



ÚZPI

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

Agricultural Engineering

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

1

VOLUME 43 (LXX)
PRAHA 1997
CS ISSN 0044-3883

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření České akademie zemědělských věd a s podporou Ministerstva zemědělství České republiky

An international journal published by the Czech Academy of Agricultural Sciences and with the promotion of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic

Redakční rada – Editorial Board

Předseda – Chairman

Ing. Jiří Fiala, DrSc. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, ČR)

Členové – Members

Doc. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc. (Česká zemědělská univerzita, Praha, ČR)

Doc. Ing. Karel Brzkovský, CSc. (České vysoké učení technické, Praha, ČR)

Univ.-Prof. Dr. habil. Manfred Estler (Technische Universität München, Institut für Landtechnik, Freising, BRD)

Prof. Ing. Ján Jech, CSc. (Vysoká škola poľnohospodárska, Nitra, SR)

Ing. Petr Jevič, CSc. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, ČR)

Doc. Ing. Jan Mareček, CSc. (Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, ČR)

Ing. Richard Markovič, CSc. (Štátna skúšobňa poľnohospodárskych a lesných strojov, Rovinka, SR)

Ing. Zdeněk Pastorek, CSc. (Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, ČR)

Doc. Ing. František Ptáček, CSc. (Státní kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, ČR)

Prof. M. N. Rífaí, Ph.D. (Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova Scotia, Canada)

Ing. Jan Šabatka, CSc. (Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice, ČR)

Vedoucí redaktorka – Editor-in-Chief

Ing. Jovanka Václavičková

Cíl a odborná náplň: Časopis publikuje původní vědecké práce a studie typu review z oboru zemědělská technika, zemědělské technologie a zpracování zemědělských produktů. Abstrakty z časopisu jsou zahrnuty v těchto databázích: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, WLAS.

Periodicita: Časopis vychází čtvrtletně (4x ročně), ročník 43 vychází v roce 1997.

Přijímání rukopisů: Rukopisy ve dvou vyhotoveních je třeba zaslat na adresu redakce: Ing. Jovanka Václavičková, vedoucí redaktorka, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze na celý rok (leden–prosinec) a měly by být zaslány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, vydavatelské oddělení, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1997 je 204 Kč.

Aims and scope: The journal publishes scientific papers and reviews dealing with the study agricultural engineering, agricultural technologies and processing the agricultural products. Abstracts from the journal are comprised in the databases: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, WLAS.

Periodicity: The journal is published quarterly (4 issues per year), Volume 43 appearing in 1997.

Acceptance of manuscripts: Two copies of manuscript should be addressed to: Ing. Jovanka Václavičková, editor-in-chief, Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 79 39, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. The day the manuscript reaches the editor for the first time is given upon publication as the date of reception.

Subscription information: Subscription orders can be entered only by calendar year (January–December) and should be sent to: Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Subscription price for 1997 is 51 USD (Europe), 53 USD (overseas).

TEORETICKÁ A EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA FOTOMETRICKÉHO MĚŘENÍ PEVNÝCH NEČISTOT V EXPLOATOVANÝCH MOTOROVÝCH OLEJÍCH

LABORATORNÁ KNIHOVNA
České zemědělské
univerzity
v Praze
1 - TESNOVÁ 17

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PHOTOMETRIC MEASUREMENT OF SOLID CONTAMINANTS IN EXPLOITED ENGINE OILS

Z. Bohuslávek

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: Theoretical analysis of photometric investigation of the value of solid indissoluble materials in an exploited engine oils was done. The optical sensor RAKOR 34 was developed and proved for the investigating solid contaminants in an undiluted engine oil with range of CCT (CCR) nearly to 4%. The experiment proved the hypothesis that the optical transmission of an exploited oil dominantly depends on the value of carbonized contaminants which are defined as the difference of Conradson carbon residue and ashes of investigated oil. The closest regression function for the dependence of output voltage of the sensor (y) on the value of defined carbonized contaminants (x) was examined on the basis of many experiments with a sensor RAKOR 34. The regressive function is defined by exponential equation $y = e^{(0,2814-3,1553x)}$ with correlation index $I_{yx} = 0,976$.

analysis of photometric measurement; tribotechnical diagnosis of exploited engine oils; solid contaminants in engine oils; optical transmission of exploited oil

ABSTRAKT: Podrobili jsme teoretické analýze fotometrické zjišťování obsahu pevných nerozpustných látek v exploatovaném motorovém oleji. Byl navržen a ověřen optický senzor RAKOR 34 k zjišťování pevných nečistot v neředěném motorovém oleji s hodnotou CCT (CCR) až 4 % h. m. Experimentálně byla ověřena hypotéza, že optická propustnost exploatovaného oleje dominantně závisí na obsahu karbonizujících nečistot definovaném jako rozdíl Conradsonova karbonizačního zbytku a popele zkoumaného vzorku oleje. Na základě experimentů se senzorem RAKOR 34 byla statisticky vyšetřena nejtěsnější regresní funkce pro závislost výstupního napětí senzoru (y) na obsahu výše definovaných karbonizujících nečistot (x). Regresní funkce je popsána exponenciální rovnicí, $y = e^{(0,2814-3,1553x)}$ s dosaženým indexem korelace $I_{yx} = 0,976$.

analýza fotometrického měření; tribotechnická diagnostika exploatovaných olejů; pevné nečistoty v motorovém oleji; optická propustnost exploatovaného oleje

ÚVOD

Spalovací motory se v současné době neobejdou bez kvalitní olejové náplně, jejíž cena se velmi výrazně promítá do nákladových položek. Obzvlášť u velkých olejových náplní je snaha vyměňovat olej po co nejdelší době provozu. Tato tendence se ovšem nesmí uplatňovat na úkor zvýšeného opotřebení součástí, které způsobí nárůst nákladů na opravy a prostoje. Řešení tohoto problému podává tribotechnická diagnostika olejů, která kromě diagnostiky stroje umožňuje určovat optimální interval výměny olejové náplně. Laboratorní metody využívající časově náročné postupy nebo investiční i provozně nákladné přístroje nelze aplikovat do provozních podmínek, v nichž je potřebné rychle a levně získávat základní diagnostický signál k stanovení okamžiku výměny olejové náplně i k sledování

bezporuchového provozu stroje. Zde přicházejí ke slovu provozní diagnostické přístroje, které s určitou úspěšností dosahují výsledků odpovídajících laboratorním zkouškám. Teoretická a experimentální vyšetření vhodnosti fotometrické metody k stanovení obsahu pevných nečistot v motorovém oleji při současném návrhu a ověření vhodného senzoru je tématem tohoto příspěvku.

METODA

Základním cílem je teoretické a experimentální vyšetření vlastností fotometrického zjišťování obsahu pevných nečistot v exploatovaném motorovém oleji. Součástí toho je návrh nového senzoru využívajícího tuto metodu měření, přičemž měřicí postup musí vyka-

zovat funkční přednosti a odstraňovat nedostatky známých senzorů a měřicích metod. Pro splnění daného cíle byl stanoven tento základní metodický postup:

a) Analýza vlastností fotometrického zjišťování koncentrace pevných částic v heterogenním roztoku (suspenzi). Vyšetření obecné závislosti a faktorů způsobujících odchylky od ní.

b) Návrh senzoru pro měření optické propustnosti mikrovrstvy exploataovaného oleje.

c) Experimentální vyšetření statické převodní charakteristiky senzoru pro vstupní veličinu odvozenou z hodnot laboratorních zkoušek oleje. Vyhledání regresního modelu převodní funkce s největší mírou těsnosti závislosti, tzn. vyhledání druhu nečistot, který dominantně ovlivňuje optickou propustnost zkoumaného oleje.

VLASTNÍ PRÁCE

a. ZJIŠŤOVÁNÍ KONCENTRACE ČÁSTIC DISPERGOVANÝCH V HETEROGENNÍM ROZTOKU (SUSPENZI) POMOCÍ FOTOMETRICKÝCH METOD

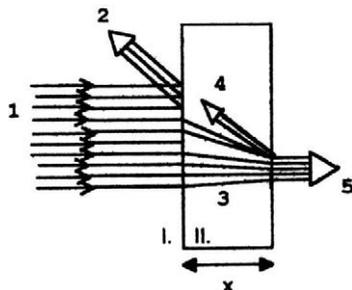
Zadaný problém fotometrického měření obsahu pevných nečistot v oleji lze formulovat jako úlohu zjišťující koncentraci pevných částic dispergovaných v kapalině ve formě koloidních částic (10^{-6} – 10^{-4} mm) a částic hrubších (10^{-4} mm a více). Dále jsou částice nehomogenní z hlediska chemického složení a fyzikálních vlastností jako např. morfologie, optická propustnost, specifická hmotnost atd. Z tohoto zadání je zřejmé, že je to úloha velmi složitá a z pohledu přesného zjištění částic fotometrickými metodami velmi obtížně řešitelná.

Fotometrickou metodu přesto bude možné využít, protože zadaný úkol se týká provozního měření, jehož cílem není přesně zjišťovat obsah určitých částic, ale s provozní přesností nahradit laboratorní zkoušku stanovující globální obsah nečistot. K úspěšnosti použití této metody přispívá skutečnost, že zvláště u olejů dieselmotorů tvoří převážnou část obsahu nečistot saze a velikost drtivě většiny dispergovaných částic nečistot se pohybuje v intervalu od 0,5 do 2 μm (Paehr, 1992).

Optická propustnost roztoků

Fotometrické zjišťování koncentrace látek v roztocích využívá Lambert-Beerova zákona, který definuje závislost optické propustnosti vrstvy dané látky, resp. roztoku na tloušťce této vrstvy a na dalších parametrech. Interpretaci tohoto zákona a možnosti jeho využití uvádí více literárních pramenů (Kortüm, 1962, 1969; Plško, 1963; Brož, 1974; Krosignani, Porto, 1975). Schéma na obr. 1 uvádí poměry při průchodu elektromagnetického záření prostředím, v našem případě vrstvou olejového roztoku. Vydeme-li z předpokladu, že odrazy na přechodech

prostředí jsou téměř konstantní a činí malou část úbytku záření, potom absorpce záření v prostředí II bude hlavním optickým parametrem charakterizujícím prostředí II. Samozřejmě, že z obecného pohledu dochází při průchodu záření prostředím kromě absorpce záření také k disperzi (rozkladu) a difúzi (rozptylu) záření, ale z hlediska užití dané analýzy můžeme tyto ztráty zahrnout do absorpce. Navíc, vzhledem k velikosti absorpčního koeficientu použitých motorových olejů, činí tyto ztráty záření zanedbatelnou hodnotu.



1. Průchod záření prostředím – Transit of radiation through the medium

Pro pokles intenzity elektromagnetického záření o nekonečně malou hodnotu $-dI$ průchodem prostředím po dráze dx můžeme psát

$$-dI = A \cdot I \cdot dx \quad (1)$$

kde: A – absorpční konstanta (cm^{-1})

Po separaci proměnných lze rovnici integrovat

$$-\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = A \int_0^x dx \quad (2)$$

a dostaneme

$$-(\ln I - \ln I_0) = A \cdot x \quad (3)$$

Důsledek absorpce vyjadřuje poměr intenzit před průchodem záření vrstvou a po něm a nazývá se propustnost – transmittance

$$\tau = \frac{I}{I_0} = e^{-A \cdot x} \quad (4)$$

Rovnice je v podstatě vyjádřením Bouguer-Lambertova zákona, protože jako první experimentoval a formuloval úbytek záření absorpcí Bouguer (r. 1729) a přesně matematicky ho formuloval Lambert (r. 1760). Beer poprvé uskutečnil absorpční měření s roztoky a rozšířil platnost tohoto zákona pro prostředí specifikované roztoky molární koncentrací rozpuštěné látky (c). Beerův zákon stanovuje vztah mezi absorpčním modulem a koncentrací absorbujícího roztoku

$$A = \chi \cdot c \quad (5)$$

kde: c – molární koncentrace (mol.l^{-1})

χ – molární absorpční koeficient ($\text{l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$)

V praxi je zavedeno vyjádření zákona (3) pomocí dekadických logaritmů, a proto po přepočtu jde o tzv. extinkční modul $A' = A \cdot \log e$ (cm^{-1}) a obdobně platí vztah $A' = \chi' \cdot c$

kde: $\chi' - \chi \cdot \log e$ – extinkční molární koeficient ($\text{cm}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)

Úpravou rovnice (4) dostaneme

$$E = \log \frac{I_0}{I} = \chi' \cdot c \cdot x \quad (6)$$

kde: E – tzv. extinkce

Praktické využití zákona spočívá především v tom, že při odměření extinkce zkoumané látky, resp. roztoku při známé tloušťce vrstvy (x) a známém molárním extinkčním koeficientu (χ') můžeme stanovit molární koncentraci roztoku (c).

Exploatované motorové oleje mají dost vysokou absorpci, protože absorpční konstanta A se u nich běžně pohybuje v rozmezí od 200 do 3 000 cm^{-1} , přičemž hodnoty 2 000 až 3 000 cm^{-1} odpovídají hodnotám znečištění oleje v HEO větším než 3 % h. m. Tyto hodnoty uvedl Meinicke (1990), a to při měření neředěných vzorků oleje na speciálně upraveném fotometrickém přístroji. V této práci jsou uvedena měření na skutečných exploatovaných olejích a na uměle vytvořených vzorcích pomocí jemných acetylenových sazí. Obdobné výsledky jsem změřil na dále popsaném senzoru. Z uvedených hodnot vyplývá, že měření optické propustnosti, resp. absorpce oleje není bez výrazného ředění realizovatelné standardními měřicími postupy a přístroji pro měření propustnosti.

Faktory ovlivňující odchylky od Lambert-Beerova zákona při měření heterogenních roztoků

Studiem metod reflexní spektroskopie lze získat důležitější informace o vlivu velikosti a koncentrace částic látek na optické vlastnosti prostředí, které tyto částice obsahuje. Kortüm (1969) popsal vliv velikosti částic heterogenního systému na absorpční koeficient K_T . Tento jev zkoumalo více autorů, např. Felder (1964) nebo Dyuckaerts (1955). V podstatě jde o vliv na absorpční konstantu A .

Za předpokladu zanedbatelného rozptylu záření částicemi, což je u exploatovaných motorových olejů splněno, byla na základě statistické úvahy, kterou uvedl Felder (1966), stanovena závislost absorpční konstanty K_T na velikosti částic v systému s kulovitými monodisperzními částicemi

$$K_T = -\frac{3}{2d} \cdot \varphi(Pm) \cdot \ln \left[1 - \frac{P}{\varphi(Pm)} \cdot (1 - T_d) \right] \quad (7)$$

kde: d – průměr částic (cm)

P – hustota – těsnost částic, definovaná jako

$$P = \frac{N}{V} \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6}$$

kde: N – počet částic

V – objem prostředí

$\varphi(Pm)$ – funkční maximální těsnosti Pm

Pm – maximální těsnost částic ($\varphi(Pm) = Pm < 1$)

T_d – propustnost jednotlivé částice

Propustnost jednotlivé částice T_d byla pak definována (Dyuckaerts, 1955)

$$T_d = \frac{2}{(k \cdot c_0 \cdot d)^2} \cdot \left[1 - (1 + k \cdot c_0 \cdot d) \cdot e^{-k \cdot c_0 \cdot d} \right] \quad (8)$$

kde: k – přizpůsobený „extinkční“ koeficient molekul ($\text{l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$)

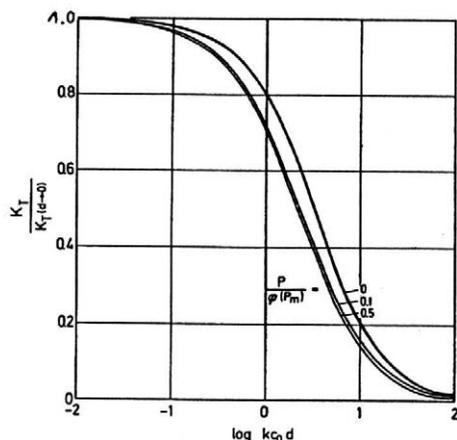
$k = 2,303 \epsilon$ (ϵ – extinkční koeficient, odpovídá veličině χ')

c_0 – molární koncentrace v částicích (mol.l^{-1})

d – průměr částice (cm)

Rovnice (7) říká, že absorpce při konstantní koncentraci c_0 stoupá s klesající velikostí částic a blíží se limitní hodnotě, která odpovídá molekulárně dispergované látce, tedy $d \rightarrow 0$. Při splnění limitní podmínky již plně platí Lambert-Beerův zákon.

Grafické vyjádření vlivu velikosti částic na optickou absorpci částic v heterogenním systému ukazuje obr. 2, převzatý z publikace, kterou uveřejnil Kortüm (1969). Graf vyjadřuje funkční závislost poměrné absorpce $K_T/K_{T(d \rightarrow 0)}$ na parametru $\log k c_0 d$ pro různou poměrnou těsnost částic $P/\varphi(Pm)$. V intervalu $0,1 < k \cdot c_0 \cdot d < 10$ je zřejmý výrazný vliv velikosti částic na absorpci.



2. Vliv velikosti částic na poměrnou absorpci heterogenního roztoku – The effect of size of particles on relative absorption of heterogeneous solution

Při hodnotách parametru větších než 10 nebude již absorpce velikostí částic podstatně ovlivněna. Zvolené hranice parametru na ose x odpovídají těmto případům (Kortüm, 1969): hodnota c_0 se pohybuje v řádu 10, d v hodnotách 10^{-4} cm a k v rozmezí 10^2 až 10^5 . Pro exploatované oleje vychází $c_0 = 10-50$, $d \approx 2 \cdot 10^{-4}$ cm a $k = 10^3-10^4$.

Použijeme-li výsledek Meinickeho měření (Meinicke, 1990), který uvádí pro středně znečištěné oleje

(2,5 % h. m. HEO) extinkční modul $A' = \frac{E}{d} = 1,5 \cdot 10^3$ cm^{-1} a Paehrův poznatek (Paehr, 1990), že částice o průměru $d = 2 \cdot 10^{-4}$ cm jsou částice s největší četností, pak hodnota

$$k \cdot c_0 \cdot d = 2,3 \cdot \chi' \cdot c_0 \cdot d = 2,3 \cdot A' \cdot d = 2,3 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0,69$$

Pro hodnotu 0,69 vychází $\log k \cdot c_0 \cdot d = -0,16$, což odpovídá pásmu silnějšího vlivu velikosti částic na absorpci, a tím lze předpokládat, že optická absorpce exploatovaných olejů bude ovlivněna různým rozdělením velikosti částic. Vliv bude klesat se vzrůstající velikostí, koncentrací i extinkčním koeficientem částic.

b. NÁVRH SENZORU K RYCHLÉMU MĚŘENÍ OPTICKÉ PROPUSTNOSTI NEŘEDĚNÉHO VZORKU MOTOROVÉHO OLEJE

Řešení konstrukce senzoru vychází z těchto teoretických poznatků:

- platnost závislosti optické propustnosti heterogenního roztoku na koncentraci dispergovaných částic,
- maximální tloušťka vrstvy vzorku - 0,05 mm (vzhledem k extinkčnímu modulu oleje),
- nutnost použití úzkopásmového zdroje záření.

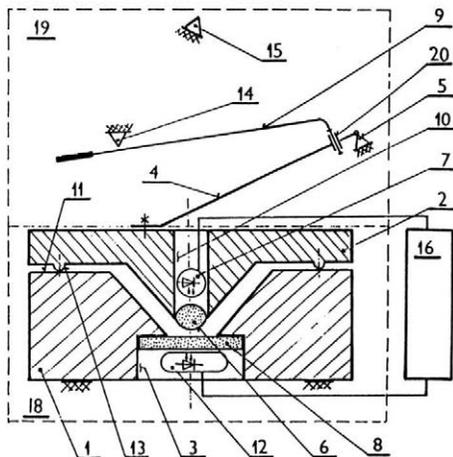
Konstrukce splňuje tyto diagnostické a obslužné podmínky:

- možnost měření obsahu NRL u olejů s maximálními hodnotami Conradsonova karbonizačního zbytku až 4 % CCT,
- zkoumaný vzorek nesmí být ředěn,
- objem vzorku by neměl přesáhnout množství cca tři kapek,
- vysoká reprodukovatelnost hodnot a snadná opakovatelnost měření,
- jednoduchost obsluhy, pouze zaškolení personálu,
- doba zkoušky kratší než 20 s,
- během provozu nesmí být porušovány zásady bezpečnosti a hygieny práce ani požární předpisy.

Návrh senzoru s pracovním označením RAKOR 34 zahrnuje jak konstrukční řešení, tak i řešení elektronických obvodů. Základní principy konstrukční i elektronické části jsou chráněny přihláškou vynálezu PV 2050-92, z které je převzatý následující stručný popis.

Obr. 3 znázorňuje jednotlivé části optického snímače ovládacího mechanismu (19) a blok (16) elektronických obvodů.

