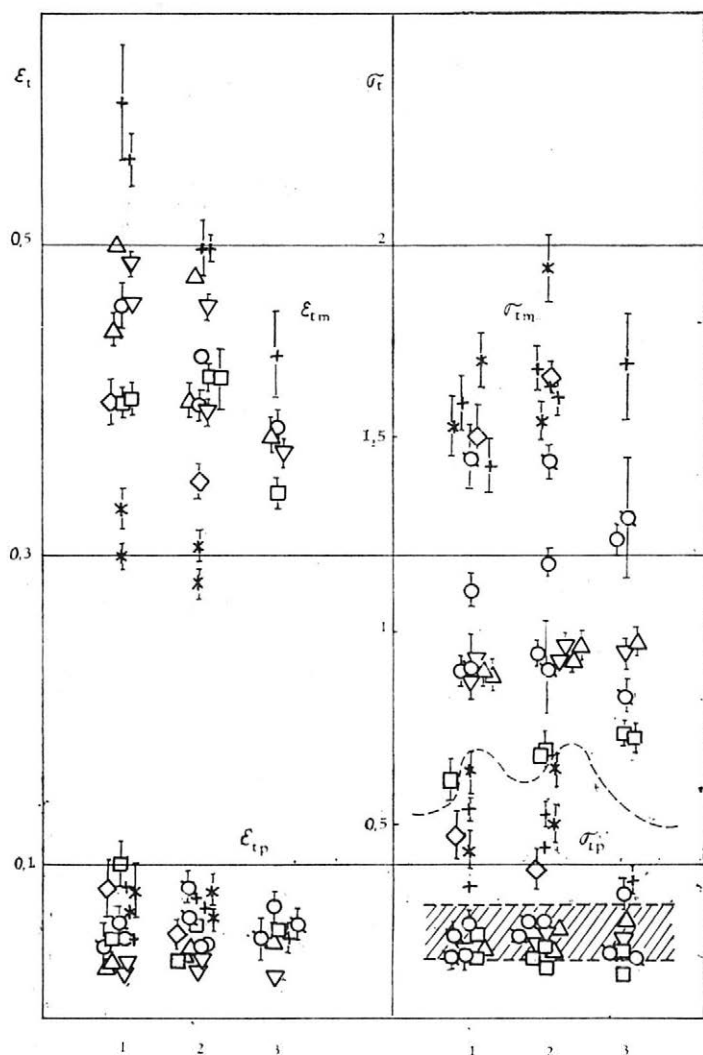


3. Příklad skutečných vodivostních křivek — An example of actual conductance curves (Schéma typů viz obr. 1. Typ 1, 2 — (brambor odrůda Boubín); typ 3 (mrkev — odrůda Karotina); typ 4 — (řepa salátová odrůda Betina)

Jednoduchost a plynulost deformačních křivek bývá v některých případech narušena mírným zvlněním či odchylkou od linearity, patrně např. na konci závislosti $\sigma_t - \varepsilon_t$ v obr. 2. Analýza tohoto jevu ukazuje, že úzce souvisí s tvorbou trhlin v deformovaném vzorku. Velmi často souvisí tento jev s ukončením deformační křivky, ale obdobné jevy byly pozorovány i daleko před jejím ukončením. Mnohem výrazněji se pro-mítá do vodivostních křivek. V daném místě byl pozorován lokální nárůst měrné elektrické vodivosti, jak je vidět na příkladech několika reálných vodivostních křivek uvedených na obr. 3. V mnoha případech je právě ukončení deformační křivky spojeno s výrazným růstem měrné elektrické vodivosti, jak je to patrné u křivky 3 v obr. 3. V takovém případě jde obvykle o lom, zasahující velkou část vzorku a spojený se ztrátou stability vzorku. Drobné lomy, signalizované během deformace (křivky 1 a 2 v obr. 3), se mohou stabilizovat a deformace vzorku pokračuje. Poměrně spolehlivou detekci těchto lomů v průběhu deformace zajišťuje průběžné měření měrné elektrické vodivosti (Blahovec a Patočka, 1982).

ZÁVISLOST MĚŘENÝCH VELIČIN NA RYCHLOSTI DEFORMACE

V obr. 4 a 5 jsou vyneseny vedle sebe hodnoty veličin charakterizující získané deformační křivky pro tři různé použité deformační rychlosti. Z letmému hodnocení obr. 4 je zřejmé, že hraniční poměrná deformace ε_{tp} se se změnou rychlosti deformace příliš nemění. Je to veličina poměrně stálá a její hodnoty byly určeny v rozmezí od 0,025 do 0,1, se střední hodnotou $\sim 0,06$. Také hodnoty hraničního skutečného napětí



4. Přehled středních hodnot skutečné poměrné deformace ε_t a skutečného napětí σ_t při různých rychlostech deformace (1 — 0,0167 mm.s⁻¹, 2 — 0,167 mm.s⁻¹, 3 — 1,67 mm.s⁻¹) — A survey of the mean values of actual relative deformation ε_t and actual stress σ_t at different rates of deformation (1 — 0.0167 mm per s, 2 — 0.167 mm per s, 3 — 1.67 mm per s)
Brambory odr. Boubín ○, Karin ▽, Résy △; ředkvička odr. Saxa □; mrkev odr. Karotina *; petržel odr. Hanácká ◇; řepa salátová odr. Betina ◇, kedluben odr. Gigant +. Přerušovaná čára odděluje hodnoty σ_{tm} od σ_{tp}

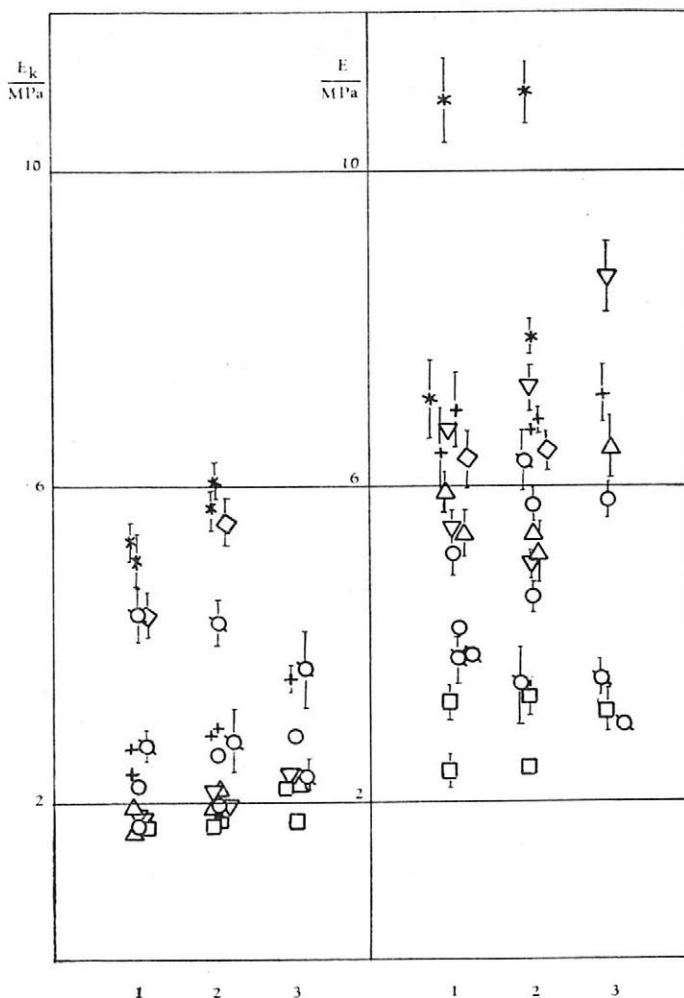
σ_{tp} velmi málo závisí na rychlosti deformace, ale tím více závisí na materiálu. Zatímco se hodnoty σ_{tp} pro ředkvičky, brambory a petržel pohybují v rozmezí od 0,15 do 0,3 MPa, nabývají pro řepu, kedlubny a mrkev hodnot výrazně vyšších (obr. 4).

Obdobně jako hraniční napětí σ_{tp} můžeme hodnotit i pevnost vzorku σ_{tm} . V tomto případě je však variabilita hodnot ještě větší než u σ_{tp} a zároveň je pozorován mírný růst hodnot s rostoucí rychlostí deformace. Maximální poměrná deformace ε_{tm} naopak s rostoucí rychlostí deformace klesá. Nejnížší hodnoty této veličiny byly pozorovány u velmi pevných materiálů, jako jsou mrkev a řepa. Pevné kedlubny však vykazují vysoké hodnoty ε_{tm} .

Modul pružnosti dužnin a směrnice druhé části deformační křivky E_k u dužnin rostou s rostoucí rychlostí deformace (obr. 5). Také u těchto veličin je pozorován rozdíl v hodnotách pro různé materiály. Nejnížší hodnoty modulu pružnosti E byly určeny u ředkviček a u okrajového houževnatého pletiva petržele — 2 až 4 MPa, ostatní dužniny na-

5. Přehled středních hodnot modulu pružnosti E a směrnice druhé části deformační křivky E_k při různých rychlostech deformace — A survey of the mean values of elasticity modulus E and the gradient of the second part of deformation curve E_k at different deformation rates

Měřený materiál značen shodně jako na obr. 4



bývají hodnoty $E \sim 6$ až 8 MPa. Výrazně vyšší hodnoty směrnice E_k byly pozorovány u mrkve, řepy a petržele, nejnižší u brambor odrůd 'Karin' a 'Resy' a u ředkviček.

SOUVISLOSTI MEZI MĚŘENÝMI VELIČINAMI

Vztahy mezi měřenými veličinami jsou patrné z tabulky korelačních koeficientů mezi středními hodnotami, stanovenými pro jednotlivé materiály v tab. III. Z této tabulky je patrný poměrně vysoký stupeň negativní korelace mezi obsahem sušiny ve vzorcích a obsahem vlákniny v sušině vzorku. Tato korelace signalizuje, že vyšší obsah sušiny ve vzorcích souvisí s růstem obsahu nevláknité sušiny, tj. např. škrobu. Rostoucí obsah vlákniny v sušině vzorků se projeví růstem hraniční poměrné deformace ε_{tp} a růstem indexu TVK [kladné korelační koeficienty]; rostoucí obsah sušiny ve vzorku souvisí naopak s poklesem hodnot ε_{tp} .

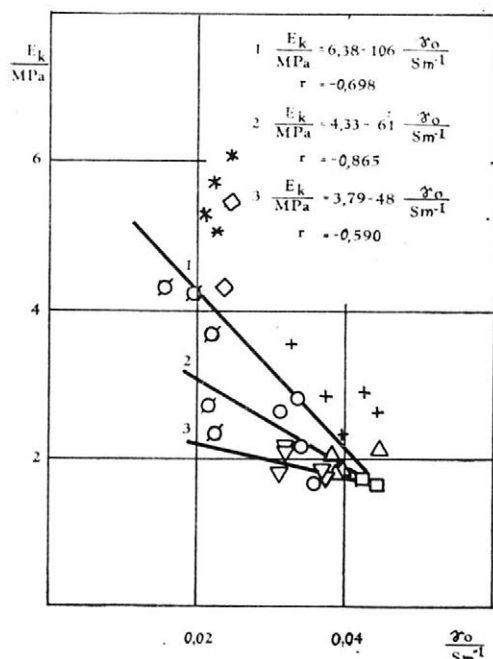
Z dalších veličin uvedených v tab. III můžeme utvořit dvě skupiny, tvořené veličinami: a) E , E_k , σ_{tp} , σ_{tm} , ε_{tp} , TVK; b) ε_{tm} , γ_o , TDK, které se

III. Tabulka korelačních koeficientů sledovaných parametrů, určená pro střední hodnoty měřených veličin za oba roky měření (s výjimkou vodivostních křivek — určeny z výsledků v r. 1982; n — analýza nemohla být provedena pro nedostatek opakování; — — koeficient korelace nebyl klasifikován jako statisticky významný na 5% hladině významnosti). Pro obsah sušiny a obsah vlákniny ve sledovaných vzorcích je uvedena pouze část tabulky, v níž byly zjištěny statisticky významné hodnoty koeficientu korelace (použité rychlosti deformace: 1 — 0,0167 mm.s⁻¹, 2 — 0,167 mm.s⁻¹, 3 — 1,67 mm.s⁻¹; c — souhrn všech měření pro daný ma-

vyznačují tím, že vzájemný koeficient korelace pro veličiny z jedné skupiny nabývá kladných hodnot a pro veličiny, z nichž jedna je ze skupiny a) a druhá ze skupiny b), nabývá hodnot záporných. Prakticky to znamená, že s rostoucím obsahem vlákniny ve vzorku a poklesem počáteční měrné elektrické vodivosti vzorku rostou hodnoty veličin první skupiny (a) a klesají hodnoty veličin skupiny druhé (b). Je samozřejmé, že tento závěr neplatí přesně a absolutně, neboť všechny kombinace vztahů nejsou stejně statisticky významné (tab. III). Některé z těchto vztahů jsou významné pouze pro střední hodnoty veličin a v rámci jednotlivých souborů nebyly jako významné klasifikovány.

V obr. 6 je vynesena závislost směrnice E_k na počáteční měrné elektrické vodivosti γ_0 . Přestože statisticky významné závislosti byly nalezeny pro střední hodnoty všech proměřovaných případů a pro některé dílčí kombinace, v rámci jednotlivých měření byla uvedená závislost klasifikována jako statisticky významná pouze náhodně.

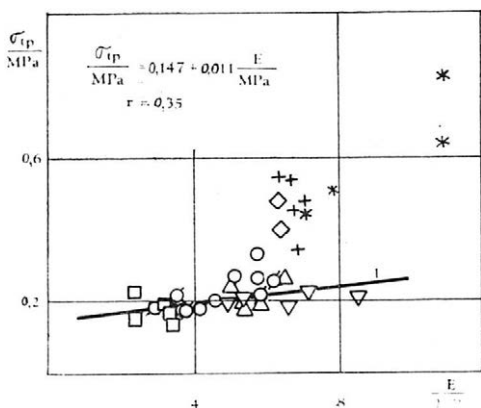
Obr. 7 zachycuje závislost mezního napětí σ_{ip} na modulu pružnosti E . Přestože pro uvedenou závislost udává tab. III hodnotu koeficientu korelace rovnou 0,753, je z obr. 7 patrné, že jde o závislost nelineární, tvořenou dvěma větvemi — jednou s téměř konstantními hodnotami σ_{ip} (viz závislost 1 v obr. 7) a druhou mnohem strmější, tvořenou výsledky získanými u kedlubnu, řepy a mrkve.



6. Střední hodnoty směrnice druhé části deformacních křivek E_k v závislosti na středních hodnotách počáteční měrné elektrické vodivosti γ_0 . Proložená závislost 1 se vztahuje ke všem vzorkům, 2 k vzorkům brambor deformovaným rychlostí 0,167 mm.s⁻¹ a závislost 3 k vzorkům brambor deformovaným rychlostí deformace 0,0167 mm.s⁻¹ — The mean values of the gradient of the second part of deformation curves E_k in relation to the mean values of starting conductivity γ_0 . Fitted curve 1 is related to all samples, 2 to potato samples deformed at a rate of 0.167 mm per s, and curve 3 to potato samples deformed at a rate of 0.0167 mm per s

terál) — A table of the correlation coefficients of the studied parameters, presenting the mean values of the measured characters for both years of measurement (except the conductance curves — determined from the 1982 results; n — analysis could not be performed for lack of replications; — — correlation coefficient was not classified as statistically significant at a 5% significance level). For dry matter content and fibre content in the studied samples, only that part of the table is given in which statistically significant values of correlation coefficients were found (deformation rates used: 1 — 0.0167 mm per s, 2 — 0.167 mm per s, 3 — 1.67 mm per s; c — sum of all measurements for the given material)

ε_{tp}	1	0,599	—	—	—	—	—	—	0,949	—
	2	0,631	—	0,535	—	—	0,567	—	0,844	—
	3	—	—	—	—	—	—	—	n	—
	c	0,588	—	0,467	—	—	0,430	-0,403	0,496-	0,190
σ_{tp}	1	0,571	0,676	0,648	—	—	0,856	—	—	0,731
	2	0,705	0,779	0,613	—	—	0,928	—	—	0,839
	3	—	—	0,753	—	—	0,786	—	—	n
	c	0,597	0,719	0,648	—	—	0,874	—	—	0,874
E_p	1	—	0,754	—	—	—	—	—	—	0,870
	2	—	0,733	—	—	—	0,650	—	—	0,866
	3	—	0,809	—	—	—	—	—	—	n
	c	—	0,743	—	—	—	0,554	—	0,410	—
E_k	1	—	—	-0,691	0,806	-0,758	-0,642	0,858	0,618	
	2	—	—	-0,722	0,833	-0,737	-0,578	0,794	0,739	
	3	—	—	—	0,896	—	—	n	—	
	c	—	—	-0,607	0,818	-0,698	-0,533	0,796	0,596	
σ_o	1	0,581	—	—	—	—	0,565	—	0,556	
	2	—	0,575	—	—	—	—	—	0,539	
	3	—	—	—	—	—	—	—	0,907	
	c	0,499	0,538	0,362	0,364	—	—	0,610		
ε_{tm}	1	—	0,859	0,632	—	—	—	—		
	2	—	0,784	—	—	—	—	—		
	3	—	—	n	—	—	—	—		
	c	—	0,691	0,462	—	—	—	—		
σ_{tm}	1	—	—	0,846	0,757					
	2	—	—	0,890	0,838					
	3	—	—	n	—					
	c	-0,359	—	0,853	0,725					
γ_o	1	0,803	—	—	—					
	2	—	—	—	—					
	3	—	n	—	—					
	c	0,722	-0,735	—	—					
sušina	1	-0,792	-0,682	—	—					
	2	-0,743	-0,543	—	—					
	3	—	—	n	—					
	c	-0,714	-0,417	—	—					
vlák- nina	1	0,804	0,860	—	—					
	2	—	—	—	—					
	3	—	n	—	—					
	c	0,556	0,556	—	—					
ε_{tp}	1	—	—	—	—					
	2	—	—	—	—					
	3	—	—	—	—					
	c	—	—	—	—					
TDK	1	—	—	—	—					
	2	-0,810	—	—	—					
	3	n	—	—	—					
	c	-0,791	—	—	—					
TVK	1	—	—	—	—					
	2	0,906	—	—	—					
	3	—	—	—	—					
	c	0,706	—	—	—					
E	1	—	—	—	—					
	2	—	—	—	—					
	3	—	—	—	—					
	c	—	—	—	—					



7. Závislost mezního napětí σ_{tp} na modulu pružnosti E (pro střední hodnoty). Proložená závislost byla vypočtena pro vynesené body s výjimkou kedluben (+), řepy (◇) a mrkve (*) — The relation between ultimate stress σ_{tp} and elasticity modulus E (for mean values). The fitted relation was calculated for the plotted points except kohlrabi (+), beet (◇) and carrot (*)

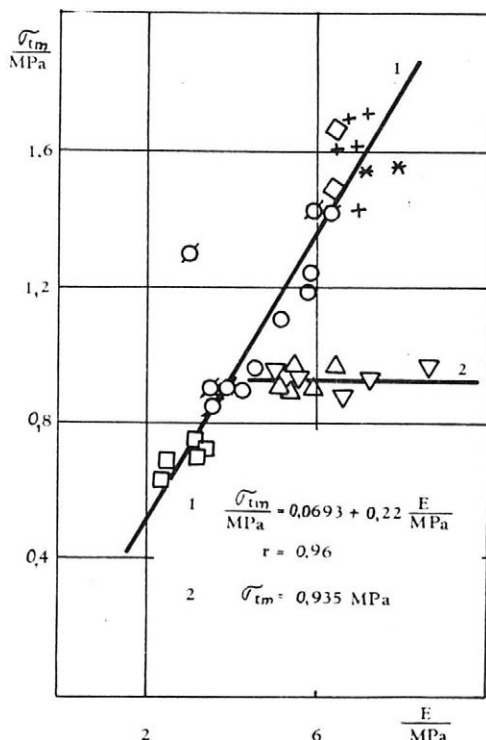
Pro závislost pevnosti vzorku σ_{tm} na jeho modulu pružnosti E udává tab. III hodnotu korelačního koeficientu 0,725. Obr. 8 však ukazuje, že pomineme-li výsledky získané u brambor odrůd 'Karin' a 'Resy' obdržíme koeficient korelace 0,96. Podle obr. 8 pevnost hlíz brambor odrůd 'Karin' a 'Resy' na velikosti modulu pružnosti příliš nezávisí a je rovna přibližně 0,935 MPa. Tento fakt je příčinou nižších hodnot koeficientu korelace, získaných pro uvedený vztah na základě souhrnu všech výsledků měření. Nelinearita vztahu mezi veličinami σ_{tm} a σ_{tp} a odchýlení některých experimentálních bodů od základního trendu závislosti jsou patrné z obr. 9.

V obr. 10 je uvedena závislost pevnosti vzorku σ_{tm} na směrnici druhé části deformační křivky E_k . Tento obrázek ukazuje, že dobrého popisu je možné dosáhnout v rámci několika menších souborů dat, obsahujících výsledky získané u jednoho až tří sledovaných materiálů. Tak i pro menší soubory, obsahující jen tři data, se získají vyšší hodnoty korelačního koeficientu než pro souhrn všech dat (tab. III).

ZMĚNY MĚRNÉ ELEKTRICKÉ VODIVOSTI VZORKŮ V PRŮBĚHU JEJICH DEFORMACE

V práci se zabýváme klasifikací průběhu tzv. vodivostních křivek prostřednictvím parametru TVK . Růst tohoto parametru představuje růst tendence od klesajících vodivostních křivek k rostoucím. Tab. III ukazuje, že tento trend souvisí s růstem tuhosti a pevnosti vzorků (ε_{tp} , σ_{tp} , E_k , σ_{tm} , E) a s poklesem počáteční měrné elektrické vodivosti γ_o a parametru charakterizujícím tvar deformační křivky TDK . Pokles parametru TDK souvisí s růstem nelinearity první části deformační křivky, pokles γ_o s poklesem vodivosti mezibuněčných prostorů. Tab. III ukazuje, že růst TVK zároveň souvisí s růstem obsahu vlákniny ve vzorcích.

Z výčtu těchto souvislostí se zdá být zřejmé, v čem spočívá jejich podstata. Vzorky s vyšší hodnotou TVK se vyznačují nižší hodnotou počáteční měrné elektrické vodivosti γ_o . Uvážíme-li, že vzhledem k vysokému elektrickému odporu buněčných stěn vedou elektrický proud především mezibuněčné prostory, pak nižší hodnota měrné elektrické vodivosti γ_o znamená, že vzorek se vyznačuje menšími a ne zcela vyplně-



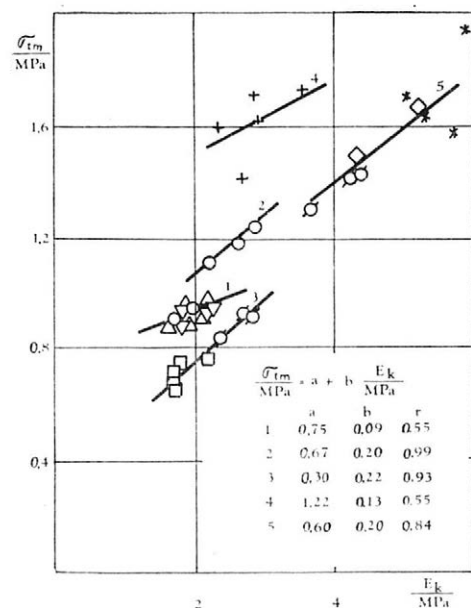
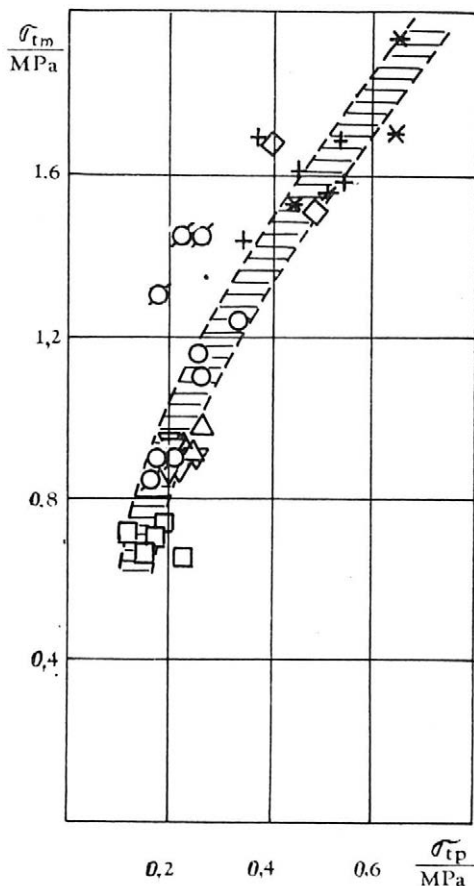
8. Závislost středních hodnot pevnosti σ_{tm} na středních hodnotách modulu pružnosti E sledovaných materiálů — The relation between the mean values of strength σ_{tm} and the mean values of elasticity modulus E in the studied materials

(Značení shodné s obr. 4). Závislost 2 se vztahuje k bramborám odrůd Karin a Resy, k ostatním materiálům se vztahuje závislost 1

9. Závislost středních hodnot pevnosti σ_{tm} na středních hodnotách mezního napětí σ_{tp} — Relation of the mean values of strength σ_{tm} to the mean values of ultimate stress σ_{tp}
 Značení shodné s obr. 4

10. Střední hodnoty pevnosti σ_{tm} v závislosti na středních hodnotách směrnic druhé části deformačních křivek E — Mean values of strength σ_{tm} in relation to the mean values of the gradient of the second part of deformation curves E

Materiál značen shodně s obr. 4). Proložené závislosti se vztahují: 1 — k bramborám odrůd Resy, Karin a Boubín (1982), 2 — k bramborám odrůdy Boubín (1981), 3 — k ředkvičkám a okrajovému pletivu petržele, 4 — ke kedlubnám a 5 — k ostatnímu sledovanému materiálu



nými mezibuněčnými prostory. Sušina vzorku zároveň obsahuje více vlákniny, tzn., že vzorek je tvořen buď menšími buňkami, nebo buňky tvořící vzorek mají tlustší stěny. V obou případech zpevňuje zvýšený obsah vlákniny pletivo, tj. zvyšuje jeho tuhost a zejména pevnost. V průběhu stlačování se nejprve vyplňují mezibuněčné prostory kapalinou, která je příčinou růstu měrné elektrické vodivosti. Proces vyplňování mezibuněčných prostorů a výtlač tekutiny ze vzorku je brzděn vlastní deformací buněk s relativně silnými stěnami buněk (vzhledem k velikosti buněk). Vyplňování mezibuněčných prostorů tekutinou a deformace stěn buněk je příčinou nelinearity v závislosti $\sigma_t - \varepsilon_t$ na jejich začátku, které se projevují snižováním hodnot parametru *TDK*.

Zcela jiná je situace u vzorků s vysokými hodnotami γ_0 , které jsou tvořeny tenkostěnnými buňkami s mezibuněčnými prostory vyplněnými tekutinou. V tom případě dochází hned od začátku deformace vzorku (*TVK* = 1) nebo brzy po něm (*TVK* = 2) k vytlačování tekutin z mezibuněčných prostor mimo vzorek. Závislost $\sigma_t - \varepsilon_t$ je lineární a při zmenšování mezibuněčných prostor naplněných vodivou tekutinou vodivost vzorku v průběhu deformace klesá — výsledkem jsou vysoké hodnoty *TDK* a nízké hodnoty *TVK*.

Tímto způsobem můžeme považovat za vysvětlené vztahy mezi tvarem vodivostních a deformačních křivek, měrnou elektrickou vodivostí a pevnostními vlastnostmi dužnin. Trhliny vznikající ve vzorku v průběhu deformace výrazně zvyšují vodivost vzorku v okolí trhliny; projeví se to příslušným způsobem i na průběhu vodivostní křivky.

MECHANISMUS DEFORMACE DUŽINATÝCH MATERIÁLŮ

Již z předešlého textu je zřejmé, že důležitým průvodním znakem deformace dužnin je transport mezibuněčných tekutin mezibuněčnými prostory (Baer dema e k e r aj., 1980). Již v první části deformační křivky při napětích menších než σ_{tp} zřejmě dochází ke zmenšování mezibuněčných prostorů a jejich vyplňování mezibuněčnou kapalinou. Tyto procesy výrazně ovlivňují směrnici deformační křivky v této oblasti deformace a jsou pravděpodobně zdrojem nelineárního charakteru první části deformační křivky v případech s hodnotou *TDK* menší než tři. Směrnice této části deformační křivky, tj. modul pružnosti vzorku, je v zásadě určena deformovatelností a rozměry buněčných stěn a vnitrobuněčným turgorem (M u r a s e aj., 1980).

V druhé části deformační křivky při napětích vyšších než σ_{tp} je směrnice deformační křivky menší (E_k). Toto zmenšení souvisí pravděpodobně s výtlačem tekutin ze vzorku, a tedy se snižováním objemu vzorku. Při těchto napětích jde o tok tekutin ve směru z buňky buněčnými stěnami a dále mezibuněčnými prostory mimo vzorek. Tato hypotéza je podporována průběhy vodivostních křivek a dalšími výsledky, uvedenými v této práci.

Zpracované materiály můžeme rozdělit do dvou skupin:

— Skupina 1 představuje brambory, ředkvičky a částečně i petržel s poměrně nízkým obsahem vlákniny. Pro tuto skupinu jsou charakteristické nižší pevnosti a hodnoty σ_{tp} kolem 0,2 MPa.

IV. Počet buněk vyskytujících se na jednotce plochy snímku lomu dužninou (snímek byl pořízen v rastrovacím elektronovém mikroskopu v roce 1982; ředkvička — index 1) — The number of cells occurring per area unit of the photo of the fracture surface of plant flesh (photo taken by scanning electron microscope in 1982; small radish — index 1)

Ředkvičky — odrůda Saxa	1
Brambory — odrůda Resy	1
odrůda Karin	1,85
odrůda Boubín	1,90
Řepa salátová — odrůda Betina	2,63
Mrkev — odrůda Karotina	3,11
Kedlubny — odrůda Gigant	5

— Skupina 2, tvořená kedlubnami, mrkví a salátovou řepou s vyšším obsahem vlákniny, je charakteristická vyššími hodnotami pevnosti a σ_{tp} .

Rozdíly mezi oběma skupinami jsou zřejmé z obr. 4, 5 a 7. Podstata uvedených rozdílů tkví pravděpodobně v buněčné anatomii dužnin. Podle Nilssona aj. (1958) je tuhost dužnin tvořena dvěma aditivními složkami: turgorem a složkou závislou na struktuře. Hodnota této strukturní složky roste s poklesem velikosti buněk a s růstem tloušťky a tuhosti buněčných stěn. Je pravděpodobné, že dužniny druhé skupiny vykazují vyšší hodnoty modulu pružnosti právě díky strukturní složce tuhosti. Z tab. IV je zřejmé, že tyto dužniny se vyznačují menšími buňkami než dužniny z první skupiny. Turgor se podílí zřejmě i na hodnotě modulu pružnosti. Vzhledem k tomu, že s rostoucím obsahem vlákniny v sušině roste podle tab. III i hraniční deformace ε_{tp} , není nijak překvapivé, že hraniční napětí σ_{tp} je u dužnin druhé skupiny výrazně vyšší než u dužnin skupiny první (obr. 7).

Podle tab. III směrnice druhé části deformační křivky E_k koreluje kladně jak s modulem pružnosti, tak s hraničním napětím σ_{tp} . Podstata této souvislosti spočívá zřejmě v úloze, jakou hraje velikost mezibuněčných prostorů při odvádění buněčných tekutin mimo vzorek při jeho stlačování. Menší rozměry těchto prostorů jsou příčinou vyšších hydraulických odporů, a tedy vyšších hodnot E_k . Tento předpoklad je potvrzován korelací $E_k - \gamma_o$ (obr. 6) a závislostí E_k na rychlosti deformace (obr. 5). Určitou výjimkou v korelaci mezi E_k a dalších veličin, jako je E , σ_{tp} apod., je případ kedlubnů, které při vysokých teplotách tuhosti (σ_{tp} v obr. 7) vykazují relativně nižší hodnoty E_k (obr. 5, 6, 10). Je pravděpodobné, že existuje určitá nezávislost mezi charakteristikami první a druhé části deformačních křivek.

Druhá část deformační křivky má pro tvorbu výsledné pevnosti při nejmenším stejný význam jako část první (obr. 4). Vyšší hodnoty pevnosti vzorku mohou být tvořeny buď vyššími hodnotami poměrné deformace (kedlubny), nebo velkými hodnotami E_k (mrkev). Obě veličiny jsou závislé na rychlosti deformace; hodnota minimální poměrné deformace ε_{im} klesá s rostoucí rychlostí deformace, zatímco E_k i pev-

nost vzorku rostou. Přírozený výklad těchto vztahů spočívá ve změnách hydraulických odporů na cestách, po nichž jsou vytlačovány buněčné tekutiny z deformovaných vzorků.

Výrazná je závislost pevnosti dužnin na jejich modulu pružnosti (obr. 8). Výjimku tvoří brambory odrůdy 'Karin' a 'Resy', u nichž růst modulu pružnosti není doprovázen růstem jejich pevnosti. Toto chování můžeme vysvětlit tím, že změny modulu pružnosti jsou v případě brambor uvedených odrůd způsobeny změnami turgoru, nikoli strukturálními faktory potřebnými pro růst pevnosti. Turgor v měřených vzorcích určený nebyl a nevíme tedy, jak jsou různé soubory v tomto směru navzájem konzistentní. Zajímavé však je povšimnout si tvaru deformačních a vodivostních křivek. Deformační křivky s nízkými hodnotami TDK , jaké by se daly očekávat pro materiály s nízkým turgorem, se vyznačují podle tab. III vysokými hodnotami TVK , tedy spíše rostoucími vodivostními křivkami v souladu s vyplňováním mezibuněčných prostorů tekutinami, o němž již byla zmínka. Pro tento případ dává tab. III zároveň nízké hodnoty měrné elektrické vodivosti γ_0 v souladu s touto hypotézou.

Příklad kedlubnu ukazuje, že vyšší hodnoty TDK , vyšší hodnoty γ_0 a nižší hodnoty E_k nemusí být vždy signálem nízké pevnosti. Také samo zvětšování modulu pružnosti dužnin nevede automaticky ke zvyšování jejich pevnosti (brambory odrůd 'Karin' a 'Resy' v obr. 8). Zdá se tedy, že o pevnosti dužnin rozhodují především ty mechanické parametry, které jsou určovány strukturálními faktory. Snímky lomových ploch dužnin, pořízené v rastrovacím elektronovém mikroskopu, ukazují, že lom se šíří s výjimkou pletiv ředkvičky napříč buněčnými stěnami. U pletiv ředkvičky probíhá lom převážně mezibuněčnou stěnou.

ZÁVĚR

Válcové vzorky, připravené z brambor, ředkviček, řepy, kedluben, petržele a mrkve, byly deformovány tlakem při třech různých rychlostech za současného proměřování jejich měrné elektrické vodivosti. Ukázalo se, že výsledné deformační křivky je možné vyjádřit ve formě závislosti skutečného napětí — skutečné deformace, které mají dvě téměř lineární části od sebe oddělené hraniční oblastí, v nichž je deformační křivka nelineární.

Konfrontace naměřených veličin, včetně průběhu měrné elektrické vodivosti, ukázala, že průběh deformace významně ovlivňuje pohyb kapaliny uvnitř vzorku. V první části deformační křivky jde o vyplňování mezibuněčných prostorů, v druhé části jde o transport vnitrobuněčné tekutiny z buněk přes buněčnou stěnu a mezibuněčné prostory na povrch vzorku. Výsledky měření naznačují, že transport kapaliny dužninou závisí na rychlosti deformace.

Byly nalezeny dvě skupiny veličin, které se vyznačují vzájemnými kladnými hodnotami korelačních koeficientů: a) E , E_k , σ_{lp} , σ_{lm} , ε_{lm} , TVK ; b) ε_{lm} , γ_0 , TDK . Korelační koeficienty mezi parametry, příslušející různým skupinám, jsou vesměs záporné. Analýza těchto závislostí je konzistentní s mechanismy transportu tekutiny, navíc však předpokládá blíže nespecifikovaný strukturní faktor ovlivňující přenos napětí na kapalinou fázi uvnitř vzorku. Tímto faktorem, který může být ovlivňo-

ván velikostí buněk či vlastnostmi buněčných stěn, je zřejmě deformace skeletu buněčných stěn. Vzhledem k uvedenému strukturnímu faktoru jsou výrazné rozdíly v mechanických vlastnostech různých dužnin vysvětlovány rozdílnými vlastnostmi dužnin.