Optický snímač se skládá z misky (1), která má do otvoru (3) ve dně vloženu opticky propustnou zátku (8), pod níž je umístěn fotoelement (12). Na horní čelo misky (11) dosedají tři vypuklé doteky (13), které jsou součástí víka (2) jež má zároveň na spodní straně umístěnu do otvoru (10) vypuklou čočku (6). Za čočkou (6) je umístěn druhý fotoelement (7). Při uzavřeném optickém snímači, což znázorňuje obr.3, je velmi přesně vymežována mikrovrstva oleje mezi vypuklým povrchem čočky (6) a rovinným povrchem zátky (8). Tato vrstva je prozařována fotoelementy (7) a (12), přičemž



3. Schéma optického senzoru - Diagram of optical sensor

- 1 - miska - dish
- 2 - víko - cover
- 3 - dolní otvor misky - lower opening of dish
- 4 - pružné rameno - flexible arm
- 5 - ložisko - bearing
- 6 - vypuklá čočka - convex lens
- 7 - fotoelement - photoelement
- 8 - opticky propustná zátká - optically permeable plug
- 9 - ovládací páka - control lever
- 10 - otvor víka - opening of cover
- 11 - horní čelo misky - upper face of dish
- 12 - fotoelement - photoelement
- 13 - tři vypuklé doteky - three convex contacts
- 14, 15 - aretační body - arrestment points
- 16 - blok elektronických obvodů - block of electronic circuits
- 17 - distanční mezikruží - distance circular ring
- 18 - sestava uzavřeného snímače - assembly of closed sensor
- 19 - ovládací mechanismus - control mechanism
- 20 - ložisko - bearing

poměr okamžitého vyzářeného a přijatého modulovaného záření je vyhodnocován blokem (16) elektronických obvodů jako informace o obsahu nečistot zkoumaného oleje. Blok (16) elektronických obvodů zpracovává analogové signály, digitalizuje je, číslicově aproximuje průběh podle zjištěné regresní závislosti a samozřejmě provádí výstup na vlastní zobrazovač, event. na připojený počítač (např. kategorie IBM-PC).

Přednosti konstrukčního řešení:

Je dosaženo opakovaného vymežování prosvětlované vrstvy oleje s vysokou přesností a dlouhodobou stabilitou. Je odstraněn vliv postupného znečišťování povrchů vymežujících vrstvy oleje, známý u pevných sond nebo skleněných mikrokvyet. Vymezení vrstvy oleje pomocí segmentů tvořených kulovým povrchem a rovinou odstraňuje vliv příčného posunutí fotoelementů na výsledek měření a možné kapilární jevy prodlužující dobu nebo dokonce znemožňující ustálení měřené hodnoty. Princip zavírání snímače senzoru odstraňuje vliv mechanických tření a vůlí mechanismu na velikost přítláčné síly víka snímače.

c. EXPERIMENTÁLNÍ VYŠETŘENÍ STATICKÉ PŘEVODNÍ CHARAKTERISTIKY SENZORU PRO VSTUPNÍ VELIČINU ODVOZENOU Z HODNOT LABORATORNÍCH ZKOUŠEK OLEJE

Úkolem, resp. cílem tohoto měření bylo vyhledat regresní model převodní funkce s největší mírou těsnosti závislosti, tzn. vyhledat druh nečistot, který dominantně ovlivňuje optickou propustnost zkoumaného oleje. Jde tedy o stanovení nejtěsnější regresní závislosti senzorem naměřených hodnot na vstupním parametru oleje daném údaji z laboratorního rozboru oleje. Samozřejmě, že musí jít o údaj laboratorní zkoušky buď přímo, nebo nepřímo popisující obsah nečistot, resp. NRL.

Způsob statistického vyhodnocení

Z hlediska statistického zpracování je to úloha nelineární regresní analýzy, přičemž z teoretického rozboru a předchozího měření při testování fotometrických přístrojů (B o h u s l á v e k, 1996) vyplývá, že jde o stanovení těsnosti exponenciální funkce $y = e^{(a + bx)}$. Bude vyšetřována největší těsnost pomocí korelačního indexu pro různě zvolený typ vstupní proměnné, resp. vstupního parametru. Korelační index podává informaci o tom, jak těsně se empiricky naměřené hodnoty přimykají k vypočtené regresní funkci a také o správné volbě typu regresní funkce (M a c h á č e k, M a j e r, 1990). Pro počáteční statistické vyhodnocení byl použit program STATGRAPHICS, který k odhadu regresních parametrů používá metodu nejmenších čtverců a k hodnocení kvality nelineárního regresního modelu využívá matematicko-grafických metod (K o s c h i m e t a l., 1992). Získat optimální výsledky u úloh nelineární regresní analýzy pomocí tohoto programu nebývá jednoduché, a to vzhledem k požadavku na relativně přesné zadání vstupních hodnot. Z tohoto důvodu byly výsledky měření zpracovány ještě dalším statistickým programem novější provenience od firmy Microcal Software (USA).

Volba vstupních parametrů

K regresní analýze byly použity tři vstupní veličiny vytvořené ze dvou hodnot laboratorních rozborů vzorků oleje: stanovení Conradsonova karbonizačního zbytku a stanovení popela.

Většina diagnostických přístrojů T.D.P. uvádí dobrou korelační závislost měřených hodnot buď na hodnotách laboratorního HEO-testu, nebo na obsahu Conradsonova karbonizačního zbytku (CCT). Vždy jde o hmotnostní podíl látek vyjádřený procenticky, který mimo jiné zahrnuje počáteční hmotnostní podíl minerálních přísad i hmotnostní podíl částic vzniklých ořem, nebo prachových částic vzniklých vniknutím do mazacího systému z vnějšího prostředí. Protože hodnotu HEO-testu je obvykle nesnadné přesně stanovit a mezi oběma veličinami je těsný lineární vztah (P a -

e h r 1992), byla jako první parametr použita hodnota CCT.

Druhý vstupní parametr, označený jako přírůstek hodnoty Conradsonova karbonizačního zbytku Δ_1 CCT, eliminuje rozdílný počáteční podíl minerálních látek v čistém oleji, především D-D přísad majících malý koeficient absorpce světla a velkou specifickou hmotnost a činí

$$\Delta_1 \text{CCT} = (\text{CCT})_e - (\text{CCT})_p \quad (9)$$

kde: $(\text{CCT})_e$ – naměřená hodnota CCT exploatovaného oleje (% h. m.)
 $(\text{CCT})_p$ – počáteční hodnota CCT čistého oleje (% h. m.)

Rozdílnost podmínek dokladuje počáteční obsah CCT v rozmezí 0,35 až 2 % h. m. CCT u různých druhů čistých motorových olejů. Lze předpokládat, že způsobuje rozdílné výchozí podmínky, a tím i velký rozptyl hodnot na počátku průběhu u regresní závislosti.

Třetí p a r a m e t r je stanoven na základě předpokladu, že optickou propustnost oleje dominantně ovlivňuje obsah uhlikatých karbonizujících látek (saze, karbonu atd.), přičemž je nutné vyloučit odchylky vzniklé extrémním obsahem ořevých částic nebo extrémním obsahem prachových částic. Podíl prachových (křemíkatých) částic a částic ořevých kovů můžeme zjistit jako základní součást popela vzorku oleje. Ten také obsahuje ještě počáteční popelnaté látky čistého vzorku oleje. Celkem přesně je možné přírůstek obsahu uhlikatých karbonizujících látek exploatovaného oleje vyčíslit

$$\Delta \text{CCT} = (\text{CCT})_e - ((\text{CCT})_p - p_p) - p_e \quad (10)$$

kde: p_p – počáteční obsah popela (% h. m.)
 p_e – popel exploatovaného oleje (% h. m.)

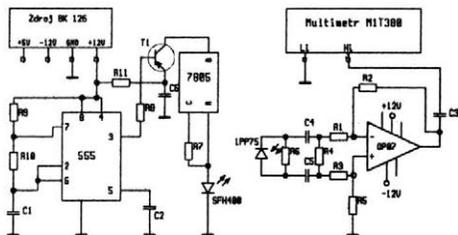
Druhý člen vztahu vyjadřuje podíl karbonizujících látek čistého oleje a činí obvykle 0,2 až 0,3 % h. m. Přihlédneme-li k chybám, které jsou normami zkoušek povoleny (např. hodnota CCT podle ČSN 65 6210 povoluje odchylku ± 10 %), a ke skutečnosti, že počáteční hodnoty olejů mají výrobce povolené odchylky, lze potom hodnotu druhého členu zanedbat. Jako třetí p a r a m e t r postačí vyčíslit parametr

$$\Delta_2 \text{CCT} = (\text{CCT})_e - p_e \quad (11)$$

kteřý rovněž dobře charakterizuje přírůstek uhlikatých karbonizujících látek – částic.

Příprava vzorků oleje a postup měření

Měření bylo provedeno na souboru 32 vzorků exploatovaného oleje, získaných z VÚPM Benzina, a. s., a MHD Autobus Praha. U všech vzorků byl znám druh oleje a byl stanoven Conradsonův karbonizační zbytek podle ČSN 65 6210. Stanovení bylo provedeno dvakrát, pokud se hodnoty nelišily víc než o 20 %, jinak se dělalo další měření. Ze dvou hodnot s odchylkou menší než 20 % byla stanovena průměrná hodnota. Obdobně byl u vzorků stanoven obsah popela podle ČSN 65 6221. Před měřeními byly vzorky olejů standardním postupem homogenizovány.



4. Schéma vyhodnocovacích obvodů – Diagram of plotting circuits
zdroj BK 126 – source BK 126

K měření byl použit senzor RAKOR 34 a vyhodnocovací zařízení (obr 4). Při měření tímto senzorem se plnění, a tím i měření opakovalo třikrát, ze zjištěných hodnot byl vypočítán průměr a směrodatná odchylka.

VÝSLEDKY

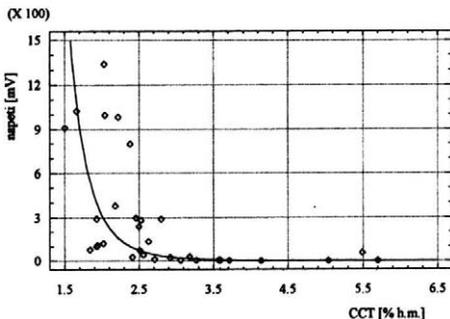
Výsledky měření jsou souhrnně uvedeny v tab. I. Údaje byly dále zpracovány programem Statgraphics za účelem stanovení nejtěsnějších regresních závislostí pro tři různě zvolené nezávislé (vysvětlující) proměnné a jednu závisle proměnnou, konkrétně napětí na výstupu senzoru RAKOR 34. Procedurou Simple Regression programu STATGRAPHICS byly nejprve vyšetřeny prvotní odhady regresních závislostí s nejpříznivějším indexem korelace I_{YX} .

Pro závislost výstupního napětí senzoru na hodnotě Conradsonova karbonizačního zbytku vzorku oleje $u = f(\text{CCT})$ byla jako nejtěsnější získána mocnná závislost $y = ax^b$, u níž byl dosažen index korelace $I_{YX} = 0,81$ a index determinace 65,64 %. Regresní závislost zachycuje obr. 5.

Pro zadanou druhou vysvětlující veličinu $\Delta_1 \text{CCT}$, tedy pro závislost $u = f(\Delta_1 \text{CCT})$, byl získán nejtěsnější regresní model popsaný exponenciální závislostí $y = e^{a+bx}$ s indexem korelace $I_{YX} = 0,888$ a indexem determinace 78,9 %. Regresní závislost zachycuje graf na obr. 6.

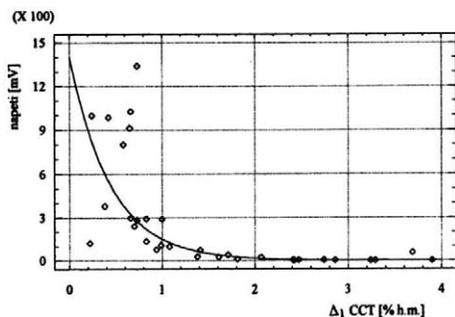
Pro zadanou třetí vstupní proměnnou $\Delta_2 \text{CCT}$ byla získána jako nejtěsnější regresní model exponenciální funkce $y = e^{a+bx}$, jejíž průběh je znázorněn na obr. 7. Kritéria procedury hodnotící těsnost závislosti činila: index korelace $I_{YX} = 0,98$, index determinace 97 %.

Nelineární regresní analýza byla provedena procedurou NONLIN programu STATGRAPHICS pouze pro třetí vybranou vstupní proměnnou $\Delta_2 \text{CCT}$, protože při posouzení získaných průběhů závislostí a kritérií těsnosti je jednoznačně nejlepším regresním modelem pro tuto vstupní proměnnou. Hodnoty regresních koeficientů získané v proceduře Simple Regression byly vstupními parametry pro zadanou exponenciální funkci. Analýzou byl získán regresní model, posaný exponenciální funkcí

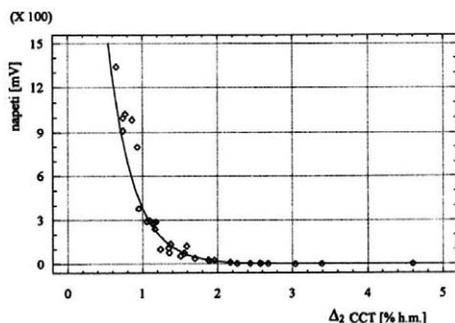


5. Regresní model závislosti napětí senzoru na hodnotě CCT – Regression model of dependence of sensor voltage on CCT voltage

napětí – voltage value



6. Regresní model závislosti napětí senzoru na parametru $\Delta_1 \text{CCT}$ – Regression model of dependence of sensor voltage on $\Delta_1 \text{CCT}$ parameter



7. Regresní model závislosti napětí senzoru na parametru $\Delta_2 \text{CCT}$ – Regression model of dependence of sensor voltage on $\Delta_2 \text{CCT}$ parameter

$$y = e^{(9,2814 - 3,1553 x)} \quad (12)$$

s indexem determinace (R-squared) = 0,953395 a indexem korelace $I_{YX} = 0,9764$. Průběh regresní závislosti je zachycen na obr. 8 a je z něho zjevně vidět, že

I. Výsledky měření pevných nečistot v exploatovaných motorových olejích – Results of measurements of solid contaminants in exploited engine oils

Pořadí vzorku ¹	Označení vzorku ²	Typ oleje ³	CCT _p	CCT _ε	p _ε	CCT _ε -p _ε	CCT _ε -CCT _p	Měřená hodnota ⁴ (mV)	
			% h. m.					φ χ	s _i
1	17	M5ADX	0,85	1,50	0,76	0,74	0,65	912,3	0,41
2	16	M6AD	0,90	1,56	0,89	0,67	0,66	1 025,1	1,03
3	18	M6AD	0,90	1,84	0,48	1,36	0,94	77,5	0,24
4	15	M7ADX	1,10	1,93	0,87	1,06	0,83	292,0	0,85
5	14	M5ADX	0,85	1,93	0,69	1,24	1,08	99,2	0,24
6	11	M6AD	0,95	1,94	0,59	1,35	0,99	108,1	0,21
7	510b	M7ADSIII	1,80	2,02	0,73	1,29	0,22	122,1	0,12
8	840	M6ADSII	1,30	2,03	1,38	0,65	0,73	1 340,2	0,45
9	L6	M7ADSIII	1,80	2,04	1,29	0,74	0,24	997,9	0,31
10	L17	M7ADSIII	1,80	2,18	1,23	0,95	0,38	380,1	0,14
11	L1	M7ADSIII	1,80	2,22	1,36	0,86	0,42	985,5	0,53
12	L2	M7ADSIII	1,80	2,38	1,45	0,93	0,58	800,3	0,42
13	19	M8AD	0,80	2,41	0,45	1,96	1,61	26,2	0,08
14	L18	M7ADSIII	1,80	2,46	1,36	1,10	0,66	297,8	0,23
15	L8	M7ADSIII	1,80	2,50	1,33	1,17	0,70	240,2	0,20
16	12	M7ADX	1,10	2,51	0,95	1,56	1,41	73,6	0,15
17	L4	M7ADSIII	1,80	2,53	1,38	1,15	0,73	282,3	0,31
18	755b	M5ADX	0,85	2,56	0,86	1,70	1,71	40,0	0,05
19	LX	M7ADSIII	1,80	2,63	1,26	1,38	0,83	135,2	0,08
20	20	M6AD	0,90	2,71	0,54	2,17	1,81	10,5	0,01
21	L3	M7ADSIII	1,80	2,80	1,62	1,18	1,00	289,9	0,09
22	756a	M5ADX	0,85	2,92	1,03	1,89	2,07	23,0	0,05
23	21	M5AD	0,65	3,06	0,62	2,44	2,41	4,9	0,008
24	L15	M7ADSIII	1,80	3,18	1,30	1,88	1,38	27,5	0,009
25	L9	M5ADX	0,85	3,27	1,01	2,26	2,42	3,2	0,007
26	574	M7ADX	1,10	3,57	1,00	2,57	2,47	4,7	0,005
27	756b	M5ADX	0,85	3,59	1,01	2,58	2,74	3,9	0,004
28	788a	M5ADX	0,85	3,71	1,03	2,68	2,86	2,6	0,003
29	788b	M5ADX	0,85	4,14	1,10	3,04	3,29	0,4	0
30	510a	M7ADSIII	1,80	5,04	1,65	3,39	3,24	0,4	0
31	L16	M7ADSIII	1,80	5,49	3,98	1,51	3,69	55,3	0,06
32	582	M7ADSIII	1,80	5,70	1,10	4,60	3,90	0,0	0

φ χ – průměrná hodnota – average value

s_i – směrodatná odchylka – standard deviation

¹sequence of sample, ²marking of sample, ³type of oil, ⁴measured value

křivka závislosti je v tomto případě nejlépe proložena body naměřených hodnot.

Vzhledem ke známým nedostatkům staršího programu STATGRAPHICS byla nelineární regresní analýza provedena dalším statistickým programem ORIGIN firmy Microcal. Program nalezl regresní model exponenciální funkce popsany výrazem

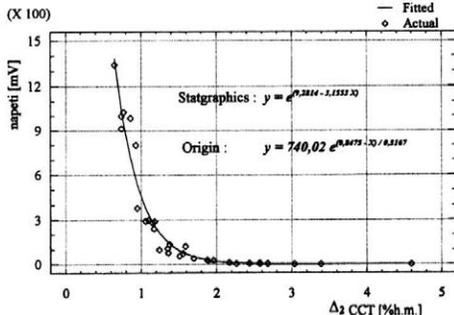
$$y = 740,20 e^{(0,8475-x)0,3167} \quad (13)$$

přičemž průběh křivky byl shodně proložen body naměřených hodnot se stejným F-testem regresní funkce i shodným indexem determinace (0,953395) jako při analýze prvním způsobem. O shodnosti regresních modelů (12) a (13) se můžeme snadno

přesvědčit matematickou úpravou vztahu (13) tak, že regresní koeficient $a = 740,02$ převedeme do exponentu.

ZÁVĚR

Z teoretické analýzy měření optické propustnosti heterogenního roztoku (exploatovaného motorového oleje) vyplynulo, že závislost propustnosti na koncentraci dispergovaných pevných nečistot rovněž sleduje Lambert-Beerův zákon. Bylo zjištěno, že optická absorpce exploatovaných olejů je ovlivněna různým rozdělením velikostí částic a že tento vliv klesá se vzrůstající veli-



8. Regresní model převodní charakteristiky senzoru získaný procedurou NONLIN programem STATGRAPHICS a programem ORIGIN – Regression model of transfer characteristics of sensor obtained through the procedure NONLIN by STATGRAPHICS and ORIGIN programs

kostí částic, jejich koncentrací i extinkčním koeficientem.

Byl navržen nový typ senzoru, který umožňuje měření obsahu NRL u olejů s maximálními hodnotami Conradsonova karbonizačního zbytku až 4 % h. m. Zkoumaný vzorek nemusí být ředěn a jeho objem činí dvě až tři kapky. Měřicí postup vykazuje vysokou reprodukovatelnost hodnot a doba odměru i s přípravou vzorku nepřesáhne 20 s. Typická je jednoduchost obsluhy.

Byla hledána vstupní veličina odvozená z hodnot laboratorních zkoušek, která daleko těsněji koreluje s hodnotami optické propustnosti oleje. Tak byly získány výsledky regresní analýzy pro tři vstupní parametry zvolené na základě znalostí o metodách laboratorních zkoušek a optických i fyzikálních vlastnostech jednotlivých složek exploátovaného motorového oleje.

Nejlépeší výsledků bylo dosaženo u třetí funkční závislosti s nezávisle proměnnou danou parametrem $\Delta_2\text{CCT}$ podle vztahu (11) stanoveným jako rozdíl mezi změnou hodnotou CCT a popelem exploátovaného oleje, o kterém lze tvrdit, že představuje spalitelné karbonizující látky převážně uhlíkatého původu. U tohoto modelu sledovaly body korelačního pole měřených hodnot nejtěsněji prvotní odhad regresní závislosti a nevykazovaly ani žádné individuální odchylky. Z těchto důvodů byla provedena nelineární analýza jen pro třetí parametr.