Literatura

- BAERDEMAEKER, J. de — WOENDSEL, L. von — MEIRE, R.: Moisture diffusion in fruits and mechanical properties changes. In: Proc. II inf. Conf. phys. Prop. agric. Mater. Infl. technol. Process., Gödöllő, Hungary, August 26-28, 1980.
- BLAHOVEC, J. — PATOČKA, K.: Elektrická detekce mechanického porušení lodyhy vojtěšky v průběhu jejího stlačování mezi dvěma deskami. Zeměd. Techn., 28, 1982, č. 5, s. 257-264.
- BLAHOVEC, J. — PATOČKA, K. — CELBA, J. — MÍČA, B.: Jednoduché testování mechanických vlastností hlíz brambor. Zeměd. Techn., 29, 1983, č. 2, s. 81-96.
- BLAHOVEC, J. — PATOČKA, K. — MÍČA, B.: Smykový test pevnosti brambor. Rostl. Výroba, 30, 1984, č. 4, s. 369-380.
- DIEHL, K. C. — HAMANN, D. D. — WHITEFIELD, J. K.: Structural failure in selected raw fruits and vegetables. J. Text. Stud., 10, 1979, s. 371-400.
- MOHSENIN, N. N.: Physical properties of plant and animal materials. Vol. 1. Structure, physical characteristics and mechanical properties. New York, Gordon and Breach Sci. Publ., 1970. 734 s.
- MURASE, H. — MERVA, G. E. — SEGERLIND, L. J.: Variation of Young's modulus of potato as a function of water potential. Trans. ASAE, 23, 1980, s. 794-796, 800.
- NILSSON, S. B. — HERTZ, C. H. — FALK, S.: On the relation between turgor pressure and tissue rigidity. II. Theoretical calculations on model systems. Physiol. Plant., 1, 1958, s. 818-837.
- PELEG, M. — GÓMEZ BRITO, L. — MALEVSKI, Y.: Compressive failure patterns of some juicy fruits. J. Fd Sci., 41, 1976, s. 1320-1324.

Došlo dne 18. 11. 1983

БЛАГОВЕЦ, Й. — ПАТОЧКА, К. — МИЧА, Б. (Сельскохозяйственный институт, Прага - Сухдол; Научно-исследовательский и селекционный институт картофелеводства, Гавличкув Брод): Механические и электрические свойства корней и клубней в процессе сжатия. Земед. Techn., 30, 1984 (6) : 335-354.

В статье приведен оригинальный метод параллельного изучения механических свойств и электропроводности проб, приготовленных из клубней и корней важных сельскохозяйственных продуктов. Цилиндрические пробы сжигались между двумя пластинками, служащими одновременно в качестве электродов для определения электропроводности. Приводятся результаты двухлетних измерений корнеотпрысковых клубней картофеля (три сорта), гипокотильных клубней редиса, стеблевых клубней кольраби, корней моркови и петрушки и корней столовой свеклы. Было установлено влияние скорости сжатия на измеряемые величины; дискутируются механизмы, управляющие ходом деформации мякоти.

картофель; столовые овощи; деформация; удельная электропроводность; модуль упругости; прочность

BLAHOVEC, J. — PATOČKA, K. — MÍČA, B. (University of Agriculture, Praha-Suchdol; Potato Research and Breeding Institute, Havlíčkův Brod): *Mechanical and Electric Characteristics of Roots and Tubers in the Course of Compression*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 335-354.

There is a description of an original method of parallelly examining the mechanical characteristics and electric conductance of samples prepared from the tubers and roots of important farm products. Cylindrical samples are compressed between two plates serving at the same time as electrodes for the determination of electric

conductance. The results of two-year measurements are presented, as obtained in the tubers of potatoes (three cultivars), hypocotyl roots of small radish, kohlrabis, roots of carrot and parsley, and roots of red beet. The effect of the rate of compression on the measured values is indicated and the discussion deals with the mechanisms controlling the course of the deformation of fleshy materials.

potatoes; root vegetables; deformation; electric conductivity; modulus of elasticity; strength

Adresy autorů:

RNDr. ing. Jiří Blahovec, CSc., prom. biol. Karel Patočka, Vysoká škola zemědělská, 165 00 Praha 6 - Suchbát

Ing. Bohumil Míča, CSc., Výzkumný a šlechtitelský ústav bramborářský, Dobrovského 2366, 580 03 Havlíčkův Brod

URČENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ PŠENIČNÉHO ZRNA HOLOGRAFICKOU INTERFEROMETRIÍ A MIKROSKOPIÍ

R. Koper

KOPER, R. (Vysoká škola zemědělská, Lublin, PLR): *Určení mechanických vlastností pšeničného zrna holografickou interferometrií a mikroskopií*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 355-362.

Práce popisuje výzkum mechanických vlastností pšeničného zrna pomocí metod holografické interferometrie a mikroskopie. Zpracování těchto nových metod, které dosud nebyly při určování mechanických vlastností rostlin použity, přináší velice přesné výsledky. Výzkum se týká těchto mechanických vlastností pšeničného zrna: jevu tečení při tlaku ve směru jedné osy, závislosti deformace zrna na jeho vnitřním pnutí, rozsahu elastických deformací materiálu zrna v závislosti na modulu pružnosti. Byly použity vzorky pšeničného zrna s devíti různými obsahy vlhkosti.

tečení při tlaku ve směru jedné osy; deformace; elastické deformace; vnitřní pnutí

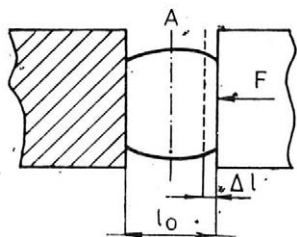
Metody dosud používané při výzkumu mechanických vlastností obilovin se omezily pouze na přizpůsobení tradičních metod využívaných např. při výzkumu vlastností odolnosti a pevnosti kovů. Rozbor výsledků takového výzkumu však ukazuje, že neodpovídají plně skutečnosti. Především jsou ovlivněny nedostatkem potřebných znalostí podstaty procesu deformace biologického materiálu. Jsou to metamorfické materiály, jejichž reologický model se postupně mění spolu se změnami anatomickými — jako následek porušení struktury buněk, vyvolaného působením namáhání.

Dosavadní výsledky výzkumu modulu pružnosti zrna obilnin, který probíhal podle různých metod, se vyznačují různorodostí. Získané hodnoty modulů podélné elasticity pšeničného zrna se pohybují v rozmezí od 300 do 6000 MPa. Jak uvádí Mohsenin (1970), není ještě zcela jasné stanoveno, která z použitých metod přinese výsledky adekvátní skutečnému stavu. Velký rozptyl výsledků výzkumu vlastností zrna a stébel obilnin zároveň znesnadňuje optimalizaci technologických procesů, stejně jako výběr optimálního konstrukčního řešení sklízecích strojů, strojů pro dopravu, skladování a úpravu obilí.

Z těchto potíží tedy vyplývá nutnost hledat jiné metody, dosud nepoužívané. Mezi ně patří i metody určování mechanických vlastností holografickou interferometrií a mikroskopickým měřením.

Metodika výzkumu mechanických vlastností pšeničného zrna spočívá na teorii, kterou popsal Hooke (1678). Metody výzkumu mechanických vlastností zrna obilnin, spočívajícího na této teorii, přinesly výsledky, které se nejvíce blížily skutečnosti. Podobnou metodiku výzkumu mechanických vlastností zrna obilnin použili ve svých pracích Mohsenin (1970) a Zoerb (1967). Jmenovaní autoři však nemohli splnit základní podmínky, které by rozhodly o přesnosti prováděných výzkumů. Mezi tyto podmínky patří především udržení homogenního pole deformace a jednoosé napjatosti ve zkoumaných vzorcích v průběhu deformační zkoušky.

Výzkum mechanických vlastností pšeničného zrna probíhal na příslušně připravených vzorcích. Vzorek zrna tvořila jeho střední část — konce byly velmi pečlivě seříznuty. Technologie přípravy vzorků pro sledování zcela splnila požadavek rovnoběžnosti stěn po odříznutí konců zrna.



1. Schéma zatížení vzorku pšeničného zrna — Diagram of loading the sample of wheat grain

Po dobu výzkumu jsme vzorek zatěžovali pomocí dvou rovnoběžných rovin proměnlivými tlakovými silami (obr. 1) a zároveň jsme měřili velikost jeho deformace. Na základě získaných výsledků měření velikosti deformace vzorku pšeničného zrna, která vzniká vlivem tlakových sil, jsme vyjádřili: deformační křivku, tj. závislost deformace (ϵ) na napětí (σ), a modul pružnosti v tlaku zkoumaného vzorku pšeničného zrna. Modul jsme vypočetli podle vzorce:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{\Delta F \cdot l_0}{A \cdot \Delta l} \quad (1)$$

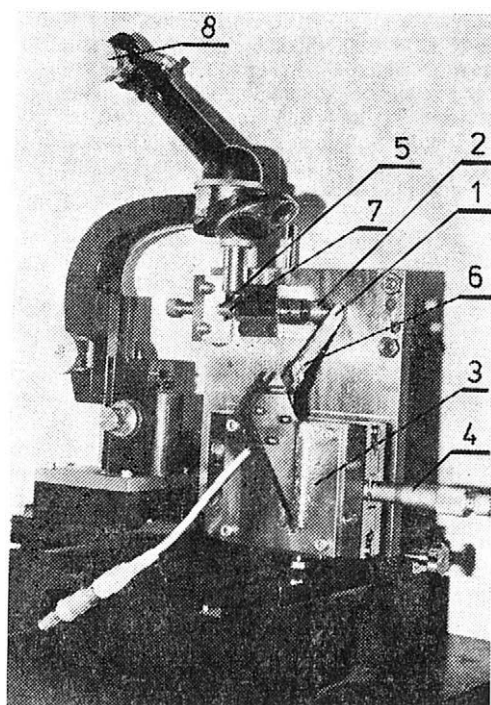
kde: E — modul pružnosti v tlaku
 $\Delta\sigma$ — přírůstek hodnoty napětí
 $\Delta\epsilon$ — přírůstek relativní deformace
 ΔF — přírůstek působící síly
 Δl — přírůstek velikosti deformace vzorku pšeničného zrna
 l_0 — počáteční délka vzorku
 A — střední velikost plošného obsahu příčného řezu vzorku zrna

Hodnoty působící síly a velikost deformace spolu s přírůstkem ostatních hodnot jiných veličin, které vzorec (1) obsahuje, byly měřeny od počátečního stavu vyvolaného počátečním zatížením.

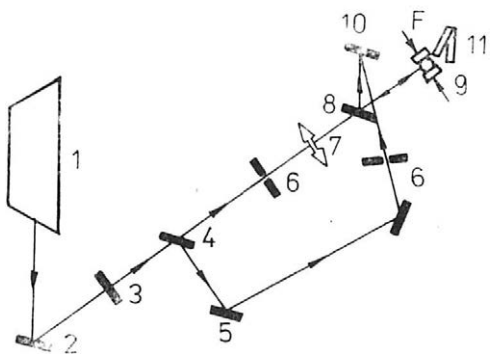
Pro realizaci měření byla projektována a vybudována měřicí soustava (obr. 2). Tato soustava se skládá ze zatěžovacího zařízení a z mikroskopické soustavy, pomocí které se měří velikost deformace vzorků zrna, na něž působí tlaková síla.

V zatěžovací soustavě se vzorek zrna stlačuje podél jedné osy pístkem, který se pohybuje v těsně slícovaném pouzdře. Hodnota tlakové síly se vyjádří měřením velikosti deformace ploché pružiny, která se jedním koncem volně opírá o pouzdro. Druhý konec pružiny je upevněn na posuvném stolku smontovaném (sestaveném) s mikrometrickým šroubem. Její otočení způsobilo posun stolečku, což opět vyvolalo deformaci pružiny působící na pístek pohybující se v pouzdře. Pomocí pístku bylo zkoumané zrna pšenice stlačováno. Velikost deformace jsme měřili tenzometry na pružině. Po kalibraci zařízení pro zatížení zrna jsme hodnotu působící síly (tlakové) na pšeničné zrno odečetli na elektronickém přístroji. Zařízení na stlačování zrna, které jsme při pozorování použili, umožnilo měřit hodnoty síly působící v rozmezí od 0 N do 100 N s přesností do 0,1 N. Protože při užití vypracované metody holografické interferometrie není možné kvantitativně hodnotit deformace kolmé ke směru laserového paprsku, byla velikost podélné deformace pšeničného zrna

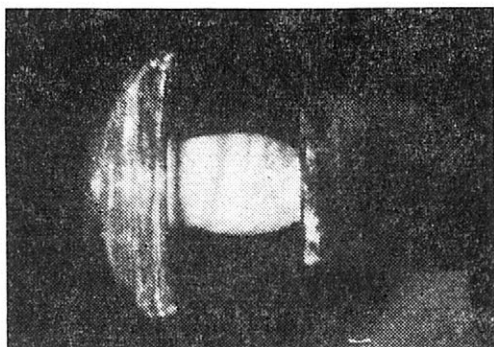
2. Zařízení pro zatěžování vzorku zrna spolu s mikroskopickým systémem pro měření deformací: 1 — pružina, 2 — pístek, 3 — posuvný stolek, 4 — mikrometrický šroub, 5 — vzorek zrna, 6 — tenzometr, 7 — pouzdro pístku, 8 — mikrometrický okulár — Loading system and microscopic set for measuring the deformation of sample: 1 — flat spring, 2 — piston, 3 — shifting table, 4 — micrometric screw, 5 — grain sample, 6 — strain gauge, 7 — cylinder with piston, 8 — micrometric eyepiece



3. Schéma holografického interferometru: 1 — laser, 2 — regulátor paprsků, 3 — půlvlnná deska, 4 — destička pro dělení světla, 5 — zrcadlo, 6 — prostorové filtry, 7 — spojka, 8 — polopropustné zrcadlo, 9 — zatěžovací zařízení, 10 — fotodeska, 11 — mikroskopické měřicí zařízení — Diagram of holographic interferometer: 1 — laser, 2 — beam steering rod, 3 — half-wave plate, 4 — beam splitter, 5 — mirror, 6 — spatial filters, 7 — positive lens, 8 — half-mirror, 9 — loading system, 10 — photosensitive plate, 11 — microscopic set



4. Interferogram deformovaného vzorku pšeničného zrna — Holographic interferogram of deformed wheat grain sample



měřena měřicí mikroskopovou soustavou, sestavenou speciálně pro tento účel. Pro vyšší přesnost odečtu byl použit mikrometrický okulár. Po kalibraci této soustavy se měření velikosti deformace pohybovalo řádově kolem $0,3 \mu\text{m}$. Hodnota deformace získané v soustavě zatížení vzorku zrna se odečítala registrací změny postavení pístku stlačujícího zkoumaný vzorek zrna za pomoci mikrometrického okuláru.

Pole povrchu příčného průřezu zkoumaného vzorku pšeničného zrna jsme měřili planimetrem při dvěstěnásobném zvětšení průřezu vzorku. Snímek jsme získali fotografickým aparátem spojeným s objektivem mikroskopu. Počáteční délka vzorku zrna se měřila pomocí mikroskopu s přesností 10^{-5} m .

Pro zhotovení interferogramu deformací vznikajících během zkoumání vzorků jsme použili speciálně upravený holografický interferometr. Schéma interferometru je znázorněno na obr. 3. Interferometr byl sestaven z modulových prvků vyráběných PZO holografických soustav, které byly obohaceny dalšími prvky.

Holografický interferometr spolu s měřicím zařízením v něm instalovaným představoval celé výzkumné stanoviště. Při využití zásad holografické interferometrie, spočívajících na základě zobrazených proužků na interferogramech každého zkoumaného zrnka pšenice (obr. 4), bylo možné hodnotit homogennost deformace měřených vzorků. Vysoká citlivost interferometrie navíc zabezpečovala provedení výzkumu v rozsahu elastických deformací.

Mechanické vlastnosti zrna k pozorování vybrané odrůdy pšenice ('Grana') byly stanoveny na vzorcích zrna o různé vnitřní struktuře i vlhkosti. Vnitřní struktura zkoumaného zrna byla určována vizuální metodou, pozorováním průřezů vzorků zrna.

Cílem bylo změřit deset vzorků pro každý z těchto obsahů vlhkosti (%): 10,8; 11,0; 12,0; 12,8; 13,4; 14,0; 15,5; 17,5; 18,6.

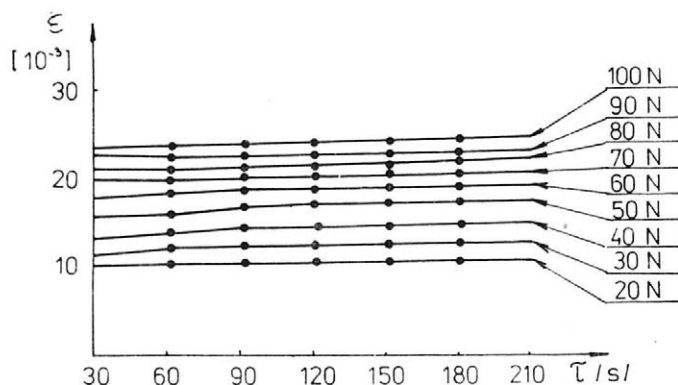
Měření se provádělo v laboratoři, kde vlhkost vzduchu dosahovala hodnot kolem 50 %, teplota byla kolem 20°C .

VÝSLEDKY

Výsledky měření se vztahují na tyto vlastnosti zrna:

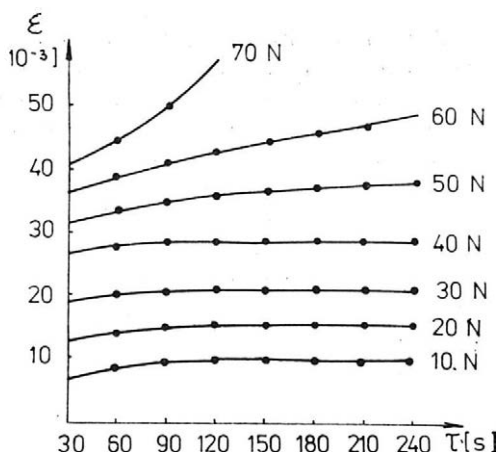
- jev tečení zrna při jeho stlačení ve směru jedné osy,
- závislosti relativní deformace na napětí,
- rozsah podélných deformací materiálu zrna,
- modul pružnosti zrna při jmenovaných hodnotách tlaku, který svým působením vyvolává deformaci zrna materiálu.

Jev tečení materiálu zkoumaných vzorků pšeničného zrna jsme pozorovali a popsali při stlačení silami (N): 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100. Růst velikosti deformace zkoumaných vzorků zrna jsme registrovali po uplynutí: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 a 240 s. Výsledky těchto měření pro vybrané vzorky pšeničného zrna o vlhkosti 11,0 a 18,6 % jsou znázorněny na obr. 5 a 6.

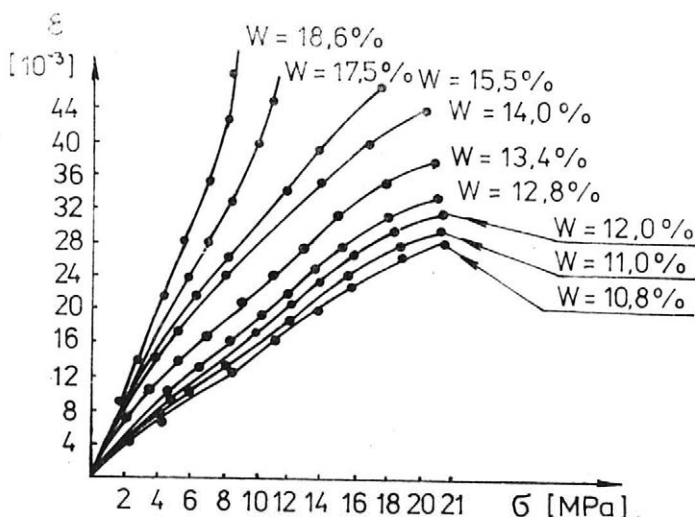


5. Křivka tečení materiálu pšeničného zrna o vlhkosti 11 % — Creep curves of wheat grain material with 11 % moisture content

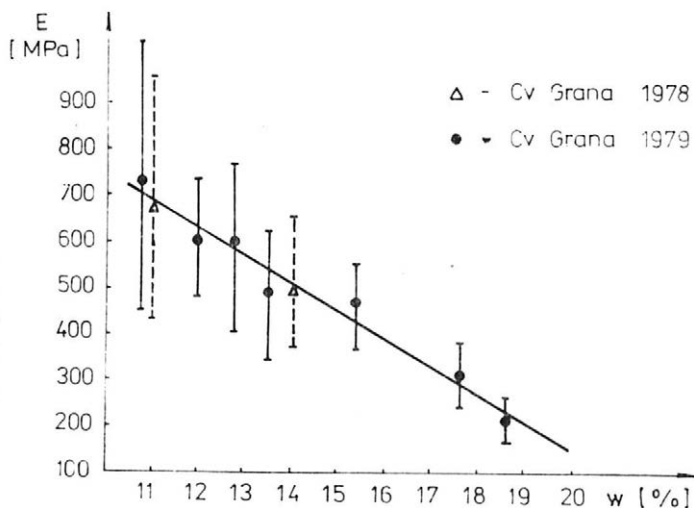
6. Křivky tečení materiálu pšeničného zrna o vlhkosti 18,6% — Creep curves of wheat grain material with 18.6% moisture content



7. Diagram závislosti $\epsilon = f(\sigma)$ pro materiál vzorků pšeničného zrna odrůdy Grana — Diagram of $\epsilon = f(\sigma)$ relationship for 'Grana' wheat grain



8. Diagram závislosti modulu pružnosti v tlaku materiálu pšeničného zrna na jeho vlhkosti — Relationship between the modulus of elasticity under pressure in wheat grain material and grain moisture content



Z rozboru křivek pro uvolnění materiálu zrna vyplývá, že růst deformace vzorků zrn pšenice o vlhkosti 10,8, 11,0, 12,8, 13,0, 14,0 a 15,5 % ustává po třech minutách od okamžiku, kdy byla přiložena zátěž v rozsahu od 10 do 100 N. Pro vzorky zrna o vlhkostech 17,5 a 18,6 % ustával růst deformace po čtyřech minutách od okamžiku, kdy byla přiložena zátěž v rozsahu od 10 do 50 N. Při působení vyšší zátěže (od 50 N) se u zrna pšenice projevoval stav stálého tečení — při 18,6% vlhkosti.

Měření umožnilo vyjádřit závislosti $\varepsilon = f(\sigma)$. Z grafického vyjádření těchto závislostí (obr. 7) vyplývá, že pro vzorky zrna pšenice o vlhkostech 10,8, 11,0, 12,0, 12,8, 13,4, 14,0 a 15,5 % se rozsah elastických deformací pohybuje v rozmezí působících sil (tlaku) od 20 do 80 N. Naproti tomu vzorky zrna o vlhkosti 17,5 a 18,6 % se elasticky deformovaly v rozsahu zatížení od 0 do 50 N.

Při výzkumech, jejichž cílem bylo určit modul podélné pružnosti pšeničného zrna, bylo provedeno měření v rozsahu elastických deformací. Tlaková zátěž vzorku zrna se zvyšovala vždy o 10 N. Pro vzorky zrna a vlhkosti 10,8, 11,0, 12,0, 12,8, 13,4, 14,0 a 15,5 % bylo použito počátečního zatížení 20 N. Velikost deformace vzorků zrna byla měřena rovněž od stavu deformace vyvolané počátečním zatížením. Pro vzorky zrna o vlhkosti 17,5 a 18,6 % počáteční zatížení použito nebylo.

Hodnoty modulů pružnosti pšeničného zrna v tlaku jsme vypočetli podle vzorce (1). Odchylky hodnot modulů pružnosti zrna (obr. 8), které se vyskytují při dané úrovni vlhkosti zrna, jsou způsobeny různou vnitřní strukturou zkoumaných vzorků zrna pšenice. Hodnoty modulů pružnosti zkoumaného zrna pšenice odrůdy 'Grana' se pohybují v těchto rozmezích:

- a) sklizeň v roce 1978: — vlhkost 11,0 % od 436 MPa do 985 MPa;
— vlhkost 14,0 % od 381 MPa do 658 MPa;
- b) sklizeň v roce 1979: — vlhkost 10,8 % od 458 MPa do 1082 MPa,
— vlhkost 12,0 % od 515 MPa do 726 MPa,
— vlhkost 12,8 % od 439 MPa do 777 MPa,
— vlhkost 13,4 % od 340 MPa do 633 MPa,
— vlhkost 17,5 % od 260 MPa do 410 MPa,
— vlhkost 15,5 % do 381 MPa do 558 MPa,
— vlhkost 18,8 % od 176 MPa do 276 MPa.

Získané výsledky výzkumu modulu pružnosti pšeničného zrna v tlaku potvrzují vliv vnitřní struktury zrna na jeho mechanické vlastnosti. Důkazem je skutečnost, že zrna se sklovitou strukturou vykazují téměř dvojnásobný modul pružnosti než zrna moučnaté struktury při stejné vlhkosti.

Během popsaného sledování jsme vypracovali interferogramy každého deformovaného vzorku pšeničného zrna s použitím metody dvojí expozice.

Z proužků na interferogramech deformovaných vzorků zrna jsme mohli usuzovat na stejnorodost stavu deformace, což představuje konečnou podmínku šetření tohoto typu.

Výsledky šetření hodnoty modulu pružnosti zrna v tlaku závisejí na vlhkosti zrna. Závislost je znázorněna na obr. 8. Funkce $E = f(W)$ vyjadřuje lineární závislost modulu podélné pružnosti pšeničného zrna odrůdy 'Grana' na jeho vlhkosti.

Metody holografické interferometrie, které byly dosud poměrně málo využívány při rozbořech pnutí prvků konstrukce, se dobře hodí pro určování mechanických vlastností rostlinných materiálů.

Získané výsledky výzkumu prováděného dosud používanými metodami (opírajícími se o Hookeovu teorii) musíme označit za málo věrohodné vzhledem k nedostatku možnosti kontroly stejnorodosti deformace zrna. Holografická interferometrie umožňuje zároveň kontrolu stejnorodosti deformace vyšetřovaného zrna (pozorováním deformace povrchu zrna), i různá měření v rozsahu pružných deformací.

Výsledky vyšetřování mechanických vlastností pšeničného zrna ukazují, jaký vliv má na tyto vlastnosti vnitřní struktura zrna i jeho vlhkost. Vnitřní struktura zrna svědčí značnou měrou o jeho odolnosti vůči mechanickému poškození. Zrna pšenice, zkoumaná při uvedeném obsahu vlhkosti, vykazala velké rozdíly hodnot modulů pružnosti v tlaku. Zrna se sklovitou strukturou měla např. téměř dvojnásobně vyšší hodnotu modulu ve srovnání se zrny s moučnatou strukturou. Je nutné zdůraznit, že odchylky mezi hodnotami modulu pružnosti zrna v tlaku o stejné vnitřní struktuře jsou poměrně malé, pohybují se kolem 20 %.

Vlhkost pšeničného zrna má rovněž velký vliv na jeho mechanické vlastnosti. Zrna o vlhkosti od 11,0 do 15,5 % se deformují v rozsahu tlakového působení od 20 do 80 N, naopak zrna o vlhkosti 17,5 a 18,6 % se deformují při působení sil v rozsahu od 0 do 50 N.

Více informací o vlivu vlhkosti pšeničného zrna na jeho mechanické vlastnosti poskytnou uvedené hodnoty modulů pružnosti v tlaku pro jednotlivé úrovně vlhkosti zrna. Nejlépe to ukazuje graf závislosti $E = f(w)$ (obr. 8). Grafické znázornění jasně ukazuje lineární závislost hodnoty modulu pružnosti zrna na vlhkosti zrna. Závislost $E = f(w)$ koreluje s výsledky, k nimž dospěl Z o e r b [1967], který pro pšeničné zrno odrůdy 'Soft-red' o vlhkosti 15,7 % získal hodnotu modulu pružnosti 370 MPa.

Výsledky vyšetřování mechanických vlastností pšeničného zrna je možné charakterizovat opakovatelností pro danou strukturu zrna a jeho vlhkost. O vhodnosti uvedené metodiky výzkumu svědčí také její přesnost. Vypočtené procentuální chyby střední hodnoty (pro jednotlivé vzorky zrna pšenice) zpravidla nepřekračují 10 %, což je u měření tohoto typu dostatečná přesnost.

Je nutné zdůraznit, že vyšetřování mechanických vlastností pšeničných zrn vyžaduje jednak vysoce kvalitní aparaturu, jednak velkou experimentátorskou zručnost v technice holografování. V porovnání s metodami dosud používanými je velkou výhodou této metody, že může být použita při testování rychlejších a jednodušších metod. Je však nutné podotknout, že vypracovaná metodika vyžaduje další zlepšení, zdokonalení, které by zjednodušilo techniku měření a umožnilo získat preciznější interpretace získaných výsledků.

- HOOKE, R.: De Potentia Restitutiva. London 1678.
MOHSENIN, N. N.: Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science Publishers 1970.
MOHSENIN, N. N.: Application of engineering techniques to evaluation of texture of solid food materials. J. Text. Stud., 1, 1970.
ZOERB, G.: Instrumentation and measurement technique for determining physical properties of farm products. Trans. ASAE, 10, 1967, č. 1.

Došlo dne 9. 9. 1982

КОПЕР, Р. (Сельскохозяйственный институт, Люблин): Определение механических свойств пшеничного зерна путем голографической интерферометрии и микроскопии. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 355-362.

В статье описывается исследование механических свойств пшеничного зерна при помощи метода голографической интерферометрии и микроскопии. Обработка этих новых методов, неприменяемых до сих пор при определении механических свойств растений, дает сравнительно точные результаты. Исследование касается следующих механических свойств пшеничного зерна: ползучести при давлении по направлению одной оси, зависимости деформации зерна от его внутреннего напряжения, объема эластических деформаций материала зерна в зависимости от модуля долевого эластичности. Для опытов брались пробы пшеничного зерна с девятью разными содержаниями влажности.

ползучесть при давлении по направлению одной оси; деформация; эластические деформации; внутреннее напряжение

KOPER, R. (University of Agriculture, Lublin): *Determination of the Mechanical Characteristics of Wheat Grain by the Methods of Holographic Interferometry and Microscopy*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 355-362.

Research on the mechanical characteristics of wheat grain by holographic interferometry and microscopy is described. These new methods, which have not yet been used for the determination of mechanical properties of plants, provide exact results. The research concerned the following mechanical characteristics of wheat grain: creep at one-dimensional stress, relation of grain deformation to its internal stress, extent of elastic deformations of grain material in relation to the modulus of longitudinal elasticity. When grain samples with nine different moisture contents were used.

material creep under pressure along one axis; deformation; elastic deformation; internal stress

Adresa autora:

Doc. dr. hab. Roman Koper, Instytut Mechanizacji Rolnictwa Akademia Rolniczna, 20-033 Lublin, ul. Akademicka 13, PLR

B. Mičulka

MIČULKA, B. (Ústav pro vědeckou soustavu hospodaření, Praha, pracoviště Uherské Hradiště): *Spotřeba času a výkonnost při leteckém setí obilovin*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 363-373.

Na základě sledování faktorů, které ovlivňují výkonnost při leteckém setí obilovin, byly stanoveny příslušné regresní rovnice (čas vlastního setí podle výsevku a čas zatáček podle výsevku a délky pozemku) nebo vztahy (čas letu podle vzdálenosti pozemku od letiště). Hodinová výkonnost při setí obilovin za průměrných podmínek byla 20,8 ha. Výkonnosti při setí odpovídaly v zásadě normovaným výkonnostem, které platí pro aplikaci agrochemikálií.

výsevek; čas vlastního setí; čas zatáček; čas letu

Letecké setí obilovin se v poslední době značně rozšířilo, i když je podstatně nákladnější než tradiční pozemní setí. Je u něho oceňován zejména veliký směnový výkon, což je vítané z hlediska dodržení agrotechnických lhůt při setí ozimů po pozdně sklizených plodinách, jako je kukuřice na zrno, cukrovka apod. Výkon i ekonomika leteckého setí jsou velmi ovlivňovány některými faktory, a proto byly podrobněji sledovány a vyhodnoceny.

Dobré výsledky s leteckými setími ozimů byly prokázány již dříve (Heymann a Benhardt, 1973). U nás provedené simulované pokusy (Pašík a Kopecký, 1975; Homolka, 1979) vyzněly vesměs kladně, pokud se jedná o výnosy, i když je poukazováno na nákladnost a některé záporné stránky (Kolínský, 1975). Ovlivnění výkonnosti při letecké činnosti bylo studováno hlavně při hnojení (Brittaj., 1975; Malý, 1964; Šesták, 1974; Šťastný, 1971; Štěpán, 1970). U leteckého setí podobné rozborů chybí a z výkonnosti při hnojení nebylo možné vycházet, protože setí vyžaduje větší pozornost a přesnost, čímž je ovlivněna spotřeba času i výkon.

MATERIÁL A METODY

Spotřeba času byla měřena u jednotlivých operací při leteckém setí 15 ploch ozimé pšenice na okrese Uherské Hradiště a Hodonín. K setí bylo používáno letadlo Čmelák Z-37 s rotačním rozmetadlem a byly dodržovány normy platné pro letecké ošetřování a hnojení zemědělských kultur (ČSN 46 5810). Šířku záběru vytýčovali dva až tři signalizátoři (podle délky pozemku). Velikost pozemku se pohybovala mezi 15 až 92 ha, vzdálenost od letiště byla 0,3 až 7,0 km, délka pozemku 500 až 1300 m a výsevek 304 až 394 kg.

Měřili jsme časy v sekundách u těchto pracovních operací:

- T_1 — čas vlastního setí — od otevření do uzavření rozmetadla,
- T_{23} — čas zatáček — od zastavení do otevření rozmetadla,
- T_{21} — čas letu od letiště k pozemku a zpět — od doby rozjetí do otevření rozmetadla a od uzavření do zastavení letadla,
- T_{22} — čas plnění — od zastavení do rozjetí letadla.

Letový čas je čas vlastního setí, zatáček a letu od letiště k pozemku a zpět, operativní čas T_{02} je letový čas včetně času na plnění zásobníku.

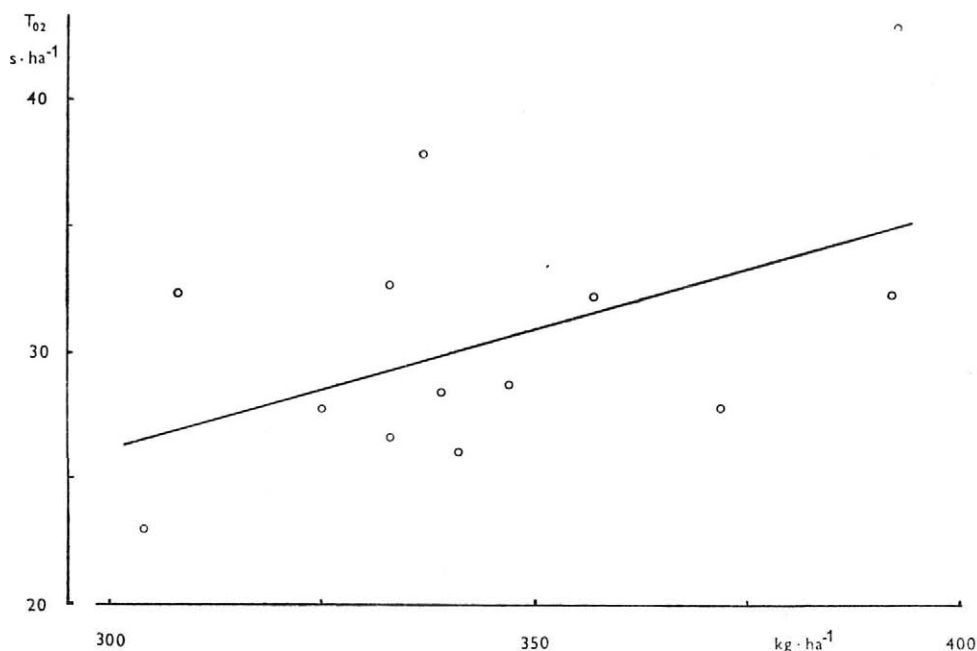
Závislost délky operací na jednotlivých faktorech byla stanovena z lineárních regresí, jen doba potřebná na let od letiště k pozemku a zpět byla stanovena z regresní křivky, vypracované podle zjištěných údajů.

Pokud se jedná o vlastní techniku setí, jednotlivé průlety podle stanoveného záběru následovaly vedle sebe. Letadlo bylo plněno násypným košem za pomoci nakladače nebo autojeřábu.