Detailní nelineární regresní analýza byla provedena procedurou NONLIN určenou pro stanovení regresních nelineárních průběhů. Pro třetí parametr byl zís-

kán výhodněji proložený průběh regresní funkce s rovnicí

$$y = e^{(9,2814-3,1553 \cdot x)}$$

a byly dosaženy hodnoty indexu korelace $I_{YX} = 0,9764$ a hodnoty F -testu udávající také velmi silnou korelaci získané funkce. Shodné výsledky dosažené programem Origin potvrdily vysokou pravděpodobnost optimálního řešení nelineárního regresního modelu, který je popsán exponenciální funkcí.

Na závěr je možné konstatovat, že závislost optické propustnosti exploátovaného oleje na koncentraci karbonizujících látek sleduje exponenciální závislost obdobně jako závislost optické propustnosti roztoku na jeho koncentraci (Lambert-Beerův zákon). Přístroje založené na fotometrickém principu jsou schopny výtečně měřit obsah karbonizujících látek v exploátovaném motorovém oleji tvořený obsahem sazí, karbonů, tvrdých a měkkých pryskyřic atd. Koncentrace těchto nečistot velmi silně sleduje stárnutí oleje. Naopak zjišťování obsahu tvrdých nečistot vnějších (prach) a ořetových (kovy) je touto metodou problematické a při stanoveném požadavku na měření malých nebezpečných koncentrací je nemožné. K určení obsahu těchto nečistot musí být použity jiné metody (ferografie, polarografie apod.).

LITERATURA

- BOHUSLÁVEK, Z.: Zjišťování pevných nečistot v exploátovaných motorových olejích provozními diagnostickými přístroji. Zeměd. Techn., 42, 1996 (4): 131–135.
- BROŽ, J. et. al.: Základy fyzikálních měření, část B. Praha, SNTL 1974. 756 s.
- DUYCKAERTS, G.: Spektrochim. Acta, 25, 1955 (7).
- FELDER, B.: Hevl. Chim. Acta, 47, 1964: 488.
- KORTÚM, G.: Kolorimetrie und Spektroskopie. Berlin, Springer Verlag 1962. 421 s.
- KORTÚM, G.: Reflexionspektroskopie. Berlin, Springer Verlag 1969. 375 s.
- KOSCHIM, F. et. al.: Statgraphics. Praha, GRADA 1992. 360 s.
- KROSSIGNANI, B. – PORTO, P.: Statistical Properties of scattered Light. New York, AC Press 1975. 201 s.
- MACHÁČEK, O. – MAJER, F.: Statistika II (Skriptum). Praha, PEF VŠZ 1990. 264 s.
- MEINICKE, W.: Prüfverfahren zur visuellen Abschätzung des Gehaltes an festen Verunreinigungen von Motorölen. Schmierungstechnik, Berlin, 2/1, 1990: 217–218.
- PAEHR, G. H.: Beitrag zur Aussagekraft von Gebrauchtsölanalysen bei Nutzfahrzeugdieselmotoren. VDI Verlag 1991. 140 s.
- PLŠKO, E.: Praktické základy optických metod v chemii. Bratislava, SNTL 1963. 336 s.

Došlo 5. 2. 1996

Kontaktní adresa:

Ing. Zdeněk Bohuslávka, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/24 38 33 00, fax 02/39 33 03, e-mail: bohuslavka@tech.vsz.cz

PARTICLES FLIGHT MODELLING AND OPTIMISATION FOR TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MECHANISED AGRICULTURE: IDENTIFICATION PROBLEMS

MODELOVÁNÍ LETU ČÁSTIC A OPTIMALIZACE TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ PŘI MECHANIZACI ZEMĚDĚLSTVÍ: URČOVÁNÍ KOEFICIENTŮ

V. G. Vitliemov, I. V. Ivanov, R. R. Tanov

University of Rousse, Bulgaria

ABSTRACT: The present work introduces a method for identifying the coefficients in the aerodynamic forces laws as extreme problems solutions of the mathematical model which describes the trajectory process of a projected particle. These solutions should satisfy experimental data for the boundary conditions of motion of a particle. The work analyses the relative deviation of the identified parameters at given variation of the experimental data from its nominal values. The preconditions for applying this method at modelling the aerodynamic influence on a particle of arbitrary shape are being defined.

particle's flight; aerodynamic influence; mathematical model; parametric identification; optimization

ABSTRAKT: Předložená práce představuje metodu určování koeficientů zákonů aerodynamických sil jako řešení extrémních problémů matematického modelu, který popisuje proces trajektorií projektované částice. Tato řešení by měla být v souladu s experimentálními údaji pro mezní podmínky pohybu částice. Práce analyzuje relativní odchylku určených ukazatelů při dané variantě experimentálních údajů z jejich nominálních hodnot. Jsou zde uvedeny předpoklady pro aplikaci této metody při modelování aerodynamického vlivu na částici libovolného tvaru.

let částic; vliv aerodynamiky; matematický model; určování parametrů; optimalizace

INTRODUCTION

Various technological processes in mechanised agriculture deal with the flight of projected in an air medium particles which represent bodies of poor streamlining and quite different dimensions, density and shape. This could quite impede the modelling of the aerodynamic influence upon them. Therefore, at defining the coefficients of the aerodynamic forces laws often some methods and procedures using experimental data are utilised (Law, Collier, 1972; Tsuji et al., 1985; Hofstee, 1992).

Very often the coefficient of aerodynamic resistance is calculated from the dependency $K_D = g/V_t^2$, after defining the terminal velocity V_t at particle's free fall in a still air medium or at air flow-around in a special air separator (Hofstee, 1992). The thus defined coefficient K_D corresponds to a mean value of the resistance force, arising at translatory motion with velocity V_t of particles with similar aerodynamic characteristics.

Observed deviations of the actual projected particle trajectory from the modelled with a constant coefficient K_D one are due to the complex law of variation of the resistance force as well as due to the influence

of other forces of less influence. A typical example of such a complementary influence on the particle is the Magnus force caused by its rotation, which could increase or decrease the flight length. As particles of arbitrary shape have chaotic rotation, to define this force is always a difficult task and it is nolens volens ignored.

Computer simulations of very similar trajectory processes of particles require adequately exact identification of the coefficient values in the models of the aerodynamic forces applied. This rather difficult task motivates the interest for some new identification problems arising for particles free flight.

A very attractive idea seems to be defining the coefficients K_D and K_L with the help of the classic mathematical model (Lokshin et al., 1992) describing the motion of the centre of mass P of the particle with a solid weightless shell having its form hinged to it. Thus the coefficients are being defined from the condition for satisfying the experimental data for the initial and terminal positions of the point P . In the present work this idea is used for identifying the aerodynamic forces coefficients as solutions to one-parametric optimal control problems of the point P trajectory process.

MATHEMATICAL MODEL

Let us consider the motion of the centre of mass P of a projected in a still air medium particle, described by the mathematical model proposed by Vitliemov et al. (1996). The initial state of the point P is defined by the parameters $V = V_0$, $\theta = \alpha$, $Y = H$, $X = 0$, while its terminal state by the condition $Y(X \equiv L) = 0$. We would presume that the values of V_0 , α , H , L have been experimentally defined.

With the help of the transformations:

$$x = \frac{X}{L}, y = \frac{Y}{L}, h = \frac{H}{L}, v = \frac{V^2}{Lg}, c = \frac{V_0^2}{Lg}, k = K_D L, \lambda = K_L \sqrt{\frac{L}{g}}$$

the model of Vitliemov et al. (1996) could be converted into the following dimensionless expressions

$$\dot{v} = \frac{-2(kv + \sin \psi)}{\cos \theta}, \quad v(0) = c \quad (1)$$

$$\dot{\theta} = \frac{\lambda \sqrt{v} - \cos \psi}{v \cos \theta}, \quad \theta(0) = \alpha$$

$$\dot{y} = \text{tg } \theta, \quad y(0) = h, \quad y(1) = 0$$

where: $\Psi = \theta + \gamma$
 $(\cdot) \equiv d/dx$
 $x \in [0; 1]$

IDENTIFICATION PROBLEMS FORMULATION

The mathematical model (1) includes two unknown parameters k and λ , which are to be identified. For each set of values of k and λ some trajectory process corresponds to the dynamic system (1) for which in general applies $y(1) \neq 0$. The proximity of the chosen values to the required ones of k and λ for which $y(1) = 0$ may be evaluated through the terminal functional $\Phi[y(1)] = [y(1)]^2 - h^2$ or its equivalent integral functional

$$J = \int_0^1 \left(\frac{\partial \Phi(y)}{\partial y} \frac{dy}{dx} \right) dx = 2 \int_0^1 (y \text{tg } \theta) dx \quad (2)$$

To provide a unique solution to the boundary-value problem (1) it is necessary to separate the identification of the parameters k and λ .

Let us consider an oval particle with already defined coefficient k which flies with a considerable Magnus effect. For this particle from (1) and (2) we could obtain the following extreme problem for identifying the parameter $u \equiv \lambda$:

$$u^* = \arg \min_u \left\{ J = \int_0^1 (y \text{tg } \theta) dx; \dot{v} = \frac{-2(kv + \sin \psi)}{\cos \theta} \right. \quad (3)$$

$$\left. v(0) = c, \dot{\theta} = \frac{u \sqrt{v} - \cos \psi}{v \cos \theta}, \theta(0) = \alpha, \dot{y} = \text{tg } \theta, y(0) = h \right\}$$

In cases of a particle of arbitrary shape we could treat $u \equiv k$ as a generalised control parameter of the model (1). Thus, the influence of difficulty to define

dynamic factors upon the flight length may be balanced by changing the quantity K_D in the resistance force law. Under this precondition the extremal problem for defining the generalised coefficient k takes the form

$$u^* = \arg \min_u \left\{ J = \int_0^1 (y \text{tg } \theta) dx; \dot{v} = -2(\text{tg } \theta + uv \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta}) \right. \quad (4)$$

$$\left. v(0) = c, \dot{\theta} = \frac{-1}{v}, \theta(0) = \alpha, \dot{y} = \text{tg } \theta, y(0) = h \right\}$$

where it is a priori accepted that $u \geq 0$, $\gamma = 0$, $\lambda = 0$

NECESSARY CONDITIONS FOR OPTIMUM

An effective method for solving problems of parametric optimization of dynamic systems is developed by Vincent, Grantham (1981). Using the obtained results there are necessary conditions for optimum (Theorem 6.1, p.199), the problems (3) and (4) are transformed into the following boundary-value problems

$$\dot{v} = \frac{-2}{\cos \theta} (kv + \sin \psi), \quad v(0) = c \quad (5)$$

$$\dot{\theta} = \frac{u^* \sqrt{v} - \cos \psi}{v \cos \theta}, \quad \theta(0) = \alpha$$

$$\dot{y} = \text{tg } \theta, \quad y(0) = h$$

$$\dot{\Lambda}_1 = \frac{-2}{\cos \theta} [k\Lambda_1 + \Lambda_2 [(kv + \sin \psi) \text{tg } \theta + \cos \psi]]$$

$$\dot{\Lambda}_2 = \frac{-1}{v \cos \theta} \left\{ \frac{\Lambda_1}{2v} (2 \cos \psi - u^* \sqrt{v}) + \Lambda_2 [\sin \psi + (u^* \sqrt{v} - \cos \psi) \text{tg } \theta] + \sqrt{v} \right\}$$

$$\dot{\Lambda}_3 = (1 + \text{tg}^2 \theta) \Lambda_2, \quad \Lambda_1(0, u^*) \equiv \Lambda_2(0, u^*) \equiv \Lambda_3(0, u^*) = 0$$

$$\dot{\Gamma} = (1 + \text{tg}^2 \theta) \Lambda_2 + \Lambda_3 \text{tg } \theta, \quad \Gamma(0, u^*) \equiv \Gamma(1, u^*) = 0$$

and

$$\dot{v} = -2(\text{tg } \theta + u^* v \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta}) \quad (6)$$

$$v(0) = c, \dot{\theta} = \frac{-1}{v}, \theta(0) = \alpha, \dot{y} = \text{tg } \theta, y(0) = h$$

$$\dot{\Lambda}_1 = -2 \left[v + u^* \Lambda_1 + \Lambda_2 (u^* v \text{tg } \theta + \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta}) \right] \sqrt{1 + \text{tg}^2 \theta}$$

$$\dot{\Lambda}_2 = \frac{-\Lambda_1}{v^2}, \quad \Lambda_1(0, u^*) \equiv \Lambda_2(0, u^*) = 0$$

$$\dot{\Lambda}_3 = (1 + \text{tg}^2 \theta) \Lambda_2, \quad \Lambda_3(0, u^*) = 0$$

$$\dot{\Gamma} = (1 + \text{tg}^2 \theta) \Lambda_2 + \Lambda_3 \text{tg } \theta, \quad \Gamma(0, u^*) \equiv \Gamma(1, u^*) = 0$$

where: $\Lambda_1(x, u^*) = \frac{\partial v(x, u^*)}{\partial u}, \Lambda_2(x, u^*) = \frac{\partial \theta(x, u^*)}{\partial u}$,

$\Lambda_3(x, u^*) = \frac{\partial y(x, u^*)}{\partial u}, \Gamma(x, u^*) = \frac{\partial J(x, u^*)}{\partial u}$ are the functions of sensitivity of the phase coordinates v, θ, y and the optimum

criterion J to variation of the control parameter u ; u^* – the required optimum value of u

COMPUTATIONAL PROCEDURE

The problems (5) and (6) have a higher dimension than the initial boundary-value problem (1), because they contain sensitivity models for the parameter u . Additional information obtained for these models could be used to speed up the u^* -localisation iteration process.

The examined boundary-value problems have just one unknown parameter namely u^* and one condition of identification $\Gamma(1, u^*) = 0$. This facilitates their numerical solution through the shooting method (Stoer, Bulirsch, 1993). With an aim to overcome some difficulties of the non-linear boundary-value problems with an unknown parameter in Vitliemov (1993) a computational procedure VINCENT 1.0 has been developed, which implements an improved version of the standard shooting method algorithm. The example identification problems examined below have been solved using this procedure.

EXAMPLES

Example 1: K_L Identification

The work of Tsuji et al. (1985) analyses the Magnus force effect upon a spherical particle's flight, falling with no initial rotation from a varying height H_0 and bouncing off an inclined at an angle γ plane (Fig. 1). Tab. I shows the measured values for V_0 , α , L , obtained for two values of H_0 .

For a spherical particle the parameter K_D could be calculated with a greater precision from the experimental dependency (Tsuji et al., 1985)

$$K_D = \frac{3\rho_a}{4\rho_p d} \left(K_1 + \frac{K_2}{Re} + \frac{K_3}{Re^2} \right) \quad (7)$$

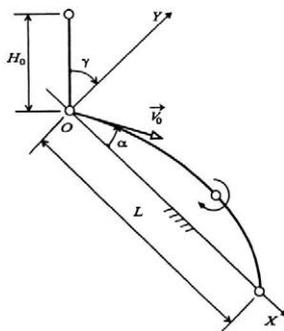
where: K_1, K_2, K_3 – coefficients given in Tab. II
 $d = 0.005$ m
 $\rho_a = 1.2$ kg/m³
 $\rho_p = 1040$ kg/m³

I. Results for Example 1

H_0	γ	V_0	α	L	Re	K_L
m	rad	m/s	rad	m	–	1/s
0.2	$-\pi/4$	1.602	0.770	0.696	527–1113	–0.0350
0.3	$-\pi/4$	1.898	0.807	0.980	623–1306	–0.0778

II. Values of coefficients in formula (7)

Re	K_1	K_2	K_3
$10^2 < Re < 10^3$	0.3644	98.33	–2 778
$10^3 < Re < 5 \cdot 10^3$	0.3571	148.62	–47 500



1. Schematic diagram of a spherical particle's flight after bouncing off an inclined plane

The data stated has been utilised for identifying the coefficient K_L using the model problem (5). The defined values of K_L and the intervals of variation of Reynolds number are given in Tab. I.

Fig. 2 shows the results from the investigation of the influence of the relative errors of V_0 , α , γ and L upon the relative error $\delta K_L = \Delta K_L / K_L$. The data for $H_0 = 0.3$ m from Tab. I have been accepted for nominal values. The dependencies thus obtained show high level of parametric sensitivity of the error δK_L , the dominant influence being that of the variation of V_0 from its nominal value. For example, a relative error of $\delta K_L < 10\%$ could be achieved only if $\Delta V_0 / V_0 < 0.17\%$.

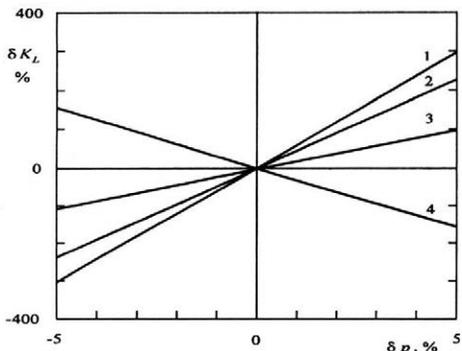
The presence of an impact influence on the investigated particle and the established high relative error δK_L at experimental data variations make the method of Tsuji et al. (1985) for defining the Magnus effect unusable for particles of arbitrary shape.

Example 2: K_D Identification

In Saraydarov (1972) there are some data from experimental investigations on spreading particles ($d = 0.003 + 0.005$ m) of granular mineral fertilizer by means of a cone centrifugal apparatus. The particles are

projected from a height $H = 0.7$ m with a velocity V_0^0 ($V_0 = 21.2$ m/s; $\alpha = 0.0931$ rad) identified by means of a high speed photography.

The obtained distribution of the particles quantity Q on a horizontal surface ($\gamma = 0$) is shown in Fig. 3. Most



2. Relative error δK_L dependency on δp

- 1 - $\delta p = \Delta V_0/V_0$ 2 - $\delta p = \Delta \gamma/\gamma$
 3 - $\delta p = \Delta \alpha/\alpha$ 4 - $\delta p = \Delta L/L$

of the particles ($Q = 34\%$) have reached a distance $L = 8$ m, and the minimum and maximum flight distances corresponding to $Q = 1\%$ are $L_1 = 4.5$ m and $L_2 = 10$ m respectively.

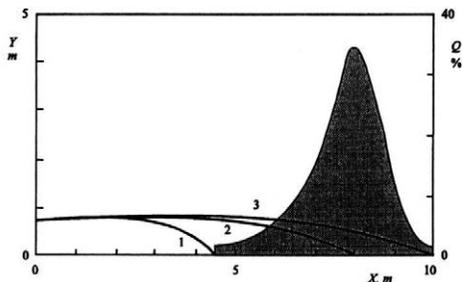
By solving problem (6) for the stated distances L_1 , L , L_2 the following values were obtained for the coefficient K_D : 0.400 m^{-1} ; 0.115 m^{-1} ; 0.0540 m^{-1} . Fig. 3 shows the simulated trajectories for thus defined values of the coefficient K_D .

Fig. 4 illustrates a considerably lower than Fig. 2 level of relative error $\delta K_D = \Delta K_D/K_D$ at varying experimental data for the case of $L = 8$ m. The precision of K_D is limited by the precision at defining the characteristics of vector V_0 . The required precision for this purpose could be provided by means of a high speed photography or filming, or with the more precise method proposed by Hofstee (1994).

CONCLUSION

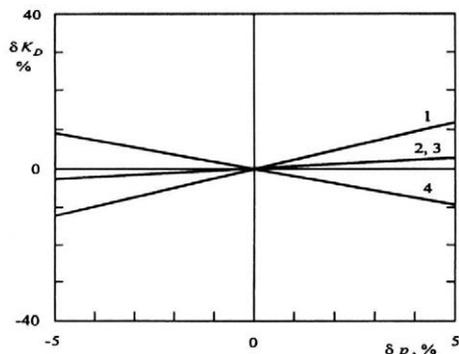
The main idea of the proposed method for identifying the coefficients K_L and K_D consists in defining them as solutions to one-parametric optimizational problems (3) and (4) for the dynamic model (1) which describes the trajectory process of the projected particle centre of mass P at satisfying experimental data for its initial state (V_0 , α , H) and its terminal position (L). The formed boundary-value problems (5) and (6) are solved with a computational procedure based on the shooting method.

The observed high sensitivity of the coefficient K_L to variations in experimental data values significantly limits the possibilities for its reliable identification through the Tsuji et al. (1985) method. With regard to this, treating the parameter K_D in problem (4) as a generalised aerodynamic coefficient has an important methodological significance.



3. Typical paths and the distribution law for the particles quantity

- 1 - $K_D = 0.400 \text{ m}^{-1}$
 2 - $K_D = 0.115 \text{ m}^{-1}$
 3 - $K_D = 0.0540 \text{ m}^{-1}$



4. Relative error δK_D dependency on δp

- 1 - $\delta p = \Delta V_0/V_0$ 2 - $\delta p = \Delta \alpha/\alpha$
 3 - $\delta p = \Delta H/H$ 4 - $\delta p = \Delta L/L$

At sufficient precision of the data used for the vector V_0 the method proposed here could be used for modelling the aerodynamic influence on projected particles of arbitrary shape.