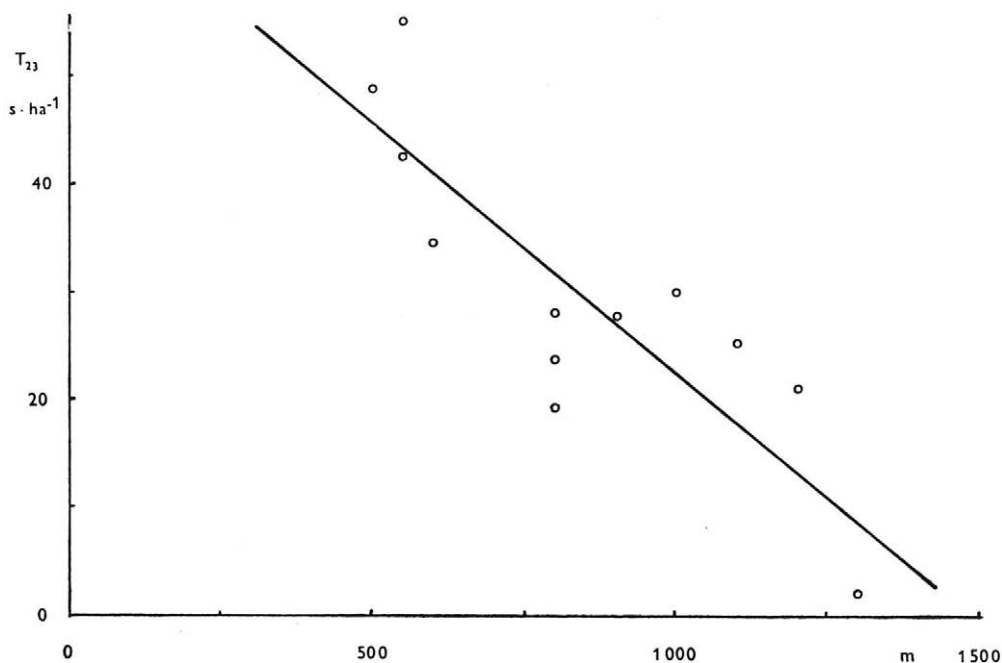
VÝSLEDKY A DISKUSE

Doba vlastního setí je ovlivněna hlavně výsevkem. Na další vlivy, jako je technika setí a pilotáž, nemohl být brán zřetel. Na obr. 1 udává regresní přímka spotřebu času na letecké setí obilovin při různém výsevku za ostatních průměrných podmínek. Regresní rovnice pro tento vztah je $Y_s = 2,5 + 0,0812 x_v$ (s. kg⁻¹).

Spotřeba času na zatáčky závisí hlavně na délce pozemku a na výsevku, přičemž další faktory (např. topografické) nebyly sledovány. Na obr. 2 jsou znázorněny zjištěné časy i příslušná regresní přímka spotřeby času podle délky pozemku. Regresní rovnice je v tomto případě $Y_z = 67,2 - 0,0445 x_d$ (s. m⁻¹). S výsevkem spotřeba času na zatáčky



1. Regresní přímka pro vztah mezi výsevkem a spotřebou operativního času T_{02} na setí 1 ha obilovin — Regression line of the relation between sowing rate and operative time demand T_{02} for sowing 1 ha of cereals



2. Regresní přímka pro vztah mezi délkou pozemku a zjištěnou spotřebou času na zatáčky (T_z) při seti 1 ha obilovin — Regression line of the relation between field length and measured turn-time demand (T_z) for sowing 1 ha of cereals

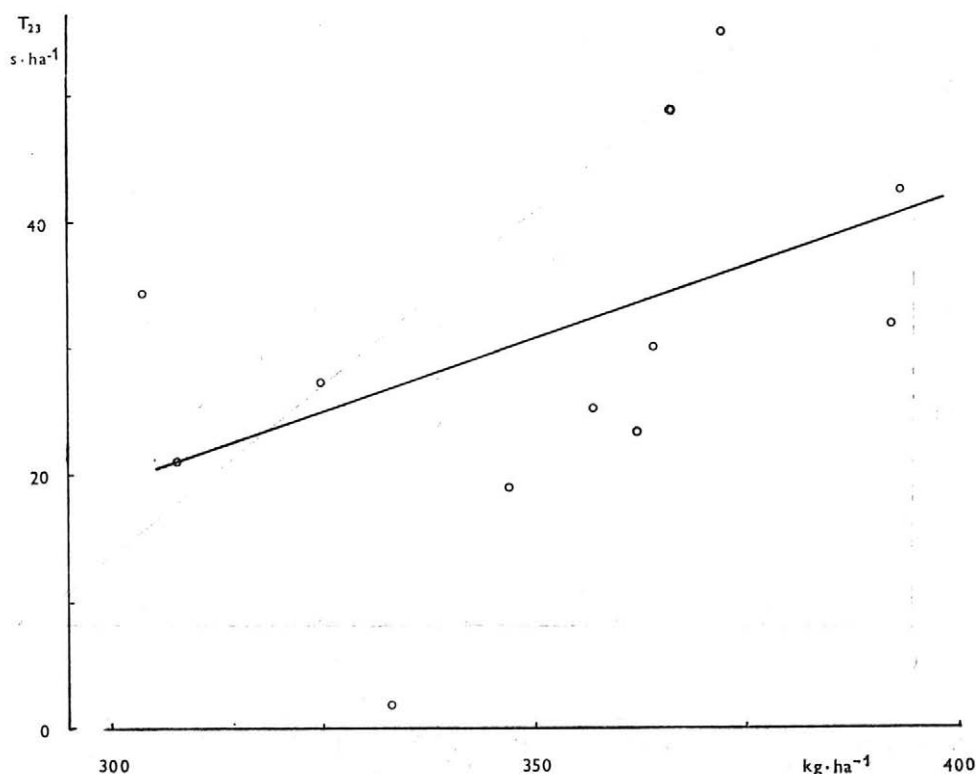
naopak stoupá, a to o $0,235 \text{ s} \cdot \text{kg}^{-1}$, takže příslušná regresní rovnice je $Y_z = 29,9 + 0,235 x_v \text{ (s} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$, jak je vidět z obr. 3.

Doba letu mezi letištěm a pozemkem (obr. 4) se téměř nemění do vzdálenosti 1 km a byla 143,3 s. Do vzdálenosti 2,5 km se jen mírně prodlužuje na 183,3 s, dále již roste přímo úměrně, přičemž na každý kilometr vzdálenosti se spotřeba času zvětšuje o 65 s, což se rovná průměrné rychlosti $110,76 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Plnění zásobníku letadla násypným košem trvalo průměrně (podle velkého počtu měření) 39,4 s, přičemž hmotnost nálože byla vždy 500 kg. Zatáčka při seti trvala průměrně 30,5 s, což je podstatně více, než udává Malý (1964) pro letadlo L-60.

Z uvedených údajů byly sestaveny tabulky časů dílčích operací při leteckém seti hektaru obilovin (tab. I) a časů pracovního cyklu (tab. II). Při výsevu 200 až 400 kg obilovin na hektar byla spotřeba času na plnění 15,8 až 31,5 s, na vlastní seti 18,7 až 35,0 s, na zatáčky 19,3 až 35,7 s při délce pozemku 800 m a na let od letiště k pozemku a zpět 63,3 až 126,6 s při vzdálenosti letiště od pozemku 2 km.

Při jednom pracovním cyklu činila pro uvedený výsev spotřeba času na naplnění zásobníku letadla 39,4 s, vlastní seti trvalo 46,8 až 43,8 s, zatáčky 48,3 až 44,6 s a let 158,3 s. Čas pracovního cyklu T_A byl 288,3 s při náloži 500 kg, výsevu 300 kg, vzdálenosti pozemku od letiště 2 km a délce pozemku 800 m. Spotřeba času na zatáčky v tomto případě klesala s délkou pozemku a výsevem, kdežto spotřeba času na osetí jednoho hektaru stoupala se zvětšujícím se výsevem.



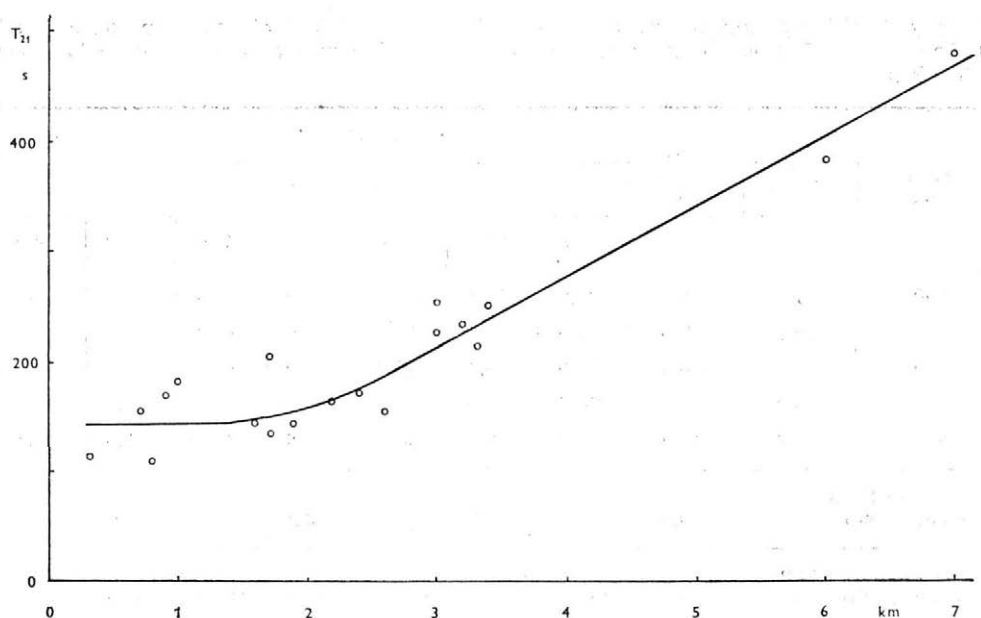
3. Regresní přímky pro vztah mezi výsevkem a zjištěnou spotřebou času na zatáčky (T_{23}) při setí 1 ha obilovin — Regression lines of the relation between sowing rate and measured turn-time demand (T_{23}) for sowing 1 ha of cereals

Čistý hodinový výkon při leteckém setí obilovin podle operativního času T_{02} byl zpracován graficky s použitím průměrných a hraničních hodnot ovlivňujících faktorů. Z orientačních měření bylo zjištěno, že celkový pracovní čas byl o 40,1 % delší než čas operativní.

Zvětší-li se vzdálenost pozemku od letiště (obr. 5) z 1 km na 5 km, snižuje se výkonnost průměrně o 9,3 ha · h⁻¹ při výsevu 300 kg a do-

I. Časy dílčích operací při leteckém setí hektaru obilovin (nálož 500 kg) — The

Výsevek kg · ha ⁻¹	Čas plnění T_{22} — s	Čas vlastního setí T_1 — s	Čas zatáček T_{23} — s						
			délka pozemku — m						
			400	600	800	1000	1200	1400	1600
200	15,8	18,7	37,1	28,2	19,3	10,4	1,5	—	—
250	19,7	22,8	41,2	32,3	23,4	14,5	5,6	—	—
300	23,6	26,9	45,3	36,4	27,5	18,6	9,7	0,8	—
350	27,6	30,9	49,4	40,5	31,6	22,7	13,8	4,9	—
400	31,5	35,0	53,5	44,6	35,7	26,8	17,9	9,0	0,1



4. Závislost spotřeby času na let od letiště k pozemku a zpět (T_{21}) podle vzdálenosti pozemku od letiště — Relation of flight-time demand from the airport to the field and back (T_{21}) in dependence on field distance from the airport

konce o $13,6 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$ při výsevu 200 kg . V obr. 5 jsou znázorněny také údaje podle Šestáka (1974) o hodinové výkonnosti při rozmetání hnojiv (dávka 500 kg) při různých vzdálenostech od letiště. Jím uváděná výkonnost je poněkud větší, bere-li se v úvahu větší dávka hnojiv. Relativně menší vliv na hodinovou výkonnost má délka pozemku (obr. 6). Činí-li vzdálenost pozemku od letiště 3 km , snižuje se výkonnost o $4,1 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$ při zmenšení délky pozemku z 1600 na 400 m , kdežto při nejkratších vzdálenostech od letiště je to o $6,6 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$. Šestákem (1974) uváděná výkonnost při hnojení dávkou 500 kg a při délce pozemku 600 až 1200 m je sice nižší, ale regresní křivka je přibližně rov-

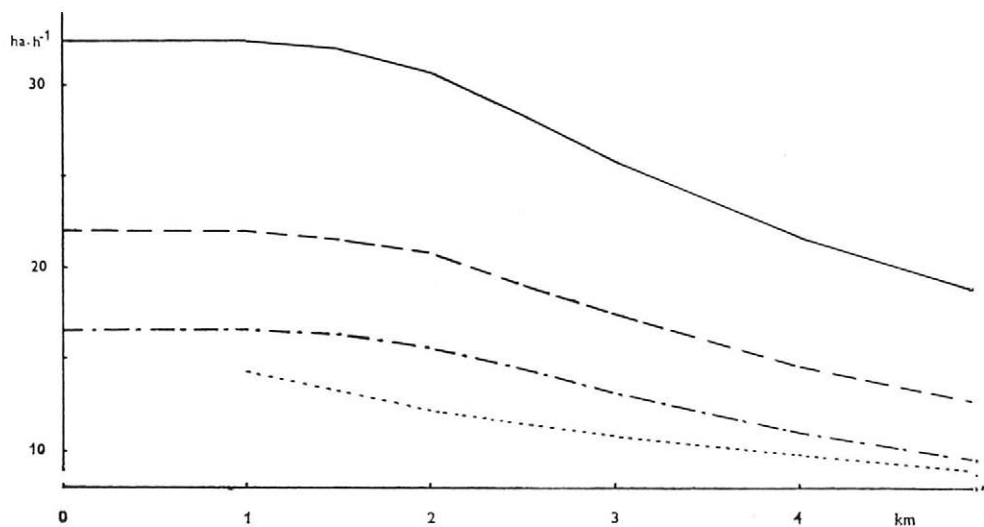
times of operations of aerial sowing of one hectare of cereals (load of 500 kg)

Čas letu od letiště k pozemku a zpět T_{21} — s								
vzdálenost pozemku — km								
0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	
57,3	57,3	58,7	63,3	73,3	85,3	111,3	137,3	
71,7	71,7	73,4	79,2	91,7	106,7	139,2	171,7	
85,8	85,8	88,0	95,0	110,0	128,0	167,0	206,0	
100,3	100,3	102,7	110,8	128,3	149,3	194,8	240,3	
114,6	114,6	117,4	126,6	146,6	170,6	222,6	274,6	

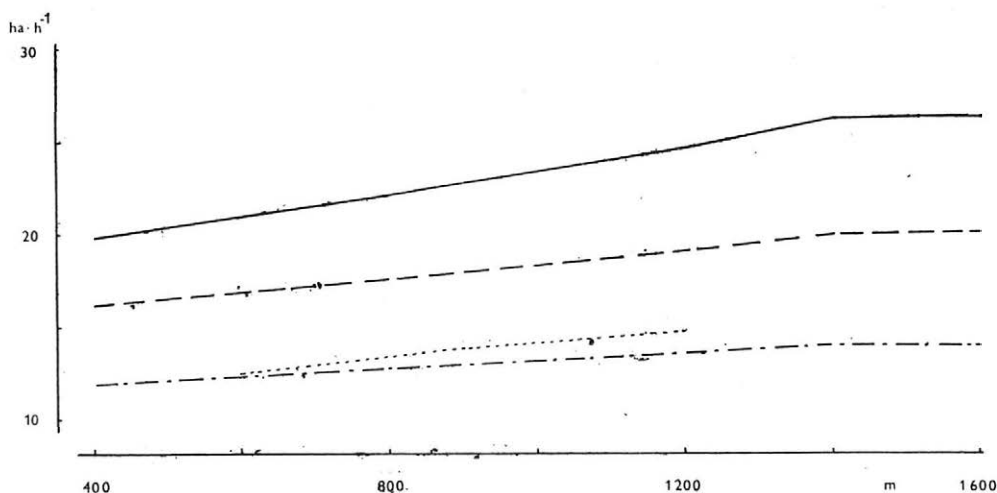
II. Časy dílčích operací při pracovním cyklu leteckého setí obilovin (nálož 500 kg)
 — The times of operations in a working cycle of aerial sowing of cereals (load of 500 kg)

Výsevek kg . ha ⁻¹	Čas plnění $T_{23} - s$	Čas vlastního setí $T_1 - s$	Čas zatáček $T_{23} - s$						
			délka pozemku — m						
			400	600	800	1000	1200	1400	1600
200	39,4	46,8	92,8	70,5	48,3	26,0	3,8	—	—
250	39,4	45,6	82,4	64,6	46,8	29,0	11,2	—	—
300	39,4	44,8	75,5	60,7	45,8	31,0	16,2	1,3	—
350	39,4	44,1	70,5	57,9	45,1	32,4	19,7	7,0	—
400	39,4	43,8	66,9	55,8	44,6	33,5	22,4	11,3	0,1
Vzdálenost od letišť — km		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Doba letu k pozem- ku a zpět $T_{21} - s$		143,3	143,3	146,7	158,3	183,3	213,3	287,3	343,3

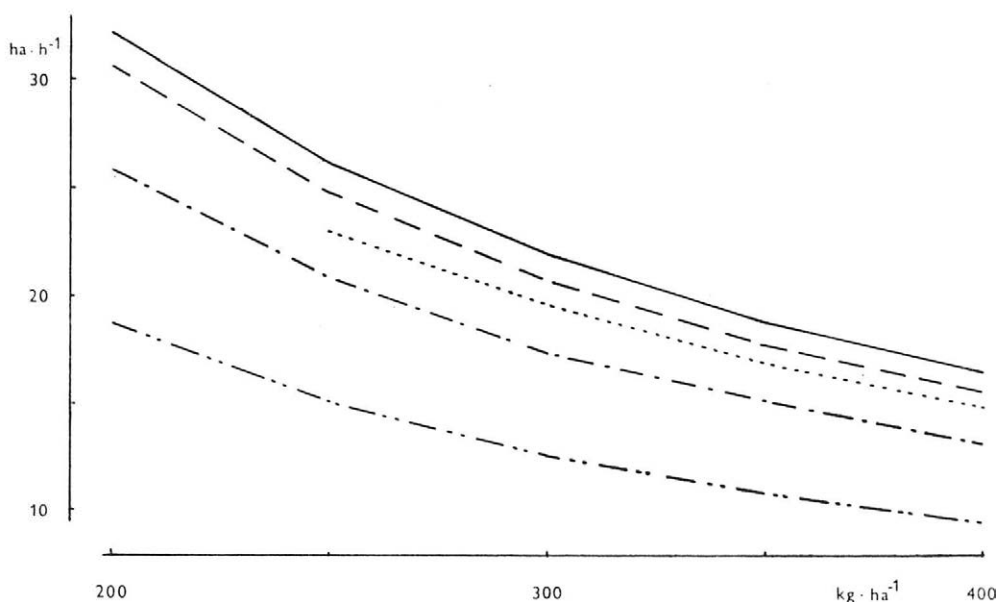
noběžná s křivkou výkonnosti při setí na průměrnou vzdálenost 3 km. Regresní křivka přepočítaného výsevku 500 kg se téměř kryje s křivkou rozmetání hnojiva. Snížením výsevku na polovinu (obr. 7) se zvyšuje výkon téměř na dvojnásobek. S uvedenými výsledky poměrně dobře souhlasí i údaje, které Š e s t á k (1974) uvádí pro výkonnost při hno-



5. Hodinová výkonnost při leteckém setí obilovin (nálož 500 kg, délka pozemku 800 m) podle vzdálenosti pozemku od letiště a výsevku (200 kg —, 300 kg — — —, 400 kg — . — .) ve srovnání s výkonem při hnojení podle Š e s t á k a (1974) (dávka 500 kg . . .) — Per-hour performance at aerial sowing of cereals (load of 500 kg, field length 800 m) in relation to field distance from airport and sowing rate (200 kg —, 300 kg — — —, 400 kg — . — .) in comparison with fertilizing performance after Š e s t á k (1974) (rate of 500 kg . . .)



6. Hodinová výkonnost při leteckém setí obilovin (nálož 500 kg, výsevek 300 kg) podle délky pozemku a vzdálenosti pozemku od letiště (1 km —, 3 km — — —, 5 km — . — . —) ve srovnání s výkonem při hnojení podle Šestáka (1974) (dávka 500 kg) — Per-hour performance at aerial sowing of cereals (load of 500 kg, sowing rate of 300 kg) in relation to field length and field distance from airport (1 km —, 3 km — — —, 5 km — . — . —) in comparison with fertilizing performance after Šesták (1974) (rate of 500 kg)



7. Hodinová výkonnost při leteckém setí obilovin (nálož 500 kg, délka pozemku 800 m) podle výsevku a vzdálenosti pozemku od letiště (1 km —, 2 km — — —, 3 km — . — . —, 5 km — . . . —) ve srovnání s výkonem při hnojení podle Šestáka (1974) (. . . .) — Per-hour performance at aerial sowing of cereals (load of 500 kg, field length 800 m) in relation to sowing rate and field distance from airport (1 km —, 2 km — — —, 3 km — . — . —, 5 km — . . . —) in comparison with fertilizing performance after Šesták (1974) (. . . .)

III. Nalétaná vzdálenost a rozestupy průletů při seti hektaru obilovin (rychlost 130 km . h⁻¹) — Flight distance and intervals of flights during sowing one hectare of cereals (speed of 130 km per hour)

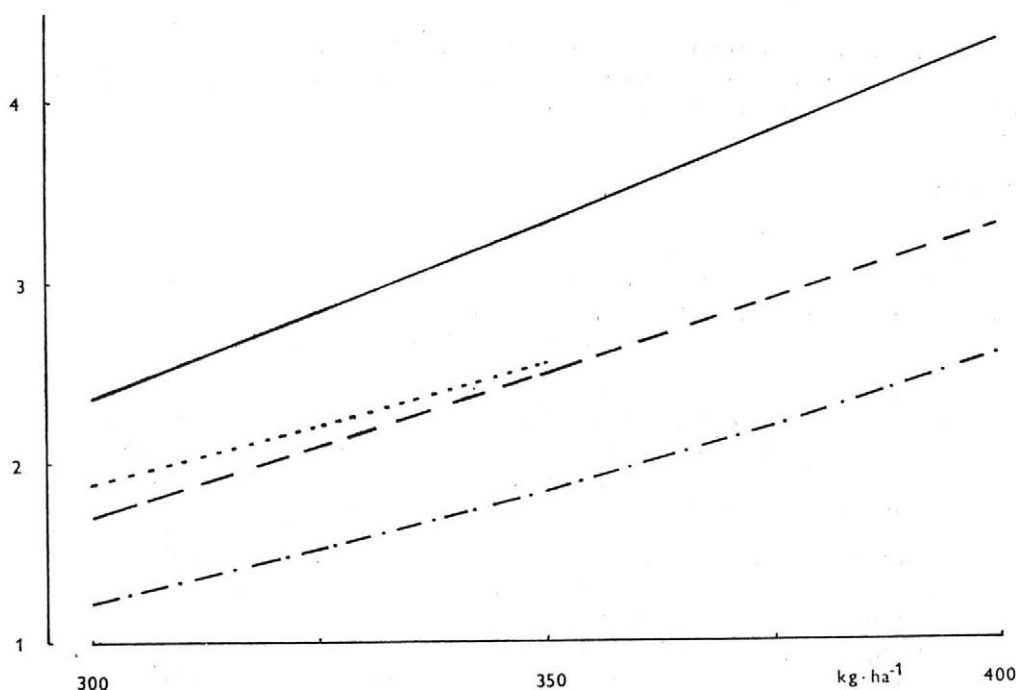
Výsevek kg . ha ⁻¹	Čas vlastního seti T ₁ — s	Vzdálenost m . ha ⁻¹	Rozstup průletů m	Koeficient překrytí
200	18,7	675	14,8	1,69
250	22,8	823	12,2	2,05
300	26,9	971	10,3	2,43
350	30,9	1116	9,0	2,78
400	35,0	1264	7,9	3,16

jení, přičemž regresní křivka leží mezi křivkami pro vzdálenosti pozemku od letiště 2 a 3 km.

Za příznivých podmínek (výsevek 300 kg, délka pozemku 800 m a vzdálenost od letiště 2 km) činila podle uvedených propočtů výkonnost 20,8 ha za hodinu operativního času nebo 24,1 ha za hodinu letového času. Podle směnových pracovních snímků byla průměrná výkonnost 20,89 ha za hodinu letového času, kdežto podle celoročních výkazů za tříleté období to bylo jen 14,94 ha. Tato výkonnost se zvětšovala při výsevku 200 kg na 30,7 ha a snižovala se na 17,5 ha při vzdálenosti 3 km, resp. na 18,9 ha při délce pozemku 400 m. Malý (1964) udává pro letadlo L-60 hodinovou výkonnost při hnojení 23,06 ha a Britt aj. (1975) u letadla Čmelák Z-37 pro dávku 300 kg a vzdálenost 2 km dokonce okolo 30,00 ha. Podle Kuřima (1977) byla u téhož typu letadla při hnojení hodinová výkonnost 17,00 ha při dávce 500 kg a 38,46 ha při dávce 170 kg . ha⁻¹. Kolínský (1975) uvádí podle jedné sledované směny směnovou výkonnost cca 100 ha.

Letadlo létalo při seti rychlostmi okolo 130 km . h⁻¹. Při nižší rychlosti je větší nebezpečí nadměrné ztráty rychlosti při manévrování v členitém terénu. Z této rychlosti a ze spotřeby času na vlastní seti byla vypočtena průměrná délka letu nad pozemkem při seti a průměrný rozstup jednotlivých průletů (tab. III). Zjištěné rozestupy svědčí o tom, že z obavy před nerovnoměrným výsevem jsou průlety — s ohledem na uváděný rozptyl osiva 20 až 30 m (Heymann, 1973) — příliš blízko sebe. Při průměrném rozptylu osiva 25 m a zjištěných vzdálenostech průletů 7,9 až 14,8 m je překrytí téměř trojnásobné (koeficient 2,78) při výsevku 350 kg a více než dvojnásobné (koeficient 2,05) při výsevku 250 kg. Nadměrně husté průlety při větších výsevcích nejsou dobře zdůvodnitelné a znamenají snížení možného výkonu.

Při letecké chemické činnosti se jako ukazatel používá průměrný hektar stanovený podle průměrné výkonnosti 60 ha za hodinu letového času (let, seti a zatáčky) při aplikační dávce 50 kg. Při přepočtu na tento výkon se používají přepočítávací koeficienty, které byly stanoveny při ošetřování pesticidy (nižší dávky) a hnojení (vyšší dávky). Protože letecké seti je náročnější, často nejsou v praxi používány stanovené přepočítávací koeficienty. Seje se nejčastěji v časovém tarifu a pak se například dělá přepočet na průměrné hektary.



8. Hodnoty přepočítávacích koeficientů při leteckém setí obilovin podle výsevku a podmínek (délka pozemku 400 m a vzdálenost pozemku od letiště 3 km ———, délka pozemku 800 m a vzdálenost od letiště 2 km — — — —, délka pozemku 1400 m a vzdálenost od letiště 1 km — . — . —) ve srovnání s přepočítávacími koeficienty pro leteckou chemickou činnost při hnojení (...) — The values of conversion coefficients at aerial sowing of cereals in relation to sowing rate and conditions (field length of 400 m and field distance from airport 3 km ———, field length 800 m and field distance from airport 2 km — — — —, field length 1400 m and field distance from airport 1 km — . — . —) in comparison with conversion coefficients for aerial application of chemicals and fertilizers (...)

Výsledky získané při setí obilovin byly přepočítány na uvedenou výkonnost a zpracovány do grafů (obr. 8) s křivkami přepočítávacích koeficientů pro různý výsevek a různé podmínky (délka pozemku a vzdálenost pozemku od letiště). Pro porovnání jsou znázorněny také hodnoty přepočítávacích koeficientů, které používá Slovair pro leteckou chemickou činnost. Za příznivých podmínek (délka pozemku 800 m, vzdálenost pozemku od letiště 2 km) se hodnoty přepočítávacích koeficientů pro setí obilovin blíží koeficientům pro chemickou činnost, takže by měly být použitelné i pro setí s ohledem na určité rezervy v nadměrném překrývání jednotlivých průletů při setí. Je však třeba doplnit koeficienty pro výsevky nad 300 kg.

S ohledem na šetření energií a na zvýšenou pozornost věnovanou ekonomice bude k leteckému setí přistupováno ještě s větší rozvahou, i když je tento způsob setí vynucován při nutných opožděných výsevech. Další zvyšování výkonnosti při leteckém setí je sice omezeno potřebou dokonalé pilotáže i techniky setí, ale určité časové rezervy jsou při stanovení rozestupů průletů zejména při vyšších výsevcích a při plnění zásobníků, do kterého se vejde podle hektolitrové hmotnosti okolo 500 kg osiva. Při dodávkách osiva v pytlích à 60 kg se často plní jen

480 kg, takže zásobník není plně využit. Nedostatečné plnění zásobníku znamená při seti obilovin snížení výkonnosti o 4 %, tj. za hodinu přibližně o 1 ha a za směnu o 5 ha.

ZÁVĚR

Při seti obilovin letadlem Čmelák Z-37 byly měřeny jednotlivé pracovní operace a výsledky byly zpracovány z pohledu ovlivnění spotřeby času a výkonnosti jednotlivými sledovanými faktory.

Bylo zjištěno toto ovlivnění a příslušné regresní rovnice:

- a) čas vlastního seti podle výsevu ($s \cdot kg^{-1}$): $Y_s = 2,5 + 0,0812 x_v$,
- b) čas zatáček podle délky pozemku ($s \cdot m^{-1}$): $Y_z = 67,2 - 0,0445 x_d$,
- c) čas zatáček podle výsevu ($s \cdot kg^{-1}$): $Y_z = 29,9 + 0,235 x_v$,
- d) čas letu od letiště k pozemku a zpět se neměnil do 1 km (143,3 s), do 2,5 km mírně stoupal na 183,3 s a dále rostl o 65 s na každý kilometr.

Průměrná výkonnost při leteckém seti obilovin, vypočtená z operativního času, činila za normálních podmínek 20,8 ha $\cdot h^{-1}$ (výsevek 300 kg, délka pozemku 800 m, vzdálenost od letiště 2 km). Vliv uvedených faktorů na výkon byl zpracován graficky.

Při leteckém seti lze používat přepočítávací koeficienty stanovené pro aplikaci agrochemikálií, je jen třeba doplnit i koeficienty pro výsevky nad 300 kg.

Literatura

BRITT, W. — HANNE, K. — HEYMANN, W. — KÖHLER, S. — MÄRTEN, K. — MIESSNER, K. H.: *Agrarflug in der DDR*. Berlin, Landwirtschaftsverlag 1985. 280 s.

ČSN 46 5810: *Letecké ošetřování a hnojení zemědělských kultur*. 1964.

HEYMANN, W.: Zu einigen technologischen Fragen der Aussaat von Wintergetreide durch Agrarflugzeuge. *Agrartechnik*, 23, 1973, s. 326-328.

HEYMANN, W. — BERNHARDT, H.: Die Aussaat von Wintergetreide durch Agrarflugzeuge. *Feldwirtschaft*, 14, 1973, s. 403-406.

HOMOLKA, L.: Výzkum nových leteckých technologií při leteckém seti. [Závěrečná zpráva.] Hrušovany, Výzkumný ústav základní agrotechniky 1979. 42 s.

KOLÍNSKÝ, J.: Problémy technologie leteckého výsevu obilovin. *Zeměd. Techn.*, 21, 1975, s. 737-748.

KURÍM, L.: Ekonomická efektivnost zemědělského letadla. [Diplomová zpráva.] Brno, Vysoká škola zemědělská 1977. 56 s.

MALÝ, O.: Ekonomika letecko-chemické činnosti v zemědělství v ČSSR a návrh rozvoje do roku 1970. [Závěrečná zpráva.] Praha, Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky 1964. 116 s.

PAŠÍK, J. — KOPECKÝ, M.: Zhodnocení leteckého seti obilovin. *Úroda*, 23, 1975, s. 374-376.

ŠESTÁK, L.: Optimální rychlost pracovního letu a velikost zemědělského letounu. [Závěrečná zpráva.] Pečky, Výzkumný ústav krmivářského průmyslu a služeb 1974. 163 s.

ŠTASTNÝ, M.: Zemědělské letectví. *Stud. Inform. ÚVTIZ, Zeměd. Techn.*, 6, 1971, 76 s.

ŠTĚPÁN, M.: Ekonomika a perspektivy leteckého hnojení. *Zemědělec*, 19, 1970, s. 1 a 3.

Došlo dne 24. 6. 1983

МИЧУЛКА, Б. (Институт по научной системе ведения хозяйства, Прага, станция Угерске Градиште): Затрата времени и производительность авиационного сева зерновых. *Zeměd. Techn.*, 30, 1984 (6) : 363-373.

На основе изучения факторов, обуславливающих производительность при авиационном высеве зерновых, были установлены соответствующие регрессивные уравнения (время собственно сева согласно норме высева и время поворотов согласно норме высева и длине поля) или же отношения (время лета согласно расстоянию поля от аэродрома). Производительность в часах при севе зерновых при нормальных условиях равнялась 20,8 га. Производительности при севе в основном отвечали нормированным производительностям, действующим для применения агрохимических средств.

норма высева; время сева; время поворотов; время лета

MIČULKA, B. (Institute for Scientific System of Management, Praha, Workplace Uherské Hradiště): *Time Demand and Performance at Aerial Sowing of Cereals*. *Zeměd. Techn.*, 30, 1984 (6) : 363-373.

Observing the factors influencing the rate of work at aerial sowing of cereals, pertinent regression equations were determined (the time of sowing proper in relation to sowing rate and the time of turns in relation to sowing rate and the length of field), along with regressions (the time of flight in relation to the distance of field from the airport). Per-hour performance of cereal seeding in average conditions was 20.8 ha. The sowing performance corresponded to standardized rates of work, valid for the application of agrochemicals.

sowing rate; time of sowing proper; time of turns; time of flight

Adresa autora:

Ing. Břetislav Mičulka, Ústav pro vědeckou soustavu hospodaření, Tovární 575, 686 02 Uherské Hradiště

Výběr z přírůstků

Ústřední zemědělské a lesnické knihovny ÚVTIZ

z úseku zemědělská technika

Uvedené publikace je možné si vypůjčit osobně nebo písemně v ÚZLK, výpůjční oddělení, 120 56 Praha 2, Slezská 7. Výpůjční doba: pondělí až pátek od 9 do 18 hodin. U každé žádané publikace uveďte signaturu.

BONCIARELLI, F. — FARINA, G. — PANARO, V. B 1.880/54
Osservazioni sull'impiego di alcune macchine per la lavorazione del terreno.

Perugia, Istituto di meccanica agraria 1982. S. 22785-22790, 14 obr., 2 tab. Estr. da „L'informatore agrario“, Verona, XXXVIII (40), 1982. (Půda — obdělávání — mechanizace — výzkum — Itálie)

FARINA, G. — BIONDI, P. C 25.993/138

Le lavorazioni e la struttura del terreno agrario.

Perugia, Istituto di meccanica agraria 1982. S. 21-27, 8 obr. Estr. da „Macchine e motori agricoli“ — Anno XL — n. 7-luglio 1982. (Půda — obdělávání — struktura — vztahy — výzkum — Itálie)

PORTER, M. A. — MacMAHON, T. A. C 27.951/1982/59

Rationale for computer modelling research into tillage practice.

Parkville (Victoria), Depart. of civil engineering 1982. 57 s., 2 gr. Agric. engineering report, No 59/82. (Orba — modely matematické — výzkum — Austrálie)

D 64.961/172

Merkenonderzoek vierscharige rondgaande ploegen en drie- en vierscharige wentelbreedvoorploegen. Res. angl.

Wageningen, IMAG 1982. 88 s., obr., tab. Publikatie 172. (Pluhy otočné — tříradličné a čtyřradličné — zkoušení — Holandsko — zprávy)

BISANG, M. — STRASSER, H. C 19.978/229

Typentabelle Miststreuer.

Tänikon, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik 1983. 10 s., tab. Blätter für Landtechnik 229. (Rozmetadla chlévské mrvy — typy — tabulky)

B. Groda

GRODA, B. (Vysoká škola zemědělská, Brno): *Opotřebení lopatek vývĚv SVL*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 375-384.

V příspěvku je uveden rozbor opotřebení — celkového i okamžitého, včetně rychlosti opotřebení pro kritický prvek vývĚvy, tj. pro její lopatky. Zkoumá příčiny nerovnoměrného šikmého primárního opotřebení výšky lopatky a odvozeného sekundárního šikmého opotřebení délky lopatky, která porušují hermetickou těsnost pracovních komor vývĚv.

lopatka; křivka opotřebení; primární a sekundární opotřebení

Změny skutečných determinačních funkcí vývĚv, tj. okamžitých stavů i jejich průběhů, jsou především způsobeny změnou mechanického stavu. Mechanický stav je dán opotřebením jednotlivých prvků vývĚvy. Velikost i průběh opotřebení závisí na pracovním režimu, ve kterém vývĚvy pracují. Pracovní režim je vyjádřen podtlakem (p_N), kterému odpovídá tepelné namáhání pracovních ploch [Groda, 1982] a stavem mazání. Tyto podmínky pak určují především charakter a průběh změny exploatačně energetických parametrů vývĚv, vyjádřené blokovými funkcemi:

$$\{Q_{sv}, P_{04}, E, k_o\} = f(p_N) \quad (1)$$

$$\{Q'_{sv}, P'_{04}, E', k'_o\} = f(T)$$

Vzájemnou souvislost opotřebení a exploatačně energetických parametrů vývĚv SVL-80 uvádějí dřívější práce [Groda, 1976, 1982]; tento příspěvek objasňuje problematiku opotřebení vývĚv SVL-40 a SVL-60.