NOTATION

- P - particle centre of mass
 Re - Reynolds number (-)
 X, Y - particle P position co-ordinates (m)
 H - initial height (m)
 L - flight length (m)
 d - characteristic particle dimension (m)
 α - projection angle (rad)
 γ - ground incline angle (rad)
 K_D - aerodynamic resistance coefficient (m^{-1})
 K_L - coefficient at the Magnus force (s^{-1})
 V, θ - velocity coordinates (m/s; rad)
 V_0, V_t - values of the initial and the terminal velocities (m/s)

g – gravitational acceleration (m/s^2)
 ρ_a, ρ_p – air and particle densities (kg/m^3)

REFERENCES

- HOFSTEE, J. W.: Handling and spreading of fertilizers. Part 2: Physical properties of fertilizer, measuring methods and data. *J. Agric. Engng Res.*, 53, 1992 (2): 141–162.
- HOFSTEE, J. W.: Handling and spreading of fertilizers. Part 3: Measurement of particle velocities and directions with ultrasonic transducers, theory, measurement system, and experimental arrangements. *J. Agric. Engng Res.*, 58, 1994 (1): 1–16.
- LAW, S. E. – COLLIER, J. A.: Aerodynamic resistance coefficients of agricultural particulates determined by elutriation. *Trans. ASAE*, 16, 1973 (5): 918–921.
- LOKSHIN, B. Y. – PRIVALOV, V. A. – SAMSONOV, V. A.: An introduction to the problem of particles' and bodies' motion in a resistant medium. Moscow, Moscow State University Press 1992. 76 pp. (in Russian).
- SARAYDAROV, B. G.: An investigation on the operational process of the centrifugal fertilizer spreading machines. [Doctoral thesis.] VIMMESS – Rousse, 1972. 144 pp. (in Bulgarian).
- STOER, J. – BULIRSCH, R.: Introduction to numerical analysis. Berlin, Springer 1993. 660 pp.
- TSUJI, Y. – MORIKAWA, Y. – MIZUNO, O.: Experimental measurement of the Magnus force on a rotating sphere at low Reynolds numbers. *J. Fluids Engng*, 107, 1985 (4): 484–488.
- VINCENT, T. L. – GRANTHAM, W. J.: Optimality in parametric systems. New York, Wiley 1981. 243 pp.
- VITLIEMOV, V. G.: VINCENT 1.0: A procedure for one-parametric optimisation of non-linear dynamical systems in a fixed time interval. *Mechanics of Machines*, (Varna), 1, 1993 (1): 43–46 (in Bulgarian).
- VITLIEMOV, V. G. – IVANOV, I. V. – TANOV, R. R.: Particles flight modelling and optimisation for technological processes in mechanised agriculture: Flight simulation. *Zeméd. Techn.*, 42, 1996 (1): 1–4.

Received on February 6, 1996

Contact Address:

Asst. Prof. Venko G. Vitliev, Department of Mechanics 420A, University of Rousse, BG-7017 Rousse, Bulgaria, Tel.: (359 82) 44 50 75 72, Fax: (359 82) 45 51 45, E-mail: venvit@ait.ru.acad.bg

ÚSTŘEDNÍ ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ KNIHOVNA, PRAHA 2, SLEZSKÁ 7

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna v Praze (dále jen ÚZLK), která je jednou z největších zemědělských knihoven na světě, byla založena v roce 1926. Již od počátku šlo o knihovnu veřejnou. Knihovna v současné době obsahuje více než jeden milion svazků knih, cestovních zpráv, dizertací, literatury FAO, svázaných ročníků časopisů z oblasti zemědělství, lesnictví, veterinární medicíny, ekologie a dalších oborů. Knihovna odebírá 750 titulů domácích a zahraničních časopisů. Informační prameny získané do fondu jsou v ÚZLK zpracovávány do systému katalogů – je budován jmenný katalog a předmětový katalog jako základní katalogy knihovny a dále různé speciální katalogy a kartotéky. Počátkem roku 1994 přistoupila ÚZLK k automatizovanému zpracování knihovního fondu v systému CDS/ISIS.

Pro informaci uživatelů o nových informačních pramenech ve fondech ÚZLK zpracovává a vydává knihovna následující publikace: Přehled noviněk ve fondu ÚZLK, Seznam časopisů objednaných ÚZLK, Přehled rešerší a tematických bibliografií z oboru zemědělství, lesnictví a potravinářství, AGROFIRM – zpravodaj o přírůstcích firemní literatury (je distribuován na disketách), AGROVIDEO – katalog videokazet ÚZLK.

V oblasti mezinárodní výměny publikací knihovna spolupracuje s 800 partnery ze 45 zemí světa. Knihovna je členem IAALD – mezinárodní asociace zemědělských knihovníků. Od září 1991 je členem mezinárodní sítě zemědělských knihoven AGLINET a od 1. 1. 1994 je depositní knihovnou materiálů FAO pro Českou republiku.

Knihovna poskytuje svým uživatelům následující služby:

Výpůjční služby

Výpůjční služby jsou poskytovány všem uživatelům po zaplacení ročního registračního poplatku. Mimopražští uživatelé mohou využít možnosti meziknihovní výpůjční služby. Vzácné publikace a časopisy se však půjčují pouze prezenčně.

Reprografické služby

Knihovna zabezpečuje pro své uživatele zhotovování kopií obsahů časopisů a následné kopie vybraných článků. Na počkání jsou zhotovovány kopie na přání uživatelů. Pro pražské a mimopražské uživatele jsou zabezpečovány tzv. individuální reproslužby.

Služby z automatizovaného systému firemní literatury

Jsou poskytovány z databáze firemní literatury, která obsahuje téměř 13 000 záznamů 1 700 firem.

Referenční služby

Knihovna poskytuje referenční služby vlastních databází knižních noviněk, odebíraných časopisů, rešerší a tematických bibliografií, vědeckotechnických akcí, firemní literatury, videotéky, dále z databází převzatých – Celostátní evidence zahraničních časopisů, bibliografických databází CAB a Current Contents. Cílem je podat informace nejen o informačních pramenech ve fondech ÚZLK, ale i jiné informace zajímavější zemědělskou veřejnost.

Půjčování videokazet

V AGROVIDEU ÚZLK jsou k dispozici videokazety s tematikou zemědělství, ochrany životního prostředí a příbuzných oborů. Videokazety zaslá AGROVIDEO mimopražským zájemcům poštou.

Uživatelům knihovny slouží dvě studovny – všeobecná studovna a studovna časopisů. Obě studovny jsou vybaveny příručkovou literaturou. Čtenáři zde mají volný přístup k novinkám přírůstků knihovního fondu ÚZLK.

Adresa knihovny:

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna
Slezská 7
120 56 Praha 2

Výpůjční doba:

pondělí, úterý, čtvrtek:	9.00–16.30
středa	9.00–18.00
pátek	9.00–13.00

Telefonické informace:

vedoucí:	24 25 50 74, e-mail: IHOCH@uzpi.agrec.cz
referenční služby:	24 25 79 39/linka 520
časopisy:	24 25 66 10
výpůjční služby:	24 25 79 39/linka 415
meziknihovní výpůjční služby:	24 25 79 39/linka 304
Fax:	24 25 39 38
E-mail:	ÚZLK@uzpi.agrec.cz

CHANGE IN CELL WALL EXTENSIBILITY DURING GIBBERELLIN-REGULATED GROWTH OF PEA ROOTS

ZMĚNY PRŮTAŽNOSTI BUNĚČNÝCH STĚN PŘI GIBBERELINEM ŘÍZENÉM RŮSTU KOŘÍNKŮ HRACHU

E. Tanimoto¹, R. Yamamoto²

¹Biology Laboratory, College of General Education, Nagoya City University, Nagoya, Japan

²Laboratory of Biology and Chemistry, Tezukayama College, Nara, Japan

ABSTRACT: Mechanical properties of plant cell walls were studied on pea (*Pisum sativum* L.) roots by three types of methods: stress relaxation (constant strain), load-extension (constant strain rate) and creep (constant load). The three methods were compared with each other using gibberellin (GA) – regulated root elongation as a probe. GA-effect on mechanical properties of the cell wall was apparent when root cell walls were tested by creep and load-extension analyses at slow extension rate, whereas it was obscure in the stress-relaxation analysis after quick pre-extension. These results suggest that GA increases the extensibility of the root cell walls by affecting the slowly relaxing or high viscosity components of the cell wall.

pea; root; cell wall; relaxation; stress; creep; extensibility

ABSTRAKT: Příspěvek navazuje na starší originální práce autorů. Jde zejména o metodiku testování průtažnosti buněčných stěn, založenou na tahovém testování klíčků či kořínků v umrtveném stavu s použitím rovníce (1) s možností oddělit elasticitou a neelastickou část prodloužení. V práci je jako experimentální materiál použit hrách (*Pisum sativum* L., odr. Alaska) pěstovaný hydroponicky v roztocích, které byly posledních 24 hodin doplněny ancymidolem a různými dávkami gibberelinu. Asi 15 mm dlouhé apikální části vypěstovaných kořenů byly umrtveny pětiminutovým povařením v metanolu a pak testovány s použitím tahového relaxačního testu (asi pětimilimetrový úsek kořene ze vzdálenosti 2 až 7 mm od špičky kořene) a dvěma typy creepových zkoušek (load test v trhačce Tensiron – obr.1 a creep analysis v Reometru RE-33005 – obr.2). Všechny tři použité metodiky se od sebe trochu liší, ale dosažené výsledky jsou navzájem konzistentní. Vliv gibberelinu byl výrazný ve všech případech, v nichž převládala pomalá relaxace napětí. Naznačuje to, že gibberelin zvětšuje průtažnost buněčných stěn zejména působením na vysoce viskózní složky deformace buněčných stěn.

hrách; kořínky; buněčná stěna; relaxace; napětí; creep; průtažnost

INTRODUCTION

Plant cell enlargement is driven by cell wall expansion and water absorption of young cells which have developing primary cell walls. Cell wall expansion is controlled by cell wall extensibility and turgor pressure, a pressure from the inside (cytoplasm) against the cell wall. Thus, studies on physical and biochemical properties of the primary cell walls are inevitable for understanding the mechanism of plant cell enlargement.

Physical or mechanical behavior of cell wall has been studied by several types of methods in relation to plant growth (Cleland, 1971; Masuda, 1978; Taiz, 1984). Instron (constant strain rate) and stress-relaxation (constant strain) methods have been more extensively used because of the ease and rapidity of the measurements, although creep (constant load) most closely resembles *in vivo* extension of plant cells.

Stems of liana plants and coleoptiles of cereals are rapidly growing organs which are very sensitive to a growth hormone, auxin. Using auxin-induced extension of cell walls as a probe, changes in mechanical properties of cell walls during auxin-induced elongation growth have been extensively studied by Instron and stress-relaxation methods. The Instron technique revealed that auxin increases the plastic and the elastic compliance within the early stage of auxin-induced elongation (Cleland, 1967; Masuda, 1968, 1969). The technique of stress-relaxation test has been applied to the analysis of auxin-induced changes in cell wall extensibility (Yamamoto et al., 1970; Cleland and Haughton, 1971) in attempting to describe cell wall properties by physically defined parameters. Yamamoto et al. (1974) analyzed stress relaxation curves of coleoptile cell walls using an empirically derived equation:

$$S = b \cdot \log \frac{t + T_m}{t + T_0} + c \quad (1)$$

where: S – stress
 b – relaxation rate (slope of the curve $\Delta S/\Delta \log t$)
 T_0 – minimum relaxation time
 T_m – maximum relaxation time
 c – residual stress at the end of the relaxation period

They found that auxin specifically decreases T_0 by 30–65% and increases b by about 20–25% (Yamamoto et al., 1970; Tanimoto and Masuda, 1971; Yamamoto and Masuda, 1971; Masuda et al., 1972; Sakurai et al., 1982). In addition, effect of GA on the mechanical properties of stem cell walls were reported on the hook and young elongation zone of pea stem using these physical parameters (Nakamura et al., 1975; Miyamoto et al., 1992).

Plant root is another elongating organ which shows hormone-regulated elongation growth. Since externally applied auxin does not strongly promote root elongation, auxin-induced elongation growth could not be used as a probe for the analysis of root cell walls. However, some inhibitors of gibberellin biosynthesis were recently found to inhibit root growth and this inhibition was reversed by the external application of gibberellin (Tanimoto, 1987, 1988). Thereafter, studies on hormonal regulation of mechanical properties of root cell walls became possible by using gibberellin- and the inhibitor-regulated root growth as a probe.

In this report, stress-relaxation, load-extension and creep analyses of root cell wall recently conducted in our laboratories are presented with special interest in gibberellin-regulated elongation growth of pea root, and the effect of gibberellin on the mechanical properties of root cell walls is discussed. A part of this study has been reported previously (Tanimoto, 1994).

MATERIALS AND METHODS

Plant material

Pea roots (*Pisum sativum* L. cv. Alaska) were grown in humid chamber in the dark as described elsewhere (Tanimoto, 1988). The elongating roots, 25 ± 5 mm long, were treated by ancyamidol (Anc) with or without gibberellin A3 (GA) in hydroponic culture solution for 24 h. After the treatment, apical 15 mm portion of the roots was excised and killed in boiling methanol for 5 min. Methanol was replaced with fresh methanol twice and kept at 4 °C until mechanical properties were analyzed. Before analyzing mechanical properties, root segments were rehydrated with distilled water.

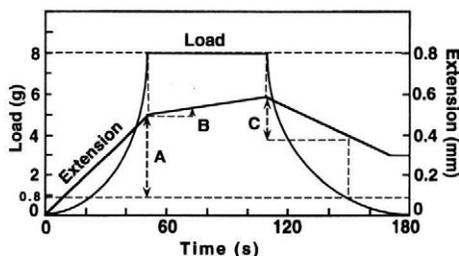
Stress-relaxation analysis

Rehydrated root segments were subject to analysis with a Tensiron RTM-25 tester (Toyo Baldwin; Tokyo, Japan). Root segments were secured between two

clamps, leaving a 5-mm distance (2–7 mm from tip) for extension. Experimental conditions for cell wall extension was reported elsewhere (Yamamoto et al., 1970, 1974).

Load extension analysis

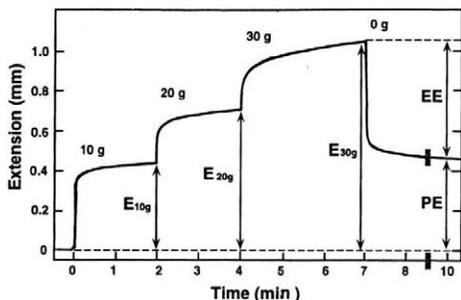
Load extension analysis was carried out by three modes of measurement in the Tensiron tensile tester. Load-extension up to 8 g load, creep at 8 g for 60 s and shrinkage of the root segments were recorded. The typical load-extension curve is shown in Fig. 1. Three parameters were obtained from each curve: (A) extension during initial loading from 0.8 g to 8 g; (B) extension during loading with 8 g for 18 s; and (C) shrinkage during reduction of the load from 8 g to 0.8 g. In order to minimize the fluctuation in the initial extension due to slackening of root specimens, the initial extension was read from a 0.8 g load (10% of the full load).



1. Typical load-extension curves of the root cell wall obtained by slow extension at $0.5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ in a Tensiron tensile tester. When the load reached 8 g, the extension speed was adjusted to hold the 8 g load (creep) for 18 s, and then the root segment was allowed to shrink by releasing the load. Three parameters were obtained: A – extension during initial loading from 0.8 to 8 g; B – extension during loading with 8 g for 18 s; C – shrink during reduction of the load from 8 g to 0.8 g

Creep analysis

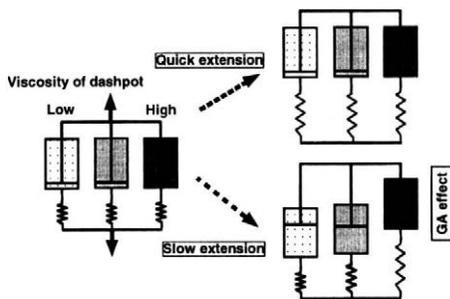
Creep properties of root cell walls were analyzed by a Rheoner RE-33005 (Yamaden, Tokyo, Japan). Rehydrated root segments were secured between two clamps leaving a 3-mm distance (2.5–5.5 mm from root tip) for extension. Extension was recorded during three sequential loadings at 10 g for 2 min, 20 g for 2 min and 30 g for 3 min. The load was then removed and the shrink of the segment was also recorded. Typical extension and shrink curves were shown in Fig. 2. The extensions by every 10 g loading, $E_{10 \text{ g}}$, $E_{20 \text{ g}}$ and $E_{30 \text{ g}}$ were read at 2 min, 4 min and 7 min after the start of loading. The elastic extension (EE) and plastic extension (PE) were read 3-min after releasing the load. A drop of distilled water was supplied to the extending roots during measurement to keep the root segment wet.



2. Typical creep curve of the root cell wall obtained by sequential loading of 10, 20 and 30 g. The load was then removed and the shrink of the segment was also recorded. The extensions by every 10 g loading, E_{10g} , E_{20g} and E_{30g} were read at 2 min, 4 min and 7 min after the start of loading. The elastic extension (EE) and plastic extension (PE) were read 3 min after releasing the load

RESULTS AND DISCUSSION

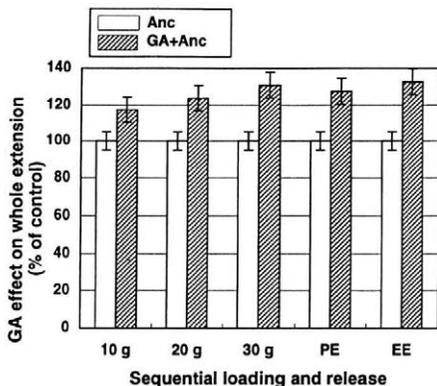
Stress-relaxation process of root cell wall was analyzed by the same method as reported by Yamamoto et al. (1970, 1974) adopted for coleoptile segments. Since T_0 and b in Eq (1) were significantly affected by auxin treatment in coleoptiles, these parameters were compared between Anc-treated and (Anc + GA)-treated roots. Mean values of T_0 and b obtained from 20–30 roots were 25.0 ± 0.8 ms and 4.84 ± 0.09 mg.s⁻¹ respectively for Anc-treated roots, whereas those for (Anc+GA)-treated roots were 25.1 ± 0.9 ms and 4.50 ± 0.11 mg.s⁻¹, respectively (Tanimoto, 1994). The effect of GA on T_0 and b over control were 0.4% and -7%, respectively. Thus, GA did not significantly affect the cell wall parameters at least in the present experimental condition. However, in stress-relaxation analysis, pre-extension process strongly affects the relaxation process (Fujihara et al., 1978a, b). For example, T_0 is influenced by the pre-extension rate, and the auxin effect on lowering T_0 is obscured if the pre-extension rate is too slow (Fujihara et al., 1978a, b). In the analyses of auxin-treated oat coleoptiles, pre-extension rate was 20 mm.min⁻¹. Then we have further tested root cell walls by two different extension rates, 0.5 and 10 mm.min⁻¹. The processes of slow extension, constant creep and shrink were recorded and three parameters A, B and C were obtained as shown in Fig. 1. Three parameters were compared between Anc-treated and (Anc + GA)-treated roots. When root cell walls were extended at 0.5 mm.min⁻¹, GA effects on three parameters were apparent, 26–41% promotion over no GA control, whereas GA effect was obscure when roots were extended at higher speed, 10 mm.min⁻¹, where GA effects on A, B and C were 8%, -10% and 5%, respectively. These results suggest that every viscoelastic components of the cell wall contribute to the relaxation process when pre-extension speed is very high, whereas only the high viscosity components may con-



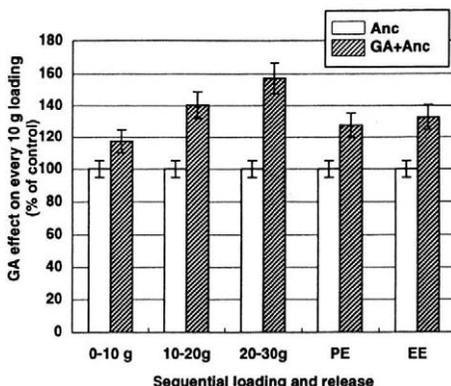
3. Viscoelastic model of cell wall extension at different extension speed as shown by dashpots and springs. When the cell wall was extended slowly, low viscosity component (left dashpot) will quickly decay and only high viscosity component (right dashpot) may contribute to the slow extension process

tribute to the relaxation process when pre-extension is slow, since the low viscosity components quickly decay during slow extension (Fig. 3).