MATERIÁL A PODMÍNKY MĚŘENÍ

Zkoumali jsme soubor osmi vývĚv typu SVL-40 a SVL-60. Šest vývĚv z tohoto souboru bylo uvedeno do tzv. únavového (tj. nepřetržitého) provozu při pracovním podtlaku $p_N = 50,7$ kPa. Dvě vývĚvy (vývĚva č. 2 — SVL-60 a č. 3 SVL-40) spolupracovaly s měřicí trati funkčních skupin dojící techniky. Průměrný pracovní podtlak vývĚvy č. 2 v celém rozmezí od 0 do 10 000 hodin provozu byl 56,128 kPa, průměrná teplota ve výfukovém kanálu $t_v = 69^\circ\text{C}$. Obdobně vývĚva č. 3 pracovala při $p_N = 55,328$ kPa a $t_v = 70^\circ\text{C}$.

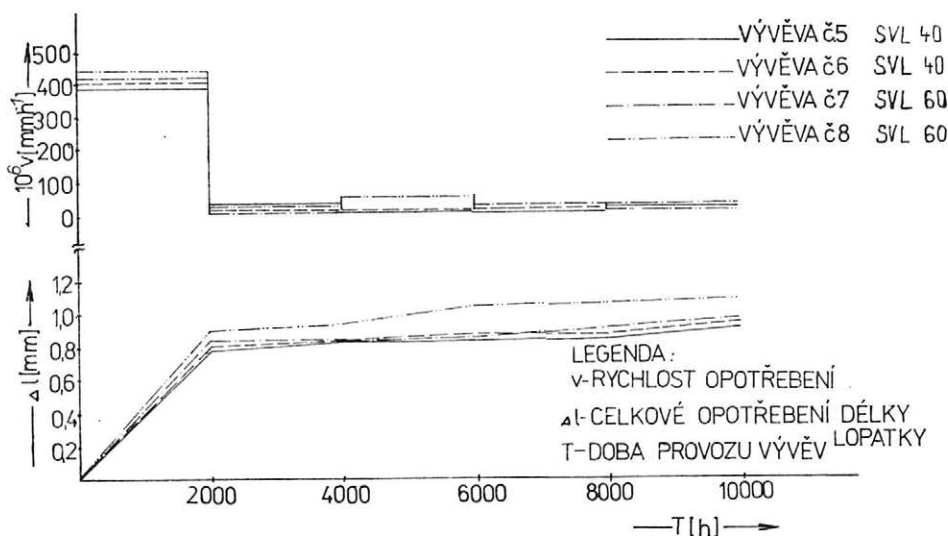
Mazání vývĚv bylo seřizeno podle doporučení výrobce. Podle téhož doporučení byl použit i mazací olej ON 5, kterým byly mazány vývĚvy č. 1, 3, 5, 7. Kromě toho byl použit olej M-6A, kterým se v zemědělské praxi olej ON-5 často nahrazuje. Olejem M-6A byly mazány vývĚvy č. 2 a 8. Konečně vývĚvy č. 4 a 6 byly mazány speciálním olejem R-2. Průměrná spotřeba oleje činila $0,0076 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

VÝSLEDKY A JEJICH VYHODNOCENÍ

Opotřebení kritického prvku vývěvy, tj. lopatky, je pro výběrový soubor vývěv SVL graficky vyhodnocen na obr. 1 až 5. Výběrový soubor byl sestaven vždy ze dvou vývěv daného typu (SVL-40, SVL-60), a to těch, u kterých se projeví extrémní hodnoty všech měřených veličin. Ostatní vývěvy jsou pak uvnitř rozpětí výběrového souboru. V grafech je vyhodnoceno celkové opotřebení pro j -tou dobu provozu, změna opotřebení v jistém intervalu doby provozu od j do $j+1$ a rychlost opotřebení v týchž intervalech.

Rozbor opotřebení lopatek vývěv na základě výběrových souborů vývěv SVL-40 a SVL-60 byl použit proto, že umožňuje analyzovat opotřebení, včetně šířky tolerančních polí charakteristik opotřebení. Vyvozané závěry jsou za těchto podmínek vyhodnocení jednoznačnější zřejmé z grafických průběhů opotřebení. Vynesení charakteristik opotřebení všech vývěv by vedlo k nepřehlednosti grafů a z nich odvozených závěrů. Šířka tolerančních polí charakteristik opotřebení současně dává obraz o jakosti výrobku, a tím i o technologické úrovni a kázni při výrobě vývěv. Použití znázornění charakteristik opotřebení lomenými čarami vychází z počtu opakování měření opotřebení (vždy po 2000 h provozu). Častější měření, zejména v okolí bodů větších změn opotřebení, nebylo možné. Vyrovnání křivek opotřebení statistickými rovnicemi by za tohoto stavu vedlo k jistým nepřesnostem, a to zejména v okolí větších změn opotřebení, tj. v časových úsecích záběhu a konce technické životnosti. Proto nebylo statistické vyrovnání křivek opotřebení použito.

Celkové opotřebení určuje pořadnice křivky opotřebení v příslušné době provozu (T). Změna opotřebení, odpovídající intervalu doby provozu T_j až T_{j+1} , je dána rozdílem pořadnic bodů křivek opotřebení, které odpovídají krajním hodnotám uvedeného intervalu doby provozu. Rychlost opotřebení (v) je v grafech vynesena samostatně. Křivky opotřebení délky lopatky (Δl) (obr. 1) výběrového souboru vývěv SVL jsou

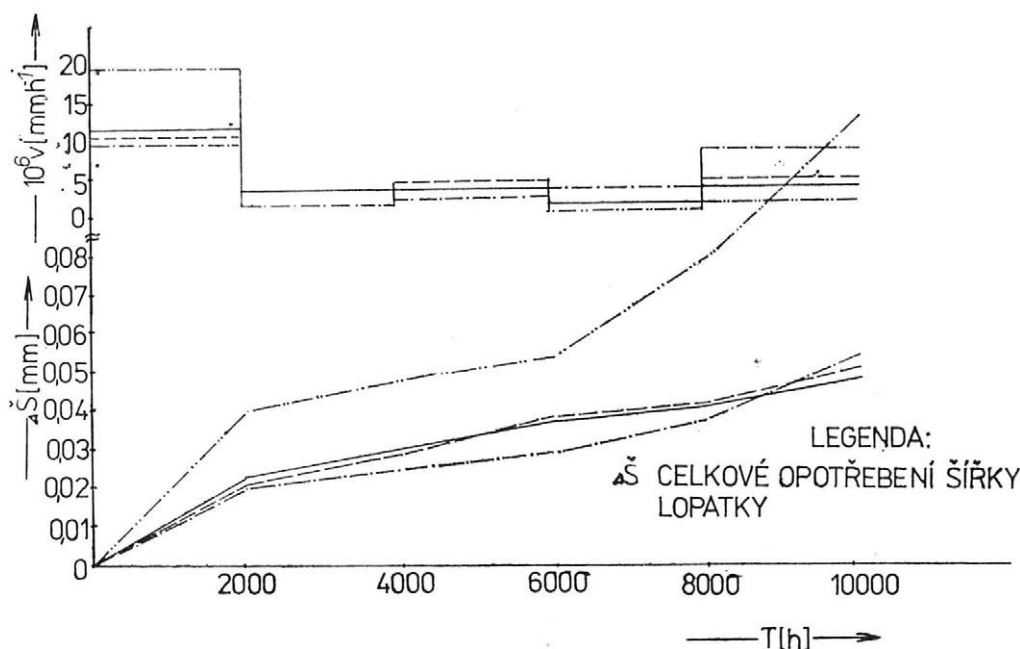


1. Průběh opotřebení délky lopatky — The course of wear of valve length

vyneseny z průměrných hodnot opotřebení všech lopatek (1 až 8) měřeného v místech (l_{j1} , l_{j2} , l_{j3}). Z grafického průběhu opotřebení tohoto rozměru lopatky (Δl) plyne, že strmost křivek opotřebení všech vývěv výběrového souboru je v rozmezí od 0 do 2000 hodin výrazně větší než strmost v rozmezí od 2000 do 8000 hodin provozu. Nepatrné zvýšení strmosti křivek opotřebení lze zaznamenat v rozmezí od 8000 do 10 000 hodin provozu, zejména u vývěv č. 5, 6 a 7.

Celkově lze říci, že křivky opotřebení výběrového souboru vývěv SVL-60 (č. 7 a 8) leží téměř v celém rozmezí doby provozu (T) nad křivkami opotřebení výběrového souboru vývěv SVL-40 (č. 5 a 6). Jednoznačně to platí pro vývěvu č. 8. Posunutí křivek opotřebení vývěv SVL-60 nad křivky vývěv SVL-40 je zřejmě způsobeno vyššími kluznými rychlostmi lopatek. Obdobné změny jsou patrné u rychlosti opotřebení (v) v jednotlivých intervalech doby provozu. Průběh křivek opotřebení velmi dobře odpovídá teoretickým předpokladům (Korouš, 1966). Větší strmost křivek opotřebení i větší rychlost opotřebení v počátečním úseku doby provozu je dána podmínkami záběhu funkčních ploch. Opětovné zvýšení strmosti opotřebení i rychlosti opotřebení po 8000 hodinách provozu odpovídá období konce technické životnosti.

Průběh opotřebení šířky lopatky ($\Delta \bar{s}$) (obr. 2) je obdobný jako průběh opotřebení její délky (Δl). Přestože jsou hodnoty opotřebení šířky lopatky ($\Delta \bar{s}$) řádově desetkrát menší než u délky (Δl), je toto opotřebení významné. Způsobuje odklon lopatek od radiálního směru, což má za následek změnu (zhoršení) silových poměrů lopatky, a tím také zvýšení závislosti příkonu na pracovním podtlaku (p_N) — (Groda, 1982). Souvisí s tím zeslabování nosného průřezu lopatky, který je namáhan ohybovým momentem. Spolu s rostoucím odkláněním lopatky

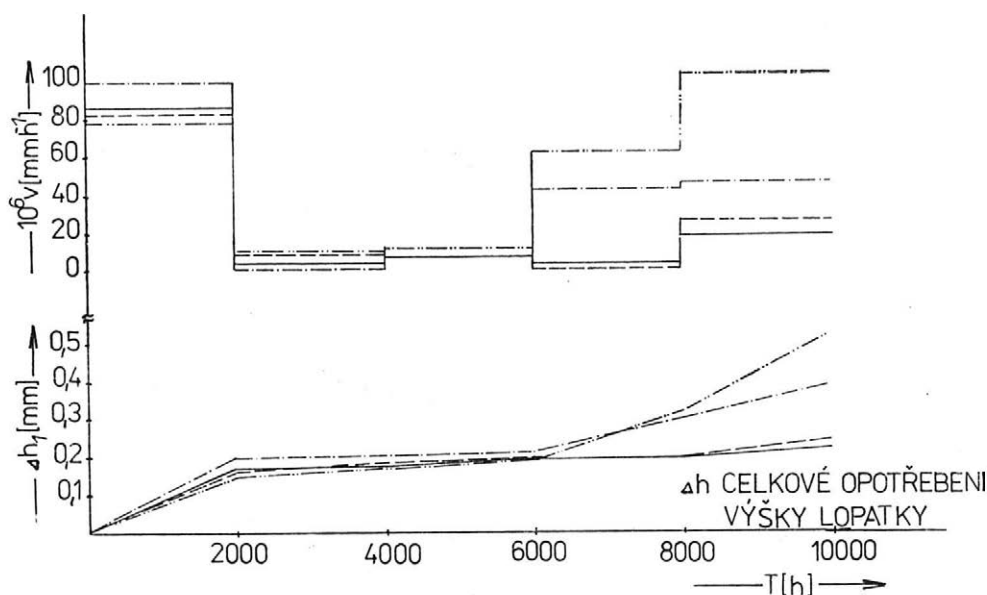


2. Průběh opotřebení šířky lopatky — The course of wear of valve width

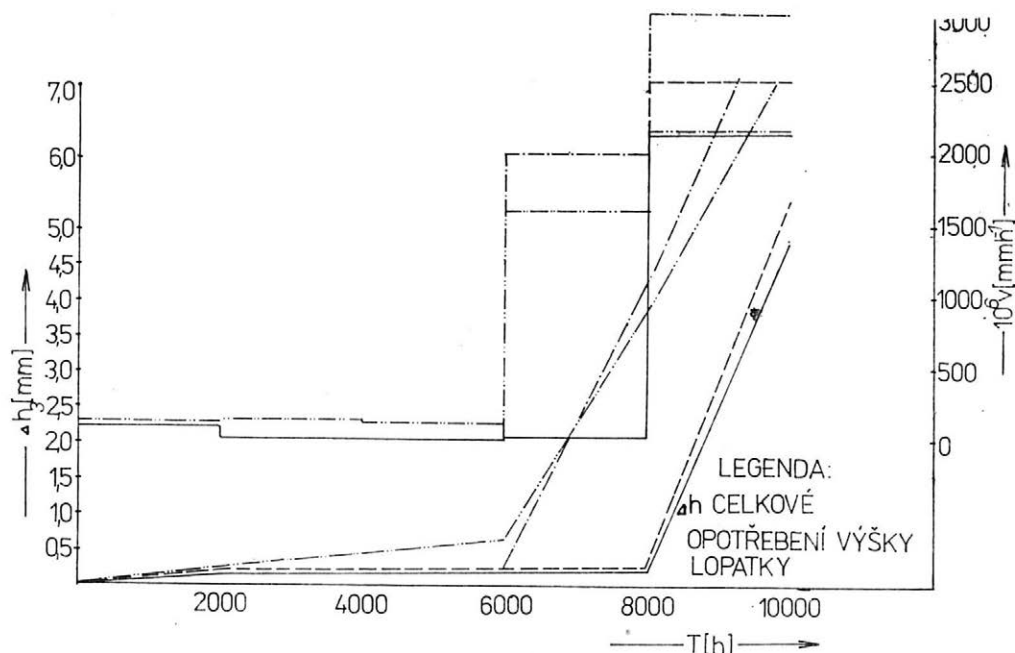
vznikají podmínky pro samosvornost lopatky v zářezu rotoru, a tím pro vznik havarijního stavu vývěvy. Od křivek opotřebení délky lopatek se křivky opotřebení šířky lopatek liší zejména šířkou tolerančního pole křivek opotřebení vývěv SVL-60. Tato šířka je výrazně větší u SVL-60. Toleranční pole těchto křivek vývěv SVL-40 leží téměř v celém rozsahu doby provozu (T) uvnitř pole vývěv SVL-60. Kromě toho se strmost křivek opotřebení vývěv SVL-60 zvyšuje již po 6000 hodinách provozu. U vývěv SVL-40 se strmost křivek opotřebení nepatrně zvyšuje až od 8000 hodin provozu.

Nejvýznamnější (resp. primární) je opotřebení výšky lopatky (Δh). Jeho průběh je graficky vyneseno z průměrných hodnot všech lopatek [1 až 8] v místě měření (h_{j1}) na obr. 3. Obdobně jsou na obr. 4 vyneseny hodnoty odpovídající místu měření (h_{j3}). Výběrové soubory vývěv SVL mají vyšší strmost křivek opotřebení v období záběhu (0 až 2000 h) v místě měření (h_{j1}) i (h_{j3}) než v navazujícím intervalu doby provozu (T). K opětovnému zvětšení strmosti křivek opotřebení a zvýšení rychlosti opotřebení dochází u výběrového souboru vývěv SVL-60 dříve, a to již po 6000 hodinách provozu. U výběrového souboru vývěv SVL-40 k tomu dochází až po 8000 hodinách provozu. Toto posunutí je způsobeno především vyšší kluznou rychlostí lopatek vývěv SVL-60. Srovná-li se strmost průběhů křivek opotřebení po 6000 a 8000 hodinách provozu odpovídajících výběrových souborů (SVL-40, SVL-60) v místě měření (h_{j1}) a (h_{j3}), je výrazně vyšší v místě (h_{j3}). Vyplývá z toho, že celkové opotřebení i změna opotřebení nabývá v místě měření (h_{j3}) větších hodnot. Opotřebení výšky lopatek (h) je tedy šikmé.

Toleranční pole křivek opotřebení výběrových souborů vývěv SVL-40 a SVL-60 se v místě měření (h_{j1}) překrývají. K diferenciaci dochází po 6000 hodinách provozu, kdy pole příslušející SVL-60 leží nad polem



3. Průběh opotřebení výšky lopatky v místě h_1 — The course of wear of valve height at place h_1

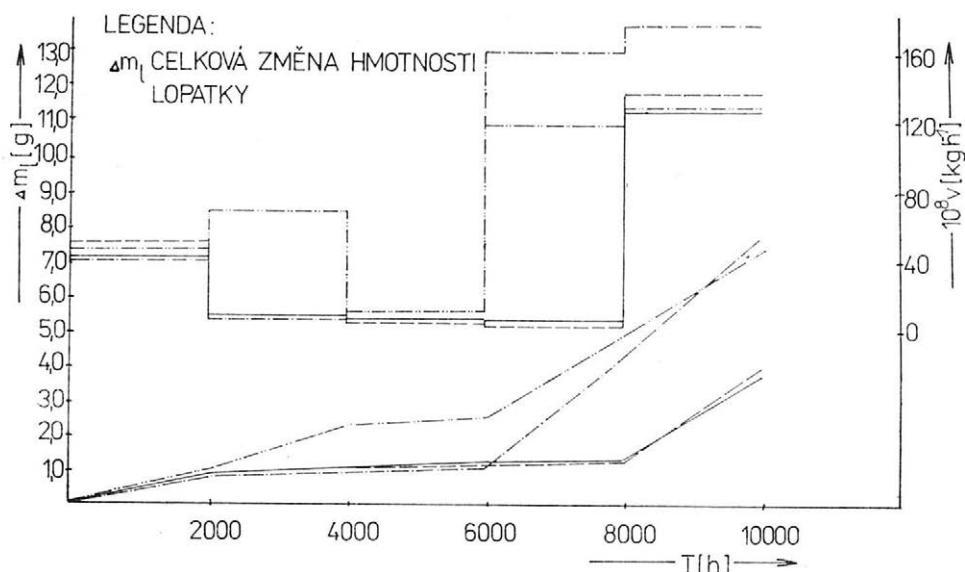


4. Průběh opotřebení výšky lopatky v místě h_3 — The course of wear of valve height at place h_3

SVL-40. I zde je šířka tolerančního pole křivek opotřebení širší pro vývěvy SVL-60. V místě měření (h_{j3}) leží toto toleranční pole vývěv SVL-60 nad polem SVL-40. V rozmezí 0 až 6000 hodin se spolu stýkají a od 6000 hodin se vlivem dřívějšího zvýšení strmosti křivek SVL-60 od sebe oddělují. Šířka pole SVL-60 je opět větší. K obdobné diferenciaci a zvýšení dochází u rychlosti opotřebení (v). Skoková změna rychlosti (v) výběrového souboru vývěv SVL-40 v místě měření (h_{j3}) je mezi 8000 až 10 000 hodinami provozu tak velká, že se dostává do rozmezí rychlosti opotřebení vývěv SVL-60 v tomtéž časovém intervalu doby provozu (T). Tato změna je tedy větší, než je změna rychlosti opotřebení vývěv SVL-60 v intervalu 6000 až 8000 hodin. Z toho lze soudit, že úsek konce technické životnosti vývěv SVL-40 je kratší než u vývěv SVL-60, i když ani jedna vývěva nedosáhla havarijního stavu.