Quick extension speed such as 20 mm.min⁻¹, and even 0.5 mm.min⁻¹ are very fast compared to the native speed of cell wall elongation which falls in the order of 0.01 mm.min⁻¹. Since creep test most closely resembles *in vivo* extension of plant cells, we have next measured creep properties of root cell walls. Five parameters, E_{10g} , E_{20g} , E_{30g} , PE and EE, were compared between Anc-treated roots and (GA + Anc)-treated roots. GA (GA + Anc treatment) increased all parameters by 17–33% over control (Anc treatment without GA) as shown in Fig. 4. In Fig. 5, GA effect was compared among extensions by every 10 g loading and elastic and plastic extensions. GA effect was greatest in extension by 20–30 g loading, suggesting that GA increases cell wall extensibility of roots by affecting heavier load-bearing components of the cell wall rather than light bearing components. In case of stress-relaxation analysis of auxin-regulated elongation growth, auxin specifically lowers minimum relaxation time, T_0 which is thought to represent the average molecular weight of the viscoelastic flow units. This physical finding was supported by the extensive biochemical findings that auxin increases the activities of polysaccharide-degrading enzymes (Tanimoto and Masuda, 1968; Masuda and Yamamoto, 1970; Tanimoto and Igari, 1976) and that auxin lowers the average molecular weight of matrix polysaccharides in the cell wall (Loescher and Nevins, 1972; Sakurai, 1991; Hoson, 1993). Thus, auxin may loosen the load-bearing components of the cell wall which works when cell walls were quickly extended, by breaking down the cell wall polymers. In contrast, GA may loosen the load-bearing component of the cell wall which works when cell walls were extended slowly, by unknown biochemical or biophysical mechanism.



4. Effect of GA treatment on the five parameters, E_{10} , E_{20} , E_{30} , PE and EE, in creep analysis of the root cell wall. GA effect was presented as per cent of control (ancymidol treatment without GA). Means of 15–20 roots with standard errors



5. Effect of GA treatment on the extension by every 10-g loading in the same creep analysis in Fig. 4. GA effect was presented as percent of control (ancymidol treatment without GA). Means of 15–20 roots with standard errors

We have still limited information about the mechanical properties of root cell walls, although several types of methods has been employed to measure mechanical behavior of root cell walls, such as bending method (Silk and Beusmans, 1988), stress-relaxation and load-extension method (Tanimoto, 1994). Although creep method most closely resembles the native extension process of plant cell walls, the creep process is relatively difficult to describe it in terms of physically defined parameters. The physically defined description of creep process of plant cell walls is open question for further investigation.

Acknowledgement

We are grateful to Dr. T. Hoson and S. Kamisaka of Osaka City University for their kind advice in using a Tension tester, and to Prof. N. Sakurai, Mr. Van Hoa and Miss R. Tominaga of Hiroshima University for their kind help in creep analysis by a Rheoner creep tester.

REFERENCES

CLELAND, R.: Extensibility of isolated cell walls: Measurement and changes during cell elongation. *Planta*, 74, 1967: 197–209.
 CLELAND, R.: Cell wall extension. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 22, 1971: 197–222.
 CLELAND, R. – HAUGHTON, P. M.: The effect of auxin on stress relaxation in isolated *Avena* coleoptiles. *Plant Physiol.*, 47, 1971: 812–815.
 FUJIHARA, S. – YAMAMOTO, R. – MASUDA, Y.: Viscoelastic properties of cell walls. I. Mathematical formulation for stress relaxation with consideration for preextension rate. *Biorheology*, 15, 1978a: 63–75.

FUJIHARA, S. – YAMAMOTO, R. – MASUDA, Y.: Viscoelastic properties of plant cell walls. II. Effect of preextension rate on stress relaxation. *Biorheology*, 15, 1978b: 77–85.
 HOSON, T.: Regulation of polysaccharide breakdown during auxin-induced cell wall loosening. *J. Plant Res.*, 106, 1993: 369–381.
 LOESCHER, W. – NEVINS, D. J.: Auxin-induced changes in *Avena* coleoptile cell wall composition. *Plant Physiol.*, 50, 1972: 248–251.
 MASUDA, Y.: Role of cell-wall-degrading enzymes in cell-wall loosening in oat coleoptiles. *Planta*, 83, 1968: 171–184.
 MASUDA, Y.: Auxin-induced cell expansion in relation to cell wall extensibility. *Plant Cell Physiol.*, 10, 1969: 1–9.
 MASUDA, Y.: Auxin-induced cell wall loosening. *Bot. Mag. Tokyo*, Special Issue 1, 1978: 103–123.
 MASUDA, Y. – YAMAMOTO, R.: Effect of auxin on β -1,3-glucanase activity in *Avena* coleoptile. *Decelop. Growth Differ.*, 11, 1970: 287–296.
 MASUDA, Y. – YAMAMOTO, R. – TANIMOTO, E.: Auxin-induced changes in cell wall properties and growth of *Avena* coleoptiles and green pea epicotyls. In: *Plant Growth Substances 1970*, Edited by D. J. Carr. Berlin, Springer-Verlag 1972: 17–22.
 MIYAMOTO, K. – UEDA, J. – HOSON, T. – KAMISAKA, S. – MASUDA, Y.: Inhibition of *Pisum sativum* elongation by white light – different effects of light on the mechanical properties of cell walls in the epidermal and inner tissues. *Physiol. Plant.*, 84, 1992: 380–385.
 NAKAMURA, T. – SEKINE, S. – ARAI, K. – TAKAHASHI, N.: Effects of gibberellic acid and indole-3-acetic acid on stress relaxation properties of pea hook cell wall. *Plant Cell Physiol.*, 16, 1975: 127–138.
 SAKURAI, N.: Cell wall functions in growth and development. A physical and chemical point of view. *Bot. Mag.*, 104, 1991: 235–251.
 SAKURAI, N. – FUJIHARA, T. – YAMAMOTO, R. – MASUDA, Y.: A stress relaxation parameter b of the oat cole-

- optile cell wall and its implication in cell wall loosening. *J. Plant Growth Regul.*, *1*, 1982: 75–83.
- SILK, W. K. – BEUSMANS, J. M.: Mechanical properties within the growth zone of corn roots investigated by bending experiments. I. Preliminary observations. *Am. J. Bot.*, *75*, 1988: 990–995.
- TAIZ, L.: Plant cell expansion: Regulation of cell wall mechanical properties. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, *35*, 1984: 585–657.
- TANIMOTO, E.: Gibberellin-dependent root elongation in *Lactuca sativa*: recovery from growth retardant-suppressed elongation with thickening by low concentration of GA₃. *Plant Cell Physiol.*, *28*, 1987: 963–973.
- TANIMOTO, E.: Gibberellin regulation of root growth with change in galactose content of cell walls in *Pisum sativum*. *Plant Cell Physiol.*, *29*, 1988: 269–280.
- TANIMOTO, E.: Interaction of gibberellin A₃ and ancymidol in the growth and cell-wall extensibility of dwarf pea roots. *Plant Cell Physiol.*, *35*, 1994: 1019–1028.
- TANIMOTO, E. – IGARI, M.: Correlation between β -1,3-galactosidase and auxin-induced elongation growth in etiolated pea stems. *Plant Cell Physiol.*, *17*, 1976: 673–682.
- TANIMOTO, E. – MASUDA, Y.: Effect of auxin on cell wall degrading enzymes. *Physiol. Plant.*, *21*, 1968: 820–826.
- TANIMOTO, E. – MASUDA, Y.: Role of the epidermis in auxin-induced elongation of light-grown pea stem segments. *Plant Cell Physiol.*, *12*, 1971: 663–673.
- YAMAMOTO, R. – MASUDA, Y.: Stress-relaxation properties of the *Avena* coleoptile cell wall. *Physiol. Plant.*, *25*, 1971: 330–335.
- YAMAMOTO, R. – SHINOZAKI, K. – MASUDA, Y.: Stress-relaxation properties of plant cell walls with special reference to auxin action. *Plant Cell Physiol.*, *11*, 1970: 947–956.
- YAMAMOTO, R. – FUJIHARA, S. – MASUDA, Y.: Measurement of stress-relaxation properties of plant cell walls. In: *Plant Growth Substances 1973*. Tokyo, Hirokawa 1974: 798–805.

Received on February 7, 1996

Contact Address:

E. Tanimoto, Biology Laboratory, College of General Education, Nagoya City University, Mizuho-ku, Mizuho-cho, Nagoya 467, Japan, Fax: 0081-52-882-3075, E-mail: tanimoto@nsc.nagoya-cu.ac.jp

Upozornění pro autory vědeckých časopisů

Z důvodu rychlejšího a kvalitnějšího zpracování grafických příloh (grafů, schémat apod.) příspěvků zasílaných do redakce Vás žádáme o jejich dodání kromě tištěné formy i na disketách.

Týká se to samozřejmě těch grafických příloh, které byly vytvořeny v nějakém programu PC (např. CorelCHART, Quatro Pro, Lotus 1-2-3, MS Excel). Vzhledem k tomu, že nejsme schopni upravit a použít pro tisk všechny typy (formáty) grafických souborů, žádáme Vás, abyste nám také kromě originálních souborů (např. z MS Excel typ *.XLS) zasílali grafické předlohy vyexportované jako bodovou grafiku v jednom z těchto formátů:

Bitmap	*.BMP
Encapsulated Postscript	*.EPS
Graphic Interchange Format	*.GIF
Mac paint	*.MAC
MS Paint	*.MSP
Adobe Photoshop	*.PSD
Scitex	*.SCT
Targa	*.TGA
Tag Image File Format	*.TIF (tento formát je nejkvalitnější)

Redakce časopisu

DYNAMIC LOAD ACTING ON A TRACTOR DURING PLOUGHING

DYNAMICKÁ ZATÍŽENÍ TRAKTORU PŮSOBÍCÍ PŘI ORBĚ

V. Mišun¹, F. Bauer²

¹Technical University of Brno, Institute of Mechanics of Solids, Brno, Czech Republic

²Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, Czech Republic

ABSTRACT: Relations and algorithms for transformations of dynamic load affects in individual draw bars of a three-point suspension transferred into a tractor's centre of gravity are mentioned in this paper. Transformation has been based on a static equivalence of the load effects. The ploughing with an attached plough has been employed for this purpose. This algorithm can be used for monitoring dynamic responses of a tractor's model used, evaluating its necessary pulling properties, dynamic forces between the wheels and soil, etc. Reliability of the created algorithm has been tested and verified according to the terrain measurements.

tractor; ploughing; three-point suspension; force transformation

ABSTRAKT: V příspěvku jsou uvedeny vztahy a algoritmus pro transformaci průběhů zatěžovacích dynamických sil v jednotlivých táhlech třibodového závěsu do těžiště traktoru. Měřené průběhy všech těchto sil jsou nahrazeny v těžišti traktoru výslednými silovými účinky. Pro vytvoření a ověření algoritmu byla zvolena pracovní operace orba. Transformace je založena na maticovém vyjádření statické ekvivalence silových účinků. Algoritmus může být dále použit pro sledování dynamických odezev modelu traktoru a jeho tažných sil i pro vyhodnocení sil orby, pro výpočet zatěžovacích dynamických sil, které působí mezi jednotlivými koly traktoru a půdou. Použitelnost vytvořeného algoritmu byla ověřována měřeními v terénu.

traktor; orba; třibodový závěs; transformace síly

INTRODUCTION

The goal of the whole agricultural society is to decrease the degree of energy demands, to cut down the running fuel and its consumption within the norms of problems connected with work ecology. The agricultural ploughing is classified as the most important work operation as to the consumption of the direct energy, e.g. diesel fuel (Bauer, 1985).

Special attention must, therefore, be given to the ploughing which is the most important phenomenon as to the forces which stress the tractor and its effects acting on the soil as compared with any other working operations of a tractor.

Ploughing is done using duckfoot share ploughs in most cases. If the agricultural operations have to lower energy consumption and to keep the degree of difficulty down to the basic soil procedure applications then the theory of stress affect attributes which influence greatly the pulling properties of the tractor, wheel forces, directional stability, etc. during ploughing must first be cleared. The dynamic forces originating during the very process of ploughing (cutting-off, grinding, mixing, loosening, turning) play a great role in the dynamic process which goes on between the tractor's

wheels and the soil causing also unwanted compacting of the top soil layers.

That's why it is important to know the dynamic forces that act on the ploughing body of the tractor. These forces, then, can be used to solve the problems connected with dynamic responses of the tractor's model serving as a mechanical structure.

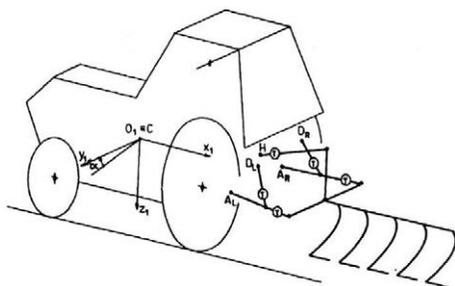
Analyses of dynamic stress effects, as to the ploughing process alone, and an algorithm for their transformation into the tractor's centre of gravity is shown in this paper. The task is then ready to solve the dynamics of the tractor's model and its responses in the selected nodal points.

EXPERIMENTAL ANALYSES OF FORCE EFFECTS

FORCE EFFECTS ACTING ON A PLOUGH

In view of the plough forces acting on the tractor, the spatial forces distribution and their sizes are important factors. The need to know their proper effects is very important from several reasons.

In case of a draw bars of a three-point suspension, it is important to consider the impuls regulation during



1. Scheme of tractor - plough system. Location of tensometers at a three-point suspension

- C - centre of gravity of tractor
 A_L, A_R, H - joints (index L - left, R - right)
 $\textcircled{\cdot}$ - tensometer

ploughing using force or mixed regulatory system. The type of regulation strongly influences the adhesive forces acting on the tractor's drive wheels resulting in skidding, diesel oil consumption, and output power of the ploughing aggregate system.

The stress effects between the ploughing system and the soil can be divided into useful and parasite ones (Bauer, 1985). Both of them are continuously distributed and are influenced by many different causes. Individual parts of these stress effects are very difficult to recognize. Some inertial force effects of the cultivated soil layers will also occur.

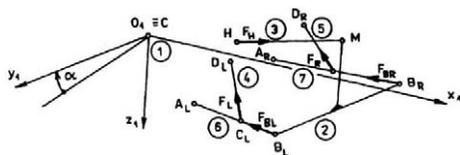
As to the tractor dynamics alone, it is necessary to evaluate the resulting stress effects by which the ploughing device acts on the tractor via suspension's path. These stress effects will certainly include stress effects coming from the ploughing process, parasite stress effects between the ploughing device and the soil, and also by the force of gravity of the plough.

The forces transferred from the plough towards the tractor can be evaluated by measuring forces presented in the draw bars of the three-point suspension (Fig. 1), and by their following transformation onto more simple stress effects in a carefully selected point within the tractor's space. This point seems most probably to be the tractor's centre of gravity.

FORCES ACTING IN DRAW BARS OF A THREE-POINT SUSPENSION

Force measuring methods in individual draw bars of a three-point suspension during ploughing published Bauer et al. (1989).

Fig. 2 shows a geometrical drawing of a three-point suspension illustrating measured axial forces in individual draw bars. The pulling forces are considered as positive as long as they are directed from draw bar joints.



2. Scheme of a three-point suspension

All draw bars of a three-point suspension have been equipped with electric resistance strain gauges (tensometers). A telemetric system Ja RTSE R45 has been used to monitor the results. A detecting tape recorder 4S17-V and a loop oscillograph 8LS-1 has been used to record the obtained values (Bauer, 1985).

Let's mark the forces in the draw bars:

- in an upper draw bar, F_H
- in a lower draw bars, F_{BL}, F_{BR}
- in a lift-up draw bars, F_L, F_R

where: index L - left side, R - right side

The following have been used:

- tractor type Zetor 7245,
- plough type PH 1-426,
- ploughing of medium density soil.

Fig. 3A to 7A show courses of measured forces in the individual bars of the three-point suspension.

Next, all geometrical parameters specifying the size and position of individual draw bars and their joints at a three-point suspension in a given basic tractor's space (marked as 1) are known. In the tractor's centre of gravity (Fig. 1) a relative (basic, global) coordinate system $Oxyz$ has been chosen, where axis x is a longitudinal axis of a tractor. Axes x, z are situated in a longitudinal vertical plane of the tractor and axis y is perpendicular to this one. A tractor driving with its right side wheels in the furrow is side-tilted by an angle α , where

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{L_y} \quad (1)$$

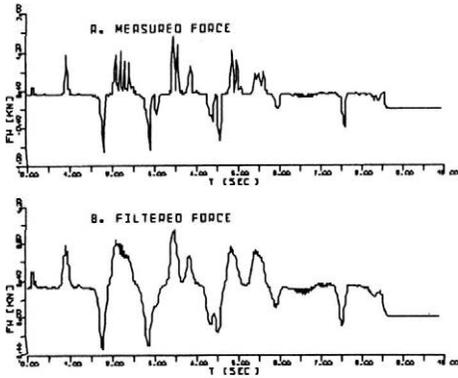
where: h - depth of ploughing
 L_y - wheel track of a tractor

FILTERING OF THE TIME FORCE COURSES

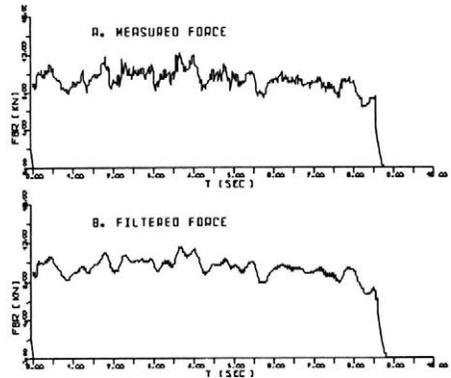
Time courses of the measured forces in the draw bars of a suspension are very unstable due to various occasional causes (e.g. impacts due to the joint's clearance). It is then suitable to filtrate the gained measured values with a help of a high frequency suppression filter so that the unwanted high frequency components can be eliminated from the measured signals.

A method of a floating filter (method of a floating average) has been used for the time smoothing the measured force courses.

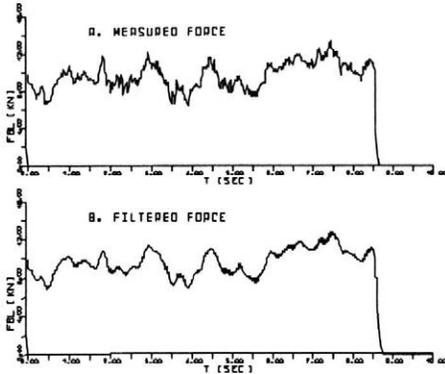
Filtering of measured values (time force courses) for i -th time value of force $F_K(i)$ has been calculated according to:



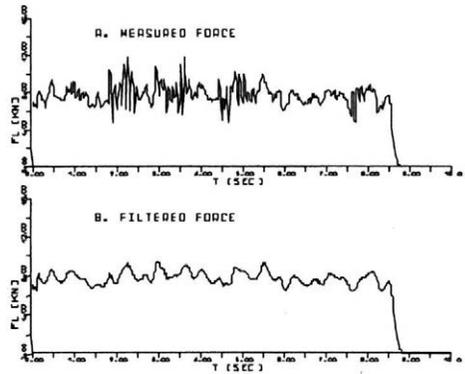
3. Force F_H in suspension's draw bar



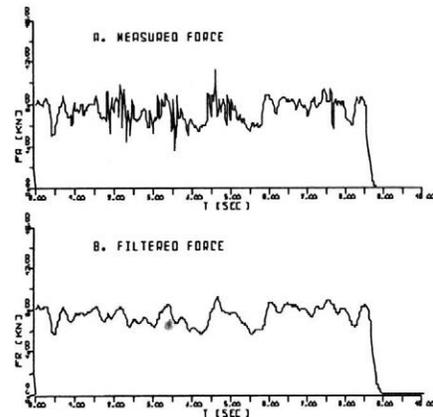
4. Force F_{BR} in suspension's draw bar



5. Force F_{BL} in suspension's draw bar



6. Force F_L in suspension's draw bar



7. Force F_R in suspension's draw bar

$$F_K(i) = F_K(i-4) + 4.F_K(i-2) + 6.F_K(i) + 4.F_K(i+2) + F_K(i+4) \quad (2)$$

where: $i = 1, 2, \dots, N$ (total number of discrete values in time appointed signal)

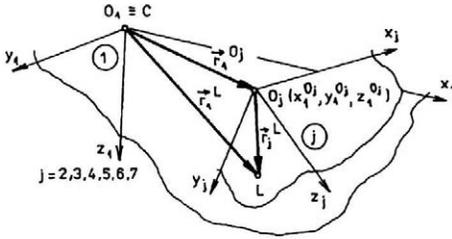
constants 1, 4, 6, 4, 1 - have been taken from Pascal's triangle

index $K = H, BL, BR, L, R$

Fig. 3B to 7B represent a smoothed force courses in draw bars of a three-point suspension of a tractor corresponding to the measured courses according to Figs 3A to 7A.

TRANSFORMATION OF FORCE EFFECT

Every part (draw bar, member) of a three-point suspension occupies a different position as to the basic space 1 (space of the tractor). It is recommended to define the local coordinate systems connected with individual members of the suspension system.



8. Global and local coordinate systems

Let $Oxyz$ is used for the local coordinate system for any j -th member of a three-point suspension. The origin points O_j of these local coordinate systems are selected in the suspended points on the tractor's body (Fig. 8). The positions of these points (x, y, z , coordinates) within the tractor's space are known.

Let's express the measured force effects in the draw bars of a three-point suspension in individual local coordinates using vectors and then, on the basis of the static equivalence, let them be transferred into the tractor's centre of gravity (Bauer et al., 1990)

TRANSFORMATION OF POSITION VECTORS

It is necessary to transform the position vectors of the suspension's points of individual members of a three-point suspension into a basic coordinate system, e.g. into a space connected with a tractor's body.

Any given point L of the j -th body has its coordinates in a space:

- local coordinates: x_j^L, y_j^L, z_j^L
- global coordinates: x_1^L, y_1^L, z_1^L

The coordinates of the origin point O_j in the basic space of a tractor (space 1) are arranged into a column matrix (column vector)

$$r_1^{O_j} = [x_1^{O_j}, y_1^{O_j}, z_1^{O_j}]^T \quad (3)$$

or in its extended form

$$r_1^{O_j} = [x_1^{O_j}, y_1^{O_j}, z_1^{O_j}, 1]^T \quad (4)$$

Then, introducing a matrix of directional cosinus (Bauer et al., 1989)

$$C_{j1} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}_j \quad (5)$$

for transformation of vectors from space j into the basic space 1. The matrix for transformation of position vectors of points from space j to space 1 is then given

$$T_{j1} = \begin{bmatrix} C_{j1} & r_1^{O_j} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

where: $\mathbf{0}$ = zero row matrix

Coordinates of any given point L in space j form a column matrix

$$r_j^L = [x_j^L, y_j^L, z_j^L]^T \quad (7)$$

An extended form of the column matrix of point's vector L in space 1 has then a form

$$r_1^L = T_{j1} r_j^L = [x_1^L, y_1^L, z_1^L, 1]^T \quad (8)$$

Every axes x_j, Y_j, Z_j intersecting points $A (x_1^A, y_1^A, z_1^A)$ and $B (x_1^B, y_1^B, z_1^B)$ in space 1 can be positively oriented by a unit vector

$$\begin{aligned} \vec{e}_j^A &= \frac{x_1^B - x_1^A}{AB} \cdot \vec{i}_1 + \frac{y_1^B - y_1^A}{AB} \cdot \vec{j}_1 + \frac{z_1^B - z_1^A}{AB} \cdot \vec{k}_1 = \\ &= c_{11} \cdot \vec{i}_1 + c_{12} \cdot \vec{j}_1 + c_{13} \cdot \vec{k}_1 \end{aligned} \quad (9)$$

where: $\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$ - unit vectors of O_{xyz} coordinate system

The distance of A, B points

$$AB = \sqrt{(x_1^B - x_1^A)^2 + (y_1^B - y_1^A)^2 + (z_1^B - z_1^A)^2} \quad (10)$$

TRANSFORMATION OF INDIVIDUAL FORCES

After a positive orientation of the individual axis of the j -th coordinate system with an aid of unit vector e according to relations (9), (10), every i -th force in the draw bars of a three-point suspension acting in the point $L (L = H, A_L, A_R, D_L, D_R)$ can be recorded using vectors in space 1

$$\vec{F}_{i1}^L = F_i^L \cdot \vec{e}_i^L = F_{i1}^L \cdot \vec{i}_1 + F_{i2}^L \cdot \vec{j}_1 + F_{i3}^L \cdot \vec{k}_1 \quad (11)$$

By this way, axial forces F_H, F_L, F_R in the draw bars of the suspension can be expressed according to Fig. 2.

The common plane force systems are acting on the lower draw bars. When using conditions of a static equilibrium, the bond reactions in points A_L, A_R can be evaluated and then again be expressed in a vector's form according to (11).

For individual force effects expressed by relations (11), column vectors can be formed according to relation

$$F_i^L = [F_{i1}^L, F_{i2}^L, F_{i3}^L]^T \quad (12)$$

In the basic coordinate system, an operational matrix R_{LC} will be formed containing coordinates of any given point L in space 1

$$R_{LC} = \begin{bmatrix} 0 & -z_1^L & y_1^L \\ z_1^L & 0 & -x_1^L \\ -y_1^L & x_1^L & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Individual force $F_K (K = H, A_L, A_R, L, R)$ from point L to the tractor's centre of gravity $C = O_1$ is then transferred. The transformation is based on a static equivalence. A column vector of force effects (force bivector) is then obtained from each force F_K in the tractor's centre of gravity

$$S_{i1}^C = \begin{bmatrix} F_i^C \\ M_i^C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_3 \\ R_{LC} \end{bmatrix} \cdot F_i^L \quad (14)$$

where: E_3 - unit matrix of the 3×3 size

Using relations (14), the force effects acting in individual points of a three-point suspension can be transferred step by step into the centre of gravity of the tractor or into other selected suitable points in the basic space.

RESULTING FORCE EFFECTS IN THE TRACTOR'S CENTRE OF GRAVITY

RESULTING FORCE AND RESULTING MOMENT

Using transformational relation (14) in the sense of a static equivalence, force effects in individual suspension's points are substituted in the tractor's centre of gravity. The sum of them will give us a resulting bivector in the tractor's centre of gravity.

$$S_{v1}^C = \sum_i S_{i1}^C = [F_{vX} F_{vY} F_{vZ} M_{vX} M_{vY} M_{vZ}]^T \quad (15)$$

where: $i - H, AL, AR, DL, DR$

Force effects of a three-point suspension are then substituted by the resulting effects in the tractor's centre of gravity, which are:

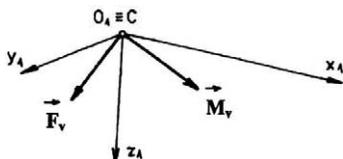
- resulting force

$$\vec{F}_V = F_{vX} \cdot \vec{i}_1 + F_{vY} \cdot \vec{j}_1 + F_{vZ} \cdot \vec{k}_1 \quad (16)$$

- resulting moment

$$\vec{M}_V = M_{vX} \cdot \vec{i}_1 + M_{vY} \cdot \vec{j}_1 + M_{vZ} \cdot \vec{k}_1 \quad (17)$$

Their illustrations are given in Fig. 9.



9. Resulting force effects in the tractor's centre of gravity

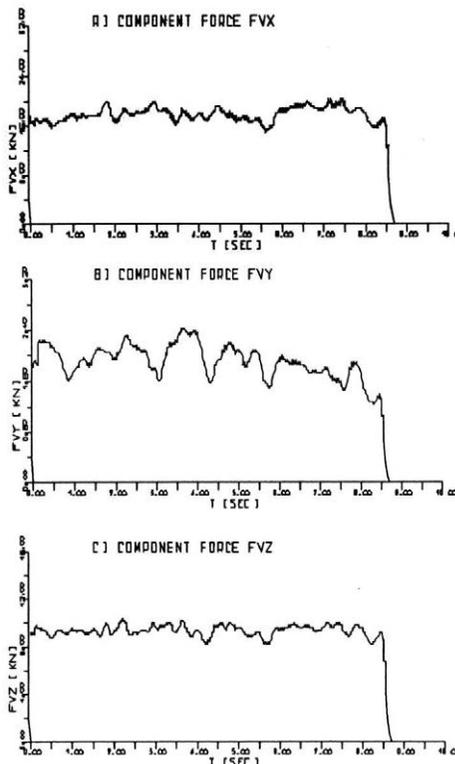
The value of these resulting force effects are as follows:

$$F_V = \sqrt{(F_{vX})^2 + (F_{vY})^2 + (F_{vZ})^2} \quad (18)$$

$$M_V = \sqrt{(M_{vX})^2 + (M_{vY})^2 + (M_{vZ})^2} \quad (19)$$

TIME COURSES OF THE RESULTING FORCE EFFECTS

Due to the fact that all measured forces in the draw bars of a three-point suspension are variable in time (see Fig. 3 to Fig. 7), the resulting force effects F_V, M_V after transformation to the tractor's centre of gravity will vary with time as well (Fig. 10, 11).



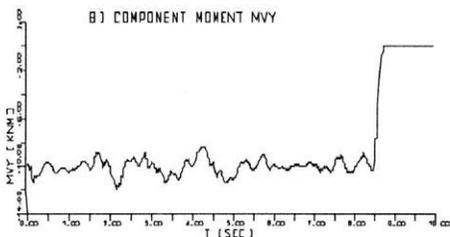
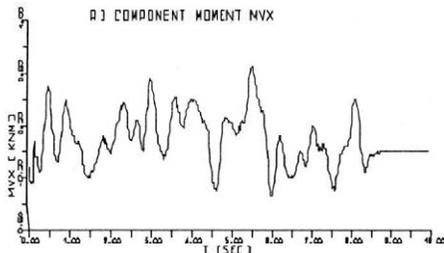
10. Time courses of resulting force components

Knowledge of the F_V, M_V courses is required in case when there is a need to solve time courses of dynamic forces between the tractor's wheels and the topsoil to obtain the peak value of these forces, their spectrum, etc. The task of this kind must be solved with a help of an adequate numerical integrational method applied during solution of the tractor's model response. This tractor model system is really non-linear because of the skidding properties of tyres.

When using linear model of a tractor, it is possible to consider the measured forces in the draw bars of a three-point suspension as a random process with their corresponding statistical characteristics (mean values, dispersion, spectrum).

Then it is also possible to consider even the resulting F_V, M_V as random ones. The evaluation technique of the model's response is then other and a frequency transfer properties of a tractor's model can be used.

These evaluated resulting force effects F_V, M_V which act in the tractor's centre of gravity can be further used for solving dynamics of the tractor alone, as well as for response monitoring the dynamic system. After creating a suitable dynamic model of a tractor, it then can be tested using these resulting force effects



11. Time courses of resulting moment components

and the tractor's response can be calculated and analysed (Mišun, Bauer, 1992).

The given algorithm allows to evaluate the resulting force effects in selected time intervals. Tab. I shows five selected time intervals with measured forces in the draw bars of a three-point suspension including computed components and the resulting force effects.

BASIC STATISTICAL CHARACTERISTICS OF RESULTING FORCE EFFECTS

Courses of the dynamic force effects of a loaded tractor during ploughing have a stochastic character. This character is kept even with the resulting force effects in the tractor's centre of gravity.

It is useful to know at least some basic statistical characteristics of these resulting force effects. The basic statistical characteristics of the arbitrary random time variable

$$y = y(t) \quad (20)$$

where: $y(t) = F_{VX}(t), F_{VY}(t), \dots, M_{VZ}(t)$

can be obtained from relations:

I. Resulting force effects in selected time intervals

Time (s)	F_V (kN)				M_V (kNm)			
	F_{VX}	F_{VY}	F_{VZ}	F_V	M_{VX}	M_{VY}	M_{VZ}	M_V
0.2	16.1	2.3	9.5	18.8	0.5	-9.5	2.0	9.72
2.0	16.6	1.9	9.2	19.1	0.0	-9.8	2.6	10.14
3.8	17.3	2.4	9.1	19.7	0.2	-10.0	2.4	10.28
6.0	18.3	1.8	9.7	20.8	-0.3	-10.0	3.0	10.83
8.0	18.2	1.8	9.6	20.6	-0.2	-10.4	2.8	10.77

– for mean value

$$m_y = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) \cdot dt \quad (21)$$

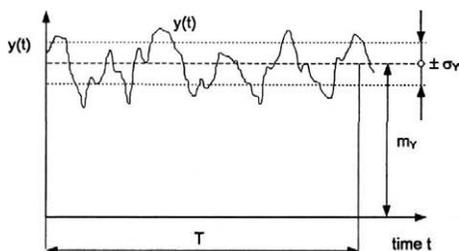
– for dispersion

$$D_y = \frac{1}{T} \int_0^T [y(t) - m_y]^2 \cdot dt \quad (22)$$

– for standard deviation (root-mean-square value)

$$\sigma_y = \sqrt{D_y} \quad (23)$$

Fig. 12 demonstrates the time course of random variable, $y(t)$, its mean value, m_y , and the standard deviation, σ_y .



12. Basic statistical characteristics of random variable $y(t)$

Now we can calculate the basic statistical characteristics of the random forces and moments acting in the centre of gravity of the tractor. The considered time period has been chosen, $T = 8.0$ s.

The following is evaluated in individual components:

– mean values

$$m_{FVX} = 17.7 \text{ kN}; \quad m_{FVY} = 1.9 \text{ kN}; \quad m_{FVZ} = 9.3 \text{ kN}$$

$$m_{MVX} = 0.1 \text{ kNm}; \quad m_{MVY} = -9.8 \text{ kNm}; \quad m_{MVZ} = 2.7 \text{ kNm}$$

– standard deviations

$$\sigma_{FVX} = 116 \text{ N}; \quad \sigma_{FVY} = 17 \text{ N}; \quad \sigma_{FVZ} = 58 \text{ N}$$

$$\sigma_{MVX} = 10 \text{ Nm}; \quad \sigma_{MVY} = 64 \text{ Nm}; \quad \sigma_{MVZ} = 19 \text{ Nm}$$

Using m_{FVX} to m_{MVZ} mean value components given above, we come to the evaluation of a mean values of the resulting force effects.

Resulting mean force

$$m_{FV} = 20.08 \text{ kN}$$

Resulting mean moment

$$m_{MV} = 10.16 \text{ kNm}$$

EVALUATION OF THE ALGORITHM

The offered algorithm allows to evaluate the resulting dynamic force effects acting on a tractor during ploughing together with tools being used with a high level of precision. These transformed force effects can further be used for additional analyses of force loading of a tractor, its dynamic characteristics during a selected agrotechnical operation – such as ploughing.

This algorithm has been tested using a loaded tractor model during ploughing when the monitored tractor has been towed by another tractor using a rope. The stress in the ropes have been measured using tensometers and the measured values have been compared with a component F_{VX} together with a passive resistance of the tractor (Bauer et al., 1989). The results of this comparison are in a good agreement and show a high precision of the created algorithm and its usability for solving the tractor's loading capacity during ploughing.

This algorithm can also be used for evaluation of ploughing force, impulsive forces in the draw bars of a suspension as inputs of force or for mixed regulation, as well as for calculation of the so called sinking moment of the original ploughing.

After creating a suitable dynamic model of a tractor or a tractor-soil model, the system's response in the selected points of the tractor can be evaluated and monitored. The dynamic stress acting on the wheels of a tractor, on pivots of the wheel, and the directional stability can also be monitored.

CONCLUSION

Basic relations and algorithm for transformation of dynamic forces measured in the draw bars of a three-point suspension in the tractor's centre of gravity during the ploughing process are mentioned in this paper. A matrix method of static equivalence of force effects acting in various points of a tractor's space has been used for this transformations.

The presented algorithm can be used in many other ways. It is an useful contribution for evaluation of force effects acting on the whole system, e.g. aggregated tractor equipped with working tools. It allows to evaluate the useful pulling and working properties of a tractor. It allows to evaluate the dynamic forces which cause the undesirable compacting of the lower sections of the top soil layers by the wheels of the tractor.

This fact plays an important role in germination of seeds at its beginning as well as in the final agricultural yield.

The research presented in this contribution has been done under the governmental grant No. 101/94/1839.

REFERENCES

- BAUER, F.: Optimalizace přenosu energie u zemědělského traktoru. [Závěrečná výzkumná zpráva.] Brno, Vysoká škola zemědělská 1985.
- BAUER, F. – MIŠUN, V. – LOPRAIS, A.: Transformace měřených silových účinků v táhlech třibodového závěsu do těžiště traktoru agregovaného s neseným pluhem. Zeměd. Techn., 35, 1989 (4): 205–214.
- BAUER, F. – MIŠUN, V. – LOPRAIS, A.: Teorie výpočtu výsledných silových účinků pluhu při orbě. Zeměd. Techn., 36, 1990 (9): 553–556.
- MIŠUN, V. – BAUER, F.: Zatížení hnacích kol traktoru při orbě s neseným pluhem. Zeměd. Techn., 38, 1992 (1): 1–9.

Received on February 27, 1996

Contact Address:

Doc. Ing. Vojtěch Mišun, CSc., Vysoké učení technické, Technická 2, 616 69 Brno, Česká republika, tel.: 05/41 14 28 60, fax: 05/74 57 18, e-mail: misun@umtn.fme.vutbr.cz

INSTITUTE OF AGRICULTURAL AND FOOD INFORMATION
Slezská 7, 120 56 Praha 2, Czech Republic
Fax: (00422) 24 25 39 38

In this institute scientific journals dealing with the problems of agriculture and related sciences are published on behalf of the Czech Academy of Agricultural Sciences. The periodicals are published in the Czech or Slovak languages with long summaries in English or in English language with summaries in Czech or Slovak.

Subscription to these journals should be sent to the above-mentioned address.

Periodical	Number of issues per year
Rostlinná výroba (Plant Production)	12
Živočišná výroba (Animal Production)	12
Veterinární medicína (Veterinary Medicine – Czech)	12
Zemědělská ekonomika (Agricultural Economics)	12
Lesnictví – Forestry	12
Zemědělská technika (Agricultural Engineering)	4
Ochrana rostlin (Plant Protection)	4
Genetika a šlechtění (Genetics and Plant Breeding)	4
Zahradnictví (Horticultural Science)	4
Potravinářské vědy (Food Sciences)	6

OŠETŘOVÁNÍ A SKLADOVÁNÍ POTRAVINÁŘSKÝCH ZRNIN V ZÁSObNÍCÍCH O KAPACITĚ 200 t

TREATMENT AND STORAGE OF FOOD CEREALS IN STORAGE SILOS OF CAPACITY 200 t

P. Kroupa

Research Institute of Agricultural Engineering, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The work presents results of measurements during treatment of food cereals by intensive aeration in tower storage silos of unit storage capacity 200 t. Basal board, including distribution and aeration canals, were designed and tested for these silos. Medium-pressure fans were used for the aeration proper (one aeration fan for each silo) which can supply 25–30 m³ of air per 1 tonne of stored grain per 1 hour. The greatest attention has been paid to the main parameter – outlet air velocity from a layer of stored grain in its intensive aeration. It follows from the values taken that average outlet air velocity from a layer of stored grain along the circumference of the storage silo is 0.084 m·s⁻¹, average outlet air velocity in the middle of the silo, then in the top of the filling cone, whose height was 1.2 m, amounts to 0.023 m·s⁻¹. It follows from the values measured that outlet air velocity from a layer of stored grain in silo of unit storage capacity 200 t is sufficient and hence, there is no risk of rising the airtight condensation layer and hence depreciation of stored grains. Food wheat Hana of average moisture 19% was stored in silos. For 25 days of intensive aeration the moisture fell to 14.7%. The total consumption of electric power for grain treatment by intensive aeration during 25 days, at decrease in grain moisture from 19% to 14%, amounted to 1.534.8 kWh.

tower silo; aeration fan; air distribution; outlet velocity; grain temperature; grain moisture

ABSTRAKT: V práci jsou uvedeny výsledky měření při ošetřování potravinářských zrnin intenzivním provzdušňováním ve věžových zásobnících o jednotkové skladovací kapacitě 200 t. Pro tyto zásobníky byla navržena a ověřena základová deska včetně rozvodných a provzdušňovacích kanálků. K vlastnímu provzdušňování byly použity středotlaké ventilátory (na každý zásobník jeden provzdušňovací ventilátor), které jsou schopny zajistit 25 až 30 m³ vzduchu na 1 tunu uskladněného zrna za 1 hodinu. Největší pozornost byla věnována hlavnímu parametru: výstupní rychlosti vzduchu z vrstvy uskladněného zrna při jeho intenzivním provzdušňování. Z naměřených hodnot vyplývá, že průměrná výstupní rychlost vzduchu z vrstvy uskladněného zrna po obvodu zásobníku je 0,084 m·s⁻¹, průměrná výstupní rychlost vzduchu uprostřed zásobníku, tedy na vrcholu násypného kužele, jehož výška byla 1,2 m, je 0,023 m·s⁻¹. Z naměřených hodnot plyne, že výstupní rychlost vzduchu z vrstvy uskladněného zrna v zásobníku o jednotkové skladovací kapacitě 200 t je dostatečná a tudíž nehrozí nebezpečí vzniku neprodyšné kondenzační vrstvy a tím znehodnocení uskladněného zrna. Do zásobníků byla naskladněna potravinářská pšenice HANA o průměrné vlhkosti 19 %. Za 25 dnů intenzivního provzdušňování se vlhkost snížila na 14,7 %. Celková spotřeba elektrické energie pro ošetření zrna intenzivním provzdušňováním za 25 dnů, při snížení vlhkosti zrna z 19 % na 14,7 % byla 1 534,8 kWh.

věžový zásobník; provzdušňovací ventilátor; rozvod vzduchu; výstupní rychlost; teplota zrna; vlhkost zrna

ÚVOD

Základním požadavkem racionální výživy je přísná kontrola, šetrné zpracování a přírodní stav potravinářských zrnin. Hlavní zásadou jsou minimální úpravy, které nesmějí snížit biologickou hodnotu potravinářských zrnin.

Potravinářské zrniny se dosud ve většině případů ošetřují, skladují a popřípadě předzpracovávají na posklizňových linkách. Technická úroveň těchto zařízení je však většinou nevyhovující.