Primární šikmé nerovnoměrné opotřebení výšky lopatky (h) je příčinou sekundárního nerovnoměrného opotřebení její délky (l). Druhotné nerovnoměrné opotřebení délky lopatky (l) je příčinou postupného porušování hermetické těsnosti jednotlivých pracovních komor vývěvy. To mění — snižuje skutečnou výkonnost (Q_{sv}) vývěvy s rostoucí dobou provozu (T) při stejném pracovním podtlaku (p_n). Změna, resp. klesající průběh této skutečné časové determinační funkce $Q'_{sv} = f(T)$, je důvodem změny ostatních časových determinačních funkcí parametrů vývěvy, tj. $P'_{04} = f(T)$, $E' = f(T)$, $k'_o = f(T)$ (G r o d a, 1978, 1981).

Z rozboru technicko-exploatačních charakteristik a životnosti vývěv SVL-80, které pracovaly v provozních podmínkách (G r o d a, 1976), vyplynulo, že velikost a průběh opotřebení jsou nepříznivě ovlivněny nespolehlivou funkcí mazacího zařízení vývěv a způsobem rozvodu (popř.



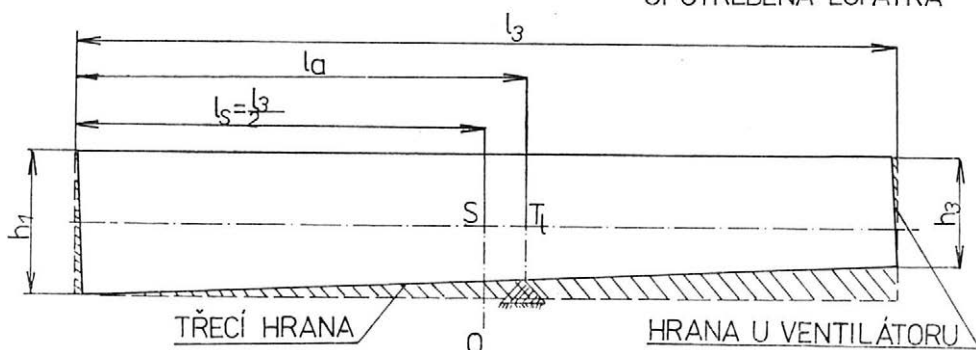
5. Průběh změn hmotnosti při opotřebení lopatky — The course of weight changes during valve wear

přívodu) oleje levým štítem vývěvy ke kluzným — třecím plochám lopatek. U těchto vývěv docházelo k většímu opotřebení výšky všech lopatek právě v místě (h_{j3}) , tj. na opačné straně, než je přívod oleje (štítem na straně řemenice). Aby se vyloučil vliv vyplývající z nespolehlivé funkce mazacího zařízení, bylo pro soubor vývěv SVL-40 a SVL-60, pracujících v laboratorních podmínkách, toto zařízení upraveno. Nespolehlivost funkce mazacího zařízení byla odstraněna, ale přesto se výška lopatek v místě (h_{j1}) a (h_{j3}) nerovnoměrně opotřebovávala (obr. 5). Nepotvrdila se však jednoznačnost většího opotřebení v místě (h_{j3}) u všech lopatek. Do 6000 hodin provozu u vývěv SVL-60, resp. do 8000 hodin u vývěv SVL-40 docházelo u některých lopatek k většímu opotřebení, resp. ke změně opotřebení v místě (h_{j1}) , u některých v místě (h_{j3}) .

Z toho tedy plyne, že příčinou nerovnoměrného opotřebení nemůže být pouze nedokonalý rozvod mazacího oleje podél šířky pracovních komor vývěvy. Vzhledem k tomu, že lopatky jsou k třecí ploše statoru přitlačovány pouze odstředivou silou (F_o) , bude rozložení měrného tlaku v této třecí ploše záviset na poloze těžiště — působišťe odstředivé síly.

Skutečnou polohu těžiště lopatky (T_l) jsme zjišťovali vyvažováním podle schématu na obr. 6, a to po 6000 a 8000 hodinách provozu. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. I a II. Z teoretické úvahy plyne, že je-li větší opotřebení v místě (h_{j3}) , mělo by těžiště lopatky (T_l) být posunuto z osy souměrnosti lopatky O (obr. 6) na stranu místa měření (h_{j3}) . Hodnota (l_a) by měla být tedy větší, než hodnota (l_s) . V další době provozu (T) by se těžiště mělo posunovat blíže k ose lopatky (O) a současně s postupujícím nerovnoměrným opotřebením by se měla lopatka vyvažovat. Těžiště lopatky (T_l) by se mělo přesunout na druhou stranu její osy (O) a takto by mělo dojít až k vyrovnání hodnot opotřebení v místech (h_{j1}) a (h_{j3}) . V tab. I a II jsou určeny rozdíly

LEGENDA: l_3 DÉLKA LOPATKY
 l_s POLOHA STŘEDU LOPATKY
 l_a POLOHA TĚŽIŠTĚ LOPATKY
 h_{j3} VÝŠKA LOPATKY
 --- NOVÁ LOPATKA
 — OPOTŘEBENÁ LOPATKA



6. Určení skutečné polohy těžiště lopatky — Actual location of the center of gravity in valve

$(h_1 - h_3)$ jednotlivých lopatek. Rozdíl určuje místo většího opotřebení. Je-li kladný (+), dochází k většímu opotřebení v místě (h_{j3}) a hodnota (l_a) , určující polohu těžiště (T_l) , má být větší než hodnota (l_s) . Je-li rozdíl $(h_1 - h_3)$ záporný (—), má tomu být naopak.

Při rozboru hodnot vyvažování lopatek po 6000 hodinách provozu (tab. I) podle předešlých kritérií je patrné, že s výjimkou lopatky 7 vývěvy č. 5 tato kritéria jsou splněna. Lze tedy říct, že nevyváženost lopatek je příčinou jejich nerovnoměrného opotřebení, což má negativní dopad i na časové charakteristiky vývěv. Z analýzy hodnot vyvažování po 8000 hodinách provozu (tab. II) vyplývá, že u většiny lopatek vývěv SVL-40 se jejich těžiště (T_l) přesunulo na druhou stranu osy symetrie lopatky. U vývěv SVL-60 je přesun na opačnou stranu od osy symetrie velmi výrazný (až o 7 mm). Toto výrazné a jednoznačné posunutí odpovídá podstatnému zvýšení strmosti křivek opotřebení výšky lopatek v místě (h_{j3}) těchto vývěv po 6000 hodinách provozu. K téměř jevu, tj. k výraznému a jednoznačnému posunu těžiště lopatek na opačnou stranu osy symetrie, došlo i u vývěv SVL-40 po 10 000 hodinách provozu. Důvod je stejný jako u vývěv SVL-60, pouze s časovým zpožděním 2000 hodin provozu, neboť strmost křivek opotřebení výšky lopatek v místě (h_{j3}) se u vývěv SVL-40 zvyšuje až po 8000 hodinách provozu.

Proti teoretickému předpokladu se však přesunem na opačnou stranu osy symetrie lopatky (O) nevyrovnávala velikost opotřebení v místech (h_{j1}) a (h_{j3}) . Naopak jednostranné opotřebení výšky lopatek bylo ještě výraznější. Vyplývá to i z rozdílu strmostí křivek opotřebení výšky lopatky v místě (h_{j3}) a (h_{j1}) v odpovídajícím intervalu doby provozu obou souborů vývěv (obr. 3 a 4), tj. po 6000 a 8000 hodinách provozu. Jedním z důvodů tohoto stavu je charakter a rozložení místního opotřebení na šířce lopatky. Opotřebení na ploše lopatky vlastně vytváří v jistém smyslu vedení dráhy posuvu lopatek v zářezech rotoru. Toto šikmé vedení lopatek je dále podpořeno nerovnoměrným opotřebením jejich

I. Hodnoty zjištěné při vyvažování lopatek vývěv; doba provozu 6000 h — The values registered in the course of balancing the air pump valves; time of operation 6000 hours

Vývěva č.	5 SVL-40							
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	+0,04	+0,08	-0,12	+0,32	+0,32	-0,30	-0,02	+0,03
l_s (mm)	99,28	99,20	99,27	99,28	99,25	99,38	99,27	99,21
l_a (mm)	99,65	99,25	99,05	99,75	99,50	99,20	99,35	99,30
Vývěva 9.	6 SVL-40							
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	+0,74	-0,43	-0,20	0,11 -	+0,02	+0,03	+0,02	+0,30
l_s (mm)	99,25	99,24	99,27	99,22	99,16	99,29	99,10	99,24
l_a (mm)	99,75	99,05	98,75	99,05	99,20	99,40	99,25	99,50
Vývěva č.	7 SVL-60							
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	0,00	-0,81	-0,23	+0,13	+0,22	-0,09	-0,23	-0,40
l_s (mm)	99,15	99,05	99,16	99,13	99,14	99,03	99,03	99,00
l_a (mm)	99,10	98,45	99,05	99,30	99,30	98,50	98,85	98,55
Vývěva č.	8 SVL-60							
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	+0,25	+0,17	+0,67	-0,04	+1,12	+0,32	+0,47	+0,80
l_s (mm)	99,02	99,20	99,10	99,20	99,18	99,20	99,19	99,45
l_a (mm)	99,65	99,60	99,40	98,85	99,75	99,55	99,70	99,65

délky, což vlastně samo také představuje šikmé vedení lopatek. Velikost přesunu těžiště lopatky (T_l) tedy nevyvolá adekvátní změnu silového účinku odstředivé síly (F_o), který by byl v rovnováze se zhoršenými třecími poměry lopatky v zářezech rotoru.

Průběh hmotnostního opotřebení (m_l) i jeho rychlosti (v) — (obr. 5) je adekvátní průběhu rozměrového opotřebení lopatky a odpovídají mu tytéž závěry.

ZÁVĚR

Celkově lze konstatovat, že průběh opotřebení, vyjádřený křivkami opotřebení, šířkou tolerančních polí těchto křivek a rychlostí opotřebení, je závislý především na kluzných rychlostech třecích dvojic lopatka-stator a lopatka-rotor pro jinak stejné podmínky pracovního podtlaku (p_N), tepelného namáhání a mazání. Rozdílné kluzné rychlosti způsobují po-

II. Hodnoty zjištěné při vyvažování lopatek vývěv; doba provozu 8000 h — The values registered in the course of balancing the air pump valves, time of operation 8000 hours

Vývěva č.	5				SVL-40			
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	0,015	0,18	-0,14	0,34	0,31	-0,29	-0,03	0,07
l_s (mm)	99,28	99,215	99,29	99,29	99,25	99,38	99,26	99,23
l_a (mm)	99,00	99,16	99,40	99,26	99,12	99,38	99,68	99,21
Vývěva č.	6				SVL-40			
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	0,78	-0,48	-0,14	-0,085	0,04	0,01	0,065	0,24
l_s (mm)	99,26	99,25	99,29	99,23	99,15	99,28	99,12	99,24
l_a (mm)	97,00	98,26	98,86	99,22	97,60	99,00	99,00	99,00
Vývěva č.	7				SVL-60			
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	7,78	2,58	10,13	2,28	9,94	2,10	11,57	1,00
l_s (mm)	99,13	99,06	99,07	99,14	99,14	99,05	99,03	99,00
l_a (mm)	93,00	96,32	91,52	91,24	92,00	96,02	90,24	97,34
Vývěva č.	8				SVL-60			
Lopatka č.	1	2	3	4	5	6	7	8
h_1-h_3 (mm)	7,22	1,27	6,45	2,85	7,87	2,57	8,44	2,22
l_s (mm)	99,02	99,22	99,12	99,21	99,21	99,19	99,24	99,13
l_a (mm)	94,92	99,01	93,44	95,64	94,10	98,16	95,10	98,56

sunutí doby, v níž dochází k opětovnému zvýšení strmosti křivek opotřebení, tj. doby, kterou začíná období konce technické životnosti vývěv. Toto období nastává u vývěv SVL-40 asi po 8000 hodinách, u vývěv SVL-60 po 6000 hodinách a podle dřívějších výsledků (G r o d a, 1976) u vývěv SVL-80 po 4500 až 5000 hodinách provozu.

Po těchto dobách provozu je nutné počítat s opravou vývěv, a to alespoň výměnou lopatek. Pokud se vývěva dostane do mezního stavu, například v důsledku nedostatečné výkonnosti (Q_{vs}), bude oprava nutná i dříve. Mezní výkonnost vývěvy závisí na druhu spotřebiče a průběhu jeho charakteristiky spotřeby vzduchu. Protože se asi po 5000 hodinách provozu značně opotřebovávají i ložiska (vůle, praskání klece, atp.), je vhodné provést v uvedených dobách provozu celkovou opravu vývěvy. Z pohledu servisní péče je nutné mít na paměti, že periodičita oprav jednotlivých typů těchto vývěv (SVL-40, SVL-60, SVL-80) bude různá, což se musí promítnout do organizace činnosti servisních techniků i do organizace specializovaných oprav.

Použitá označení

$l, h, \bar{s}$	— počáteční rozměry (délka, výška, šířka lopatky (m))
$l_j, h_j, \bar{s}_j$	— rozměry lopatky po době provozu T_j (m)
$\Delta l_j, \Delta h_j, \Delta \bar{s}_j$	— celkové rozměrové opotřebení lopatky (m)
$\Delta l_{j-j+1}, \Delta h_{j-j+1}, \Delta \bar{s}_{j-j+1}$	— změna opotřebení rozměrů lopatky za dobu T_j až T_{j+1} (m)
m_l	— hmotnost lopatky (kg)
T_j	— doba provozu vývěv (h)

Literatura

- GRODA, B.: Technicko-exploatační charakteristiky a životnost vývěv SVL-80. In: Sbor. VŠZ v Brně, řada D. Brno 1976, č. 3-4.
- GRODA, B.: Spolehlivost vývěv SVL-40 a SVL-60. Zeměd. Techn., 24, 1978, č. 6, s. 355-368.
- GRODA, B.: Diagnostika vývěv SVL. In: Sbor. VŠZ v Brně, řada D. Brno 1981, č. 1-4.
- GRODA, B.: Energetický rozbor vývěv SVL. In: Sbor. VŠZ v Brně, řada D. Brno 1982, č. 1-2.
- GRODA, B.: Teplotní poměry vývěv SVL. In: Sbor. VŠZ v Brně, řada D. Brno 1982, č. 1-2.
- KOROUS, F.: Technologie oprav strojů. Díl 1. Praha, Státní pedagogické nakladatelství 1966.

Došlo dne 29. 11. 1983

ГРОДА, Б. (Сельскохозяйственный институт, Брно): Износ вакуумного насоса СВЛ. Земед. Techn., 30, 1984 (6) : 375-384.

В статье приведен анализ износа — общего и моментального, включая скорость износа для критического элемента вакуумного насоса, т.е. для его лопатки. Исследуются причины неравномерного косо го нервичного износа высоты лопатки и выведенного вторичного косо го износа длины лопатки, которая нарушает герметическую непроницаемость рабочих камер вакуумного насоса.

лопатка; кривая износа; первичное и вторичное изнашивание

GRODA, B. (University of Agriculture, Brno). *The Wear of SVL Air Pumps*. Zeměd. Techn., 30, 1984 (6) : 375-384.

The wear — total and instantaneous, including the rate of wear — is analyzed in the critical element of an air pump, i. e. its valve. The causes are studied of uneven primary skew wear of valve height and of derived secondary skew wear of valve length which decrease the hermetic tightness of air pump chambers.

valve; curve of wear; primary and secondary wear

Adresa autora:

Doc. ing. Bořivoj Groda, CSc., Vysoká škola zemědělská, Zemědělská 1, 662 65 Brno

OBSAH

Grečenko A.: Pohyb zemědělských vozidel na příkrých travnatých svazích	321
Blahovec J., Patočka K., Miča B.: Mechanické a elektrické vlastnosti kořenů a hlíz v průběhu stlačování	335
Koper R.: Určení mechanických vlastností pšeničného zrna holografickou interferometrií a mikroskopií	355
Mičulka B.: Spotřeba času a výkonnost při leteckém setí obilovin	363
Groda B.: Opatření lopatek vývěv SVL	375

СОДЕРЖАНИЕ

Греченко А.: Передвижение сельхозмашин на травянистых косогорах	334
Благовещ И., Паточка К., Мица Б.: Механические и электрические свойства корней и клубней в процессе сжатия	355
Копер Р.: Определение механических свойств пшеничного зерна путем голографической интерферометрии и микроскопии	362
Мицунка Б.: Затрата времени и производительность авиационного сева зерновых	373
Грода Б.: Износ вакуумного насоса СВЛ	384

CONTENTS

Grečenko A.: Travel of Agricultural Vehicles on Steep Grass-Covered Slopes	334
Blahovec J., Patočka K., Miča B.: Mechanical and Electric Characteristics of Roots and Tubers in the Course of Compression	355
Koper R.: Determination of the Mechanical Characteristics of Wheat Grain by the Methods of Holographic Interferometry and Microscopy	362
Mičulka B.: Time Demand and Performance at Aerial Sowing of Cereals	373
Groda B.: The Wear of SVL Air Pumps	384



Rozšiřuje Poštovní novinová služba. Objednávky a předplatné přijímá PNS - ústřední expedice tisku, administrace odborného tisku, Jindřišská ulice 14, 110 00 Praha 1. Lze též objednat u každé pošty i poštovního doručovatele. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS — ústřední expedice tisku, oddělení vývozu tisku, Jindřišská ulice 14, 110 00 Praha 1. Vytiskl MÍR, novinářské závody, n. p., závod 6, tř. Lidových milicí 22, 120 00 Praha 2.