Ošetřování a skladování potravinářských zrnin má svá specifika (především nutností respektovat všechny

požadavky na zdravou výživu), která jsou odlišná od ošetřování a skladování ostatních zrnin.

Potravinářské zrniny se v současné době skladují ve velkokapacitních skladech, kde není možnost rozdělit např. potravinářskou pšenici podle mlynářských a pekařských vlastností. Potom se stává, že v jednom zásobníku je uskladněna potravinářská pšenice s rozdílnými mlynářskými a pekařskými vlastnostmi.

Ošetřování potravinářských zrnin je řešeno aktivním provzdušňováním v zásobnících při značné nerovnoměrnosti výstupní rychlosti vzduchu. Z toho plyne, že některé partie uskladněného zrna v zásobníku jsou „přesušené“, některé dosahují standardní vlhkosti a ně-

keré partie mají vlhkost vyšší než předepisuje ČSN. K aktivnímu provzdušňování jsou často používány i nevhodné ventilátory, které neodpovídají požadovaným parametrům jak v množství vzduchu, tak požadovaným tlakem.

Proto je třeba ošetřování a skladování potravinářských zrn věnovat značnou pozornost, vlastní sklizeň provádět v plné zralosti, ošetřování zrna řešit intenzivním provzdušňováním, které by mělo být rovnoměrné, a vlastní skladování řešit v zásobnících o jednotkové skladovací kapacitě do 200 t.

POPIS ZAŘÍZENÍ

Cílem výzkumného řešení bylo:

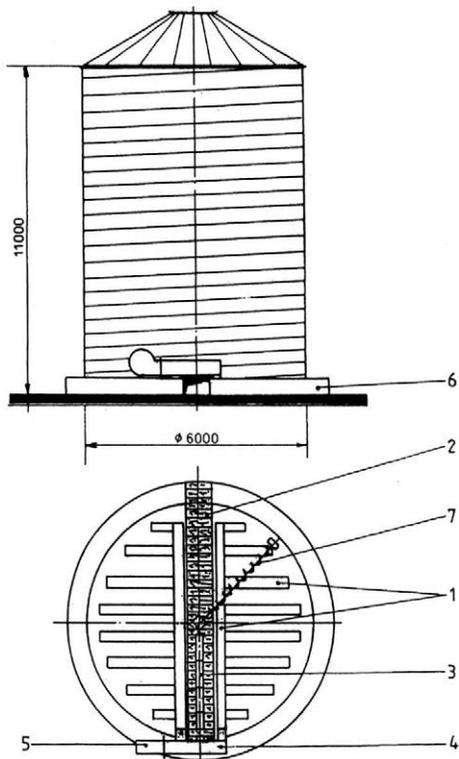
- návrh a ověření vzduchotechniky v základové desce pro věžové zásobníky systém LIPP o jednotkové skladovací kapacitě 200 t;
- vyhodnocení intenzivního provzdušňování (zjišťování výstupní rychlosti vzduchu z vrstvy uskladněného zrna v zásobnících).

Ke skladování potravinářských zrn byly navrženy a ověřeny malokapacitní věžové zásobníky s rovným dnem, systém LIPP, o průměru 6 m, výšce 11 m a jednotkové skladovací kapacitě 200 t. Věžové zásobníky byly navrženy a ověřeny u linky na příjem, ošetřování a skladování potravinářských zrn v ZD Mezno. Příjem linky je $80 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ a celková skladovací kapacita 1 200 t uskladněného zrna. Věžové zásobníky jsou postaveny na základových deskách (jde tedy o zásobníky s rovným dnem), ve kterých je provzdušňovací systém řešen podúrovňovými provzdušňovacími kanálky.

Vzduchoventilační rozvodný systém se skládá z hlavního rozvodného kanálu, který je vyroben z plechu a je přímo napojen na provzdušňovací ventilátor. Tento rozvodný kanál včetně provzdušňovacího ventilátoru je umístěn vně zásobníku. Rozměry hlavního rozvodného kanálu jsou $0,5 \times 0,35 \text{ m}$. Plechový rozvodný kanál, který je umístěn vně zásobníku a je napojen na provzdušňovací ventilátor, má dvě odbočky, které jsou napojeny přímo na provzdušňovací kanálky v základové desce. Provzdušňovací kanálky jsou zakryty speciálními provzdušňovacími sítí. Rozměry provzdušňovacích kanálků, které jsou umístěny v bezprostřední blízkosti technologického vyskladňovacího kanálu, jsou $0,4 \times 0,25 \text{ m}$. Ostatní provzdušňovací kanálky mají rozměry $0,2 \times 0,25 \text{ m}$. Rozteč provzdušňovacích kanálků je $0,6 \text{ m}$.

Každý věžový zásobník je osazen jedním středotlakým provzdušňovacím ventilátorem typu RSH-500 o těchto parametrech: množství vzduchu $6\,000\text{--}8\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, přetlak $1\,500\text{--}2\,000 \text{ Pa}$, příkon $7,5 \text{ kW}$.

Uspořádání provzdušňovacích kanálků v základové desce je znázorněno na obr. 1.



1. Věžový zásobník 200 t – základová deska – Tower storage silo 200 t – basal board

- 1 – provzdušňovací kanálky – aeration canals
- 2 – technologický kanál – technological canal
- 3 – uzávěr – closure
- 4 – rozvodný kanál – distribution canal
- 5 – ventilátor – fan
- 6 – základová deska – basal board
- 7 – šnekový dopravník – worm conveyer

NASKLADŇOVÁNÍ ZRNA DO VĚŽOVÝCH ZÁSOBNÍKŮ

Z dopravních prostředků se zrno sklápí do příjmového koše, který musí být dimenzován tak, aby umožňoval sklápění zrna z dopravních prostředků do boku i nazad. Uzávěr příjmového koše musí být ovládan shora. Z příjmového koše je zrno dopraveno pásovým dopravníkem přes aspirační zařízení (hrubé předčištění zrna) do korečkového elevátoru a spádovým potrubím je samospádem naskladněno do zásobníků. Aspiračním zařízením se oddělí 70 až 75 % nečistot a příměsí a 0,06 až 0,09 % poškozených a nevyzrálých zrn.

VYSKLADŇOVÁNÍ ZRNA Z VĚŽOVÝCH ZÁSObNÍKŮ

K vyskladňování zrna je v základové desce umístěn technologický kanál, procházející středem zásobníku po celém průměru základové desky. Ve vyskladňovacím kanálu o průřezu 0,7 x 0,5 m je umístěn pásový dopravník, jehož délka přesahuje poloměr zásobníku o jeden metr. Pásový dopravník má dopravní pás o šířce 0,5 m a ze základové desky je vyveden tak, aby z něho zrno přepadávalo do násypky korečkového elevátoru a potom samospádem do expedičních zásobníků. Vyskladňovací kanál je zakryt dřevěnými deskami a uzávěry, kterých je nad dopravním pásem celkem šest. Otevírání uzávěrů je ovládáno z vnější strany základové desky zásobníku, a to pákovým mechanismem.

Pákový mechanismus je řešen tak, že nejprve se musí otevřít středový uzávěr. Další uzávěry se otevírají až tehdy, nepadá-li středovým otvorem žádné zrno (to znamená, že zrno v zásobníku je rozmístěno pod sypným úhlem, ke středu). Při dalším otevírání uzávěrů je pásovým mechanismem otevřen uzávěr v bezprostřední blízkosti obvodu zásobníku, čímž se umožní otevření vstupního otvoru do zásobníku. Pak obsluha postupně již ručně otevírá další vyskladňovací otvory. Tímto způsobem se ve vrstvě uskladněného zrna v zásobníku vytvoří vyskladňovací koridor (opět pod sypným úhlem) nad vyskladňovacím kanálem. Gravitací je tedy vyskladněno cca 70 až 80 % uskladněného zrna. Zbytek zrna se z věžového zásobníku vyskladňuje oběžným šnekovým dopravníkem, který se nasune do zásobníku vstupním otvorem a ve vytvořeném koridoru nad vyskladňovacím kanálem se smontuje. Výkonnost šnekového vyskladňovacího dopravníku je až $40 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ s měrnou spotřebou elektrické energie $0,055 \text{ kWh} \cdot \text{t}^{-1}$.

METODIKA

Úkolem výzkumu bylo navrhnout a ověřit ošetřování a skladování zrna intenzivním provzdušňováním ve věžovém zásobníku o průměru 6 m a skladovací kapacitě 200 t.

Základová deska s navrženými provzdušňovacími kanálky pro věžový zásobník byla ověřena z hlediska vдуchotechniky. Výstupní rychlost vдуchu z vrstvy uskladněného zrna byla měřena lopatkovým anemometrem. Pro přesné zachycení výstupní rychlosti vдуchu z vrstvy uskladněného zrna byl vyroben speciální přípravek ve tvaru komolého jehlanu, který zabraňoval vnikání okolního vдуchu. Základna tohoto přípravku měřila 1 x 1 m. Rychlost vstupu vдуchu z vrstvy uskladněného zrna uvnitř zásobníku byla měřena na čtyřech soustředných kružnicích, přičemž na každé kružnici bylo vykonáno deset měření. Z naměřených hodnot byly vypočteny průměrné hodnoty. Tato měření jsou základním kritériem pro návrh optimální vдуcho-ventilační sítě provzdušňovacích kanálků.

Ošetřování zrna intenzivním provzdušňováním bylo ověřováno u linky na příjem, ošetřování a skladování

v ZD Mezno. Teplota uskladněného zrna v zásobnících byla indikována tyčovými silotermy Ptk-100 o délce 2000 mm. Prostorově byly silotermy uspořádány tak, aby postihly teplotně celý průřez vrstvy zrna uskladněného v zásobníku. Vlhkost zrna uskladněného v zásobníku byla zjišťována vlhkoměrem HE-50 přímo na pracovišti.

VLASTNÍ PRÁCE

Malokapacitní věžové zásobníky systém LIPP o průměru 6 m a jednotkové skladovací kapacitě 200 t byly ověřovány u linky na příjem, ošetřování a skladování potravinářských zrnin v ZD Mezno.

Celková skladovací kapacita linky je 1200 t. Na základě teoretického rozboru a zkušeností s intenzivním provzdušňováním uskladněného zrna ve velkokapacitních zásobnících byla navržena základová deska včetně systému provzdušňování pro tyto zásobníky, které se v ČR dosud nevyráběly. Toto uspořádání provzdušňovacích kanálků umožňuje osadit každý věžový zásobník pouze jedním středotlakým provzdušňovacím ventilátorem.

Vздуchotechnická měření byla zaměřena na zjištění výstupní rychlosti vдуchu z vrstvy uskladněného zrna v zásobnících opět při jeho intenzivním provzdušňování. Měření bylo sledováno v různých místech vrstvy uskladněného zrna, a to vždy na soustředných kružnicích (obr. 2, 3).

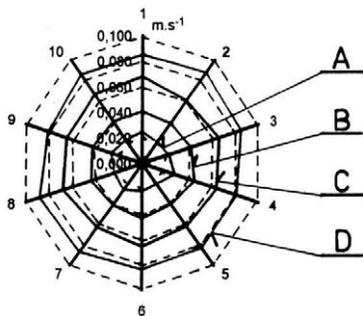
- místo A – soustředná kružnice o průměru 1 m,
- místo B – soustředná kružnice o průměru 2 m,
- místo C – soustředná kružnice o průměru 4 m,
- místo D – po obvodu věžového zásobníku.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. I.

I. Výstupní rychlost vдуchu z vrstvy uskladněného zrna ve věžovém zásobníku LIPP o průměru 6 m a jednotkové skladovací kapacitě 200 t (ZD Mezno) – Outlet air velocity from a layer of stored grain in tower silo LIPP of 6 m in diameter and unit storage capacity 200 t (Cooperative Mezno)

Počet měření ¹	Výstupní rychlost vдуchu ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) v jednotlivých místech vrstvy zrna ²				Průměrné hodnoty ³ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
	A	B	C	D	
1	0,025	0,041	0,068	0,085	0,054
2	0,021	0,039	0,061	0,088	0,052
3	0,023	0,042	0,066	0,085	0,054
4	0,028	0,045	0,064	0,081	0,054
5	0,020	0,040	0,062	0,083	0,051
6	0,022	0,044	0,066	0,084	0,054
7	0,026	0,041	0,063	0,087	0,054
8	0,024	0,044	0,068	0,088	0,056
9	0,027	0,043	0,065	0,081	0,054
10	0,023	0,041	0,067	0,086	0,054
Průměrné hodnoty	0,023	0,042	0,065	0,084	0,053

¹number of measurement, ²outlet air velocity ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) in individual sites of grain layer, ³average values



2. Průběh výstupní rychlosti vzduchu v závislosti na místech měření - LIPP průměr 6 m, kapacita 200 t (ZD Mezno) - The course of outlet air velocity in dependence on sites of measuring - LIPP 6 m in diameter, capacity 200 t (Cooperative Mezno)

vrstva A - layer A

vrstva B - layer B

vrstva C - layer C

vrstva D - layer D

číslo měření (1...10) - number of measuring (1...10)

Vzduchotechnické měření bylo provedeno za těchto podmínek:

- hmotnost uskladněného zrna v zásobníku 188 t,
- průměrná vlhkost potravinářské pšenice HANA 19 %,
- předčištění zrna aspiračním zařízením,
- ošetřování uskladněného zrna aktivním provzdušňováním v zásobníku systém LIPP o průměru 6 m, s rovným betonovým dnem, o jednotkové skladovací kapacitě 200 t,
- relativní vlhkost vzduchu 52 %,
- teplota vzduchu 23 °C.

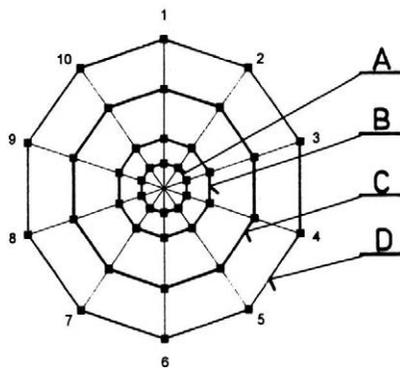
Z naměřených hodnot vyplývá, že:

- průměrná výstupní rychlost vzduchu z vrstvy uskladněného zrna po obvodu zásobníku je $0,084 \text{ m.s}^{-1}$;
- průměrná výstupní rychlost vzduchu uprostřed zásobníku, tedy na vrcholu násypného kužele, jehož výška byla 1,2 m, je $0,023 \text{ m.s}^{-1}$.

Z naměřených hodnot plyne, že výstupní rychlost vzduchu z vrstvy zrna uskladněného v zásobníku LIPP o jednotkové skladovací kapacitě 200 t je dostatečná a že nebezpečí vzniku neprodyšné kondenzační vrstvy ani znehodnocení uskladněného zrna nehrozí.

TEPLOTA ZRNA

Teplota uskladněného zrna v zásobnících o jednotkové skladovací kapacitě 200 t byla indikována šesti tyčovými silotermy Ptk-100 Ω o délce 2 000 mm, které byly rozmístěny po obvodu zásobníku. Teplota uskladněného zrna byla zapisována vždy třikrát denně v 7.00, 13.00 a 17.00 hodin. Z naměřených hodnot byly stanoveny průměrné teploty při aktivním intenzivním provzdušňování a byly vyneseny do grafu na obr. 4 v závislosti na době skladování.



3. Schéma měřených míst v zásobnících při jeho aktivním provzdušňování - Diagram of measured sites in storage silos at its active aeration

A = průměr 1 m - 1 m in diameter

B = průměr 2 m - 2 m in diameter

C = průměr 4 m - 4 m in diameter

D = po obvodu - along circumference

Průběh teploty vnějšího vzduchu je znázorněn na obr. 5.

Značné kolísání teploty uskladněného zrna v zásobnících, patrné z grafu na obr. 4, je způsobeno teplotou vnějšího vzduchu a dýcháním uskladněného zrna. Průměrné teploty uskladněného zrna v zásobnících byly naměřeny vždy v 7.00 hodin vyšší, než byla teplota vnějšího vzduchu. Bylo to způsobeno především dýcháním uskladněného zrna v době, kdy nebylo intenzivně provzdušňováno.

VLHKOST ZRNA

Průměrná vlhkost potravinářské pšenice, která byla do věžových zásobníků naskladněna, byla 19 %. Vzoroky zrna pro zjišťování vlhkosti byly odebírány při intenzivním provzdušňování každý den, a to ze spodní a z vrchní části zásobníku. Z naměřených hodnot byly určeny průměrné denní hodnoty vlhkosti zrna. Průměrné hodnoty snížení vlhkosti uskladněného zrna při intenzivním provzdušňování v závislosti na době skladování jsou patrné z grafu na obr. 6.

Vzoroky byly odebírány z horní vrstvy zrna uskladněného v zásobnících vzorkovačem z maximální hloubky 2 000 mm, ve spodní části byly odebírány přes uzavěr zásobníků z pásového dopravníku, který je umístěn v technologickém kanále každé základové desky zásobníků.

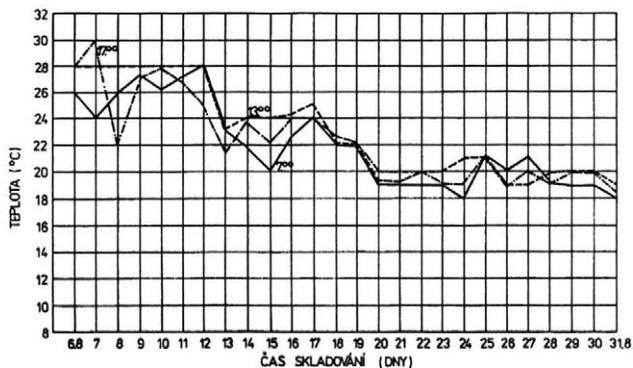
Zjištěná závislost má nelineární charakter a její průběh lze vyjádřit exponenciální funkcí:

$$\text{horní vrstva } y'1 = 18,75 \cdot 0,989^x$$

$$I_{yz} = 0,967$$

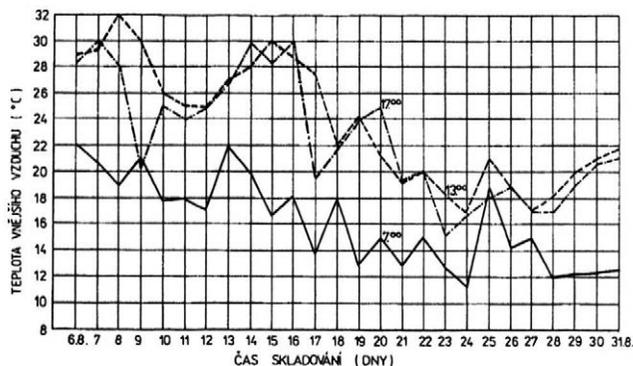
$$\text{spodní vrstva } y'2 = 17,38 \cdot 0,992^x$$

$$I_{yz} = 0,894$$



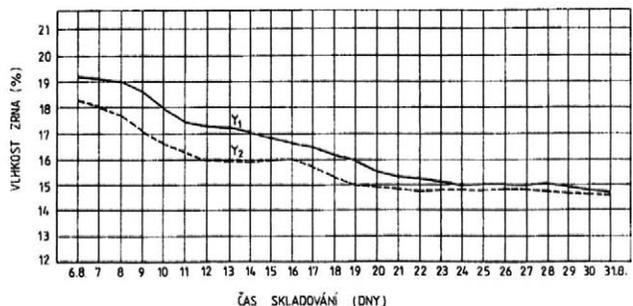
4. Teplota uskladněného zrna – Temperature of stored grain

x axis – temperature (°C)
y axis – storage time (days)



5. Teplota vnějšího vzduchu – Temperature of ambient air

x axis – temperature of ambient air (°C)
y axis – storage time (days)



6. Vlhkost zrna – Air humidity

x axis – grain moisture (%)
y axis – storage time (days)

U obou závislostí byl stanoven index korelace I_{y_2} , který dokumentuje, že v obou případech jde o velmi silné korelační závislosti o velké výstižnosti, s níž zvolená regresní funkce tuto závislost popisuje.

DISKUSE A ZÁVĚR

Zhodnotíme-li souhrnně získané výsledky, lze konstatovat, že ošetřování potravinářských zrn, které jsou

určeny pro racionální výživu, v zásobnících o jednotkové skladovací kapacitě 200 t metodou intenzivního provzdušňování plně odpovídá požadavkům ČSN 46 1100-2. V této normě jsou uvedeny požadavky na výchozí surovinu (pšenici) před jejím finálním zpracováním.

Z naměřených výsledků plyne, že k intenzivnímu provzdušňování uskladněného zrna v zásobnících je třeba výhradně použít středotlakých ventilátorů, které jsou schopny zajistit 25 až 30 m³ vzduchu na tunu uskladněného zrna za hodinu.

Základním kritériem intenzivního provzdušňování uskladněného zrna v zásobnících je výstupní rychlost vzduchu z vrstvy uskladněného zrna. Z naměřených výsledků plyne, že výstupní rychlost vzduchu z vrstvy uskladněného zrna je dostatečná, takže nebezpečí vzniku neprodyšné kondenzační vrstvy nehrozí.

Do zásobníků byla naskladněna potravinářská pšenice HANA o průměrné vlhkosti 19 %. Za 25 dnů intenzivního provzdušňování se vlhkost snížila na 14,7 %. V průběhu zkoušek bylo dosaženo poměrně nízkého poklesu vlhkosti ošetřovaného zrna, což bylo způsobeno vyšší relativní vlhkostí vzduchu nasávaného ventilátory. Dokumentuje to i spotřeba elektrické energie. Celková spotřeba elektrické energie pro ošetření zrna intenzivním provzdušňováním za 25 dnů při snížení vlhkosti zrna z 19 % na 14,7 % byla 1534,8 kWh. Hmotnost naskladněného zrna ve věžovém zásobníku byla 188 t. Měrná spotřeba elektrické energie při sní-

žení vlhkosti z 19 % na 14,7 % byla tedy 8,16 kWh na 1 tunu uskladněného zrna.

LITERATURA

HYDE, M. B.: Principles of wet grain conservation J. Proc. Inst. Agr. Eng., 1985.

KROUPA, P.: Výzkum technologických procesů posklizňového ošetřování vybraných tržních plodin. [Závěrečná zpráva.] Praha, MZe ČR 1995: 54–85.

KROUPA, P.: Základní výzkum procesu ošetřování, skladování a zpracování vybraných zemědělských plodin. [Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu.] Praha 1996. 40 s.

SINHAR, R. N. – MUIR, W. E.: Grain storage: Part of a system. The Avi Publishing Company, 1988. 481 s.

Došlo 6. 3. 1996

Kontaktní adresa:

Ing. Pavel Kroupa, CSc. Výzkumný ústav zemědělské techniky, K šancím 50, 163 07 Praha 6-Řepy, (P. O. Box 16, 163 00 Praha 618), Česká republika, tel.: 02/302 12 51–9, fax: 02/302 27 63

DÁVKOVANIE JADROVÝCH KRMÍV PRI VÄZNOM USTAJNENÍ HOVÄDZIEHO DOBYTKA

DOSAGE OF CONCENTRATES DURING STANCHION HOUSING OF CATTLE

S. Zeman

University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic

ABSTRACT: Dosing machine is designed for group and individual dosing of concentrates and briquetted feeds. The design of dosing unit was based on prerequisite that a feed ration should be inserted into the feed trough in such a way that dosing device runs at a constant speed. Based on technical conditions, efficiency of threading machine was designed and calculated – 0.3808 kg per revolution. Dosing was controlled by turning the threading machine, that is by sensing of its position using contactless sensor. The length of trough was recorded by the sensor MIME P10 which after covering a path of 1.125 m gives 421.8 impulses, processed by control system and dosing threading machines are put into operation. It was found from experimental measurements that daily and adjusted feed rations up to 1.0 kg are not recommended, because they exceed an evenness of dosing by more than +5 %. In measuring of the distribution of feed ration in trough very good results were obtained at wheel traffic velocity of dosing machine $0.322 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

dosing machine of concentrates; threading device; evenness of dosing; evenness of distribution of feed ration

ABSTRAKT: V článku sú uvedené vybrané výsledky merania rovnomernosti dávkovania jadrovej krmnej zmesi pre hovädzi dobytky pri nastavených krmných dávkach 0,4, 1,0, 2,0 kg. Z experimentálnych výsledkov sme zistili, že nastavené krmné dávky 0,4 a 1,0 kg prekračujú dovolenú hodnotu viac ako o $\pm 5 \%$. Ďalej sú uvedené výsledky rovnomernosti rozloženia krmnej dávky v krmnom žľabe, kde sme zistili, že pri krmnej dávke do 2,0 kg je vyhovujúca pojazďová rýchlosť dávkovača $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a optimálna pojazďová rýchlosť je $0,322 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pre väčšie i menšie krmné dávky.

dávkovač jadrového krmiva; závitovka; rovnomernosť dávkovania; rovnomernosť rozloženia krmnej dávky

ÚVOD

Jadrové krmivá majú významnú úlohu predovšetkým na začiatku laktácie. V tomto období je ich podiel na celkovej sušine v závislosti od dojivosti 40 až 50 %. Uprostred laktácie sa podiel jadrových krmív znižuje na 20 až 40 %, v poslednom období laktácie a v období zasušenia tvoria jadrové krmivá z celkovej spotreby sušiny 0 až 20 % (Sommer, Pajtáš, 1995). Potreba jadrových krmív bude závisieť od produkčnej účinnosti objemových krmív a obsahu energie v jadrových krmivách (Pajtáš, 1992).

Z uvedeného vyplýva, že potreba jadrových krmív na jednotku produkcie je variabilná a že pri ďalšej intenzifikácii výroby mlieka sa bez jadrových krmív nezaobídeme. Technológie v chove hovädzieho dobytky smerujú k bezobslužným technológiám s individuálnym uspokojovaním potrieb na výživu a životné prostredie. Zavádzanie bezobslužných systémov môže byť riešené po dielčích krokoch a systémom individuálneho dávkovania jadra v automatických krmných boxoch (Mihina, 1992; Vegricht, 1994). Pre programovanie veľkosti dávok boli vypracované rôzne spôsoby

(Auenhammer, 1986; Mihina, 1990). Dávkovače pre podávanie jadrových krmív sú väčšinou založené na objemovom princípe dávkovania, kde treba veľkosť porcie limitovať 200 až 300 g (Pirkelmann, 1981; Scholtysik, 1982).

Pri ustajnení s priväzovaním sa na individuálne podávanie jadrových krmív používajú pohyblivé elektronické vozíky, ktoré sú poháňané elektromotorom napájaným zo siete alebo z akumulátora a pohybujú sa po priamej dráhe tam a späť (Pirkelmann, 1982, 1987).

Vzhľadom na to, že na Slovensku sú prejazdné objekty s vážnym ustajnením zastúpené 36 %, riešili sme zakladanie jadrového krmiva práve pre tento spôsob ustajnenia zvierat. Stanovili sme technické podmienky pre zakladanie jadrového krmiva do žľabu. Technicky sme vyriešili umiestnenie zásobníka jadrového krmiva na nosnom ráme. Horná časť zásobníka so zvislými stenami má tvar obdĺžnika, ktorý prechádza v spodnej časti do tvaru ihlana. Sklon bočných stien v dolnej časti musí zodpovedať vlastnostiam obsahu zásobníka tak, aby sa materiál plynule zospával po stenách a nevytvárali sa klenby (Hofman, 1970; Dražan, Jeřáb-

be k, 1979). Výkonnosť závitovky a jeho konštrukčné parametre sme stanovili tak, aby kŕmna dávka bola založená počas jazdy dávkovača (Hofman, 1970; Zeman, 1985; Lobotka et al., 1988; Velebil et al., 1988).

MATERIÁL A METÓDA

Model dávkovača jadrového krmiva je určený pre skupinovú a individuálne dávkovanie jadrových a tvarovaných krmív. Schématické znázornenie modelu uviedli Zeman a Kolčák (1994).

Dávkovač obsahuje pravo- a ľavootáčivé závitovky, ktoré sú poháňané z vývodového hriadeľa traktora cez prevodovku s kuželovým súkoliesim a prevodovým pomerom 1 : 1.

Pri návrhu závitovkovej dávkovacej jednotky sme vychádzali z jednoduchej konštrukcie mechanizmu. Túto podmienku spĺňa závitovka, ktorá sa veľmi dobre začleňuje do automatizovaných kŕmnych liniek. Jej jednoduchá konštrukcia dáva záruku spoľahlivej funkcie. Zaberá malý priestor. Zakladanie jadrového krmiva do kŕmneho žlabu bude riešené tak, aby zvolená kŕmna dávka bola založená počas prejazdu dávkovacieho zariadenia, ktorý sa pohybuje v kŕmnej chodbe. To znamená, že konštrukčné parametre závitovky bude ovplyvňovať hmotnosť kŕmnej dávky a pojazďová rýchlosť dávkovača.

Na základe technických podmienok sme navrhli konštrukčné parametre závitovky, vypočítali a zmerali výkonnosť závitovky za jednu otáčku. Pre reguláciu dávkovania krmiva sme použili bezkontaktný snímač otáčok RMS 003 A, pri ktorom sme jednu otáčku rozdelili na štyri rovnaké impulzy, ktoré boli spracované a vyhodnotené riadiacim systémom.

Technické údaje závitovky: priemer závitovky 156 mm, priemer hriadeľa 27 mm, stúpanie závitovky 45 mm, otáčky závitovky $4 \cdot s^{-1}$, dĺžka závitovky 945 mm.

Výkonnosť závitovky za jednu otáčku sme vypočítali 0,3808 kg. Pri experimentálnych meraniach sme použili jadrové krmivo pre kŕmenie hovädzieho dobytká s obsahom sušiny 87,62 %, vlhkosti 12,38 % a hustote $550 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Experimentálne merania sme uskutočnili na Katedre mechanizácie živočíšnej a potravinárskej výroby VŠP v Nitre.

MERANIE ROVNOMERNOSTI DÁVKOVANIA

Kvalita práce dávkovača bola posudzovaná podľa rovnomernosti dávkovania jadrového krmiva. Limitným ukazovateľom bola hodnota nerovnomernosti dávky z hľadiska zootecnických požiadaviek, ktorá je určená odchýlkou $\pm 5 \%$ od požadovanej dávky. Jednotlivé regulované dávky jadrového krmiva sme dávkovali do vzorkovníka. Pre sledovanie presnosti dávkovania sme použili kontrolnú váhu s presnosťou 0,001 kg.

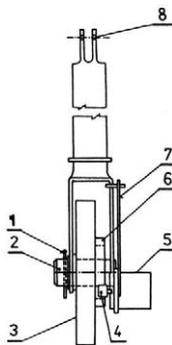
Pre dokonalý prenos krútiaceho momentu z vývodového hriadeľa traktora na dávkovacie závitovky je po-

trebné, aby ho elektromagnetické spojky prenášali bez preklzu lamiel. Tieto spojky musia byť optimálne nastavené, aby dávkovač spĺňal požiadavku na presnosť dávkovania.

Činnosť elektromagnetických spojok opísali Zeman, Kolčák (1994).

MERANIE ROVNOMERNOSTI ROZLOŽENIA KŕMNEJ DÁVKY V KŕMNO M ŽLABE

Pri ustajnení hovädzieho dobytká s privádzaním pripadá na jedno ustajnené zviera dĺžka žlabu 1,125 m. Preto bolo potrebné navrhnuť zariadenie na snímanie dĺžky žlabu. Meranie sme robili snímačom typu MIME P10. Schéma zariadenia je na obr. 1. Prevodový pomer medzi kolesom (4, 6) je 4,86. Po prejdení dráhy 1,125 m snímač (5) udelí 421,8 impulzov, ktoré spracuje riadiaci systém a dá povel na zapnutie elektromagnetických spojok. Tým sa uvedú do činnosti dávkovacie závitovky. Vyhodnotenie výsledkov sme spracovali na počítači PC 486 s programom pre grafiku HARWARD GRAPHIC.



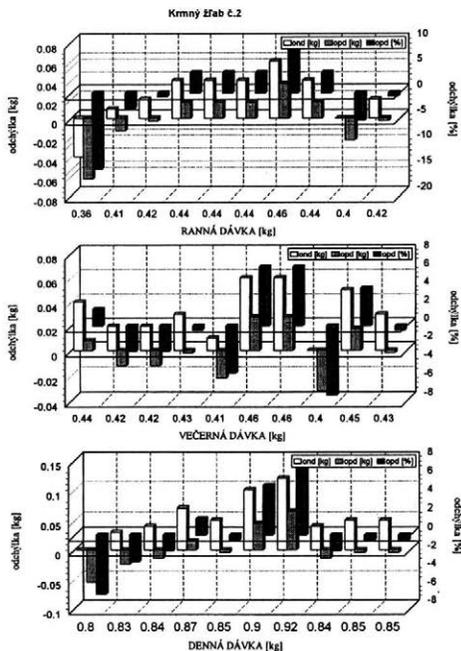
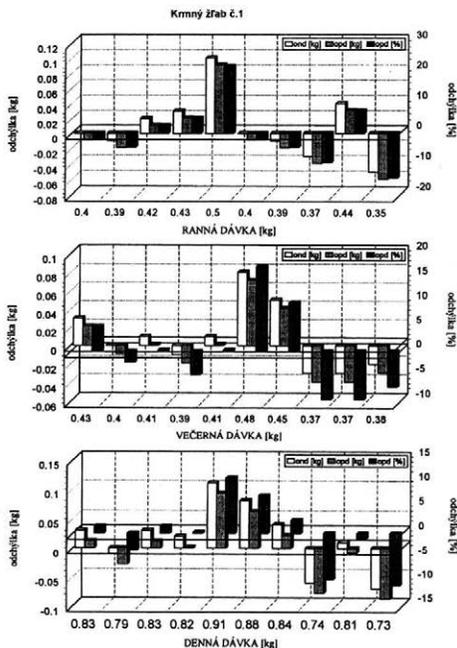
1. Schéma snímača dráhy – Diagram of sensor of path

- 1 – závlačka – split pin
- 2 – hriadeľ – shaft
- 3 – koleso – wheel
- 4 – koleso snímača – wheel of sensor
- 5 – snímač MIME P 10 – sensor MIME P 10
- 6 – pogumované koleso – rubber-coated wheel
- 7 – ťažko – draw bar
- 8 – otvor $\varnothing 8 \text{ mm}$ – opening of 8 mm in diameter

VÝSLEDKY A DISKUSIA

MERANIE ROVNOMERNOSTI DÁVKOVANIA

Rovnomernosť dávkovania sme sledovali z hľadiska hmotnosti založenej dávky. Kŕmne dávky sme naprogramovali do riadiaceho systému pre kŕmne žlaby č. 1 a 2, s rozsahom kŕmnych dávok od 0,4 + 2,6 kg s krokom po 0,2 kg.



2. Nerovnomernosť dávky krmiva vyjadrená odchýlkou od nastavenej a priemernej hodnoty – nastavená kŕmna dávka 0,4 kg, denná kŕmna dávka 0,8 kg – Nonuniformity of the feed ration expressed by deviation from adjusted and average value – adjusted feed ration 0.4 kg, daily ration 0.8 kg

Skratky k obrázkom 2 až 4 – Abbreviations to Figs 2 to 4:

ond – odchýlka od nastavenej dávky (kg) – ond - deviation from adjusted ration (kg)

opd – odchýlka od priemernej dávky (kg, %) – opd - deviation from average ration (kg, %)

Výsledky namerané a spracované pre nastavenú kŕmnu dávku 0,4 kg a dennú kŕmnu dávku 0,8 kg pre kŕmne žlaby č. 1 a 2 sú na obr. 2. Prekročené nastavenej dávky pri rannom dávkovaní sme namerali na stojiskách č. 4, 5, 9, 10 a pri večernom dávkovaní na šiestich stojiskách. Z hodnotenia dennej dávky u kŕmneho žlabu č. 1 možno konštatovať, že z daného merania od priemernej dávky vyhovujú v šiestich prípadoch. Pri meraní rovnomernosti dávkovania jadrového krmiva bolo zistené, že pre kŕmny žlab č. 2 bola dovolená hranica zootechnických požiadaviek prekročená o $\pm 5\%$ pri rannom a večernom zakladaní jadrového krmiva na troch stojiskách.

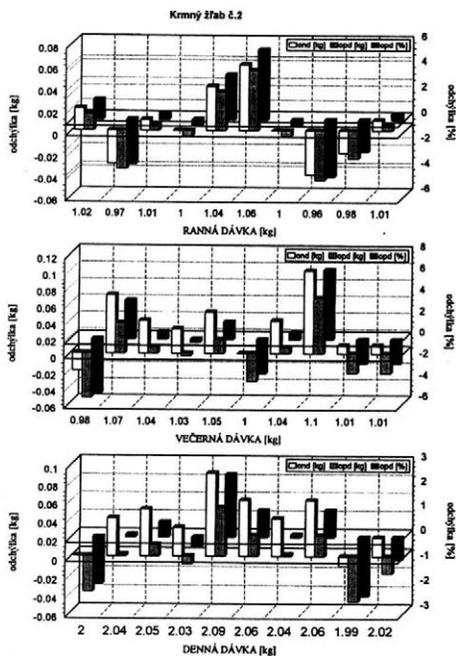
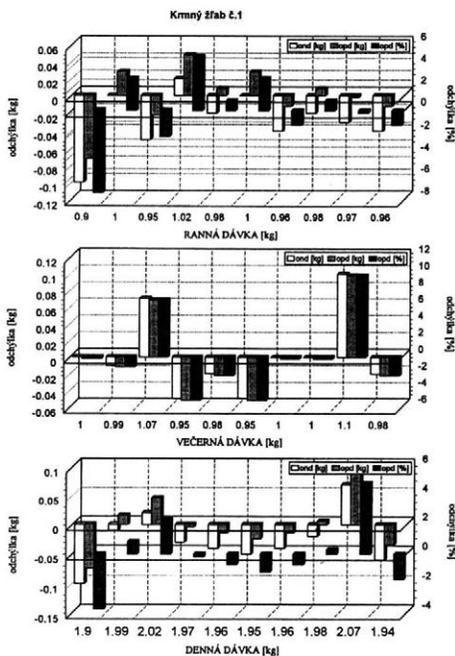
Z vyhodnotenia nameraných hodnôt pri zakladaní jadrového krmiva pri nastavenej dávke 1,0 kg a dennej dávke 2,0 kg (obr. 3) vidno, že sa kŕmne dávky vyrovnali. U kŕmneho žlabu č. 1 bola pri rannom zakladaní jadrového krmiva dovolená hranica prekročená o 2,407 %, a to len v jednom prípade, pri večernom dávkovaní v štyroch prípadoch, a to maximálne 4,780 % nad dovolenú hranicu zootechnických požiadaviek. Denné kŕmne dávky spĺňajú zootechnické požiadavky. Pre kŕmny žlab č. 2 sme prekročenie namerali len v jednom prípade, a to o 0,473 % nad dovolenú

hranicu pri rannom zakladaní krmiva, pri večernom zakladaní v dvoch prípadoch, a to maximálne o 1,486 % nad dovolenú hranicu.

Nerovnomernosť dávkovania a jej vyhodnotenie pre nastavenú dávku 2,0 kg a dennú dávku 4,0 kg uvádza obr. 4 pre kŕmne žlaby č. 1 a 2. Môžeme konštatovať, že nastavené ranné, večerné a denné dávky spĺňajú zootechnické požiadavky pre dávkovacie zariadenia, ktoré sú uvedené v karte požiadaviek pre sústavu poľnohospodárskych strojov (Veprich, Svoboda, 1989). Ďalším zvyšovaním kŕmnych dávok sa presnosť dávkovania závitkovým dávkovačom výrazne zvyšuje.

MERANIE ROVNOMERNOSTI ROZLOŽENIA KŕMNEJ DÁVKY K POZDLŽNEJ OSI KŕMNEHO ŽLABU

Model dávkovača je nesený vzadu na kolesovom traktore Z-4011. Z rýchlostných parametrov traktora sme zmerali pojazdovú rýchlosť, aby vyhovovala požiadavke maximálneho rozloženia dávky v kŕmnom žlabu. Princíp merania vidno na obr. 5. Na začiatku merania bol vyznačený stred modelového kŕmneho žlabu, kde na obe strany predstavovala dĺžka stupnice 1,125 m,



3. Nerovnomernosť dávky krmiva vyjadrená odchýlkou od nastavenej a priemernej hodnoty – nastavená kŕmna dávka 1,0 kg, denná kŕmna dávka 2,0 kg – Nonuniformity of the feed ration expressed by deviation from adjusted and average value – adjusted feed ration 1.0 kg, daily ration 2.0 kg

simulujúca model dĺžky jedného stojiska pre vážne ustajnenie zvierat. Po založení kŕmnej dávky dávkovacím zariadením do modelových kŕmnych žľabov sme odmerali rozloženie kŕmnej dávky od vyznačeného stredu kŕmneho žľabu pre jednotlivé stojiská vpravo a vľavo podľa zvoleného smeru pozorovania.

Výsledky merania pri pojazdovej rýchlosti dávkovateľa $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a nastavenej kŕmnej dávke 2,0 kg sú uvedené v tab. I. Rozloženie kŕmnej dávky je na hranici technických požiadaviek pre dávkovacie zariadenie. Ďalším zvýšením kŕmnej dávky by sa rozloženie kŕmnej dávky prekročilo o $\pm 5 \text{ cm}$.

Ďalšie merania sme robili pri pojazdovej rýchlosti $0,322 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ktorá bola najpriaznivejšia aj pre maximálnu nastavenú dávku 2,6 kg. Výsledky merania uvedené v tab. II preukazujú vysokú presnosť riadenia dávkovania s maximálnou zameranou odchýlkou od stredu kŕmneho žľabu prislúchajúcej pre jedno ustajnené zviera $\pm 5 \text{ cm}$. Maximálna odchýlka vpravo predstavuje 4,1 % a vľavo $-7,1 \text{ %}$ od priemerného rozloženia kŕmnej dávky od stredu kŕmneho žľabu.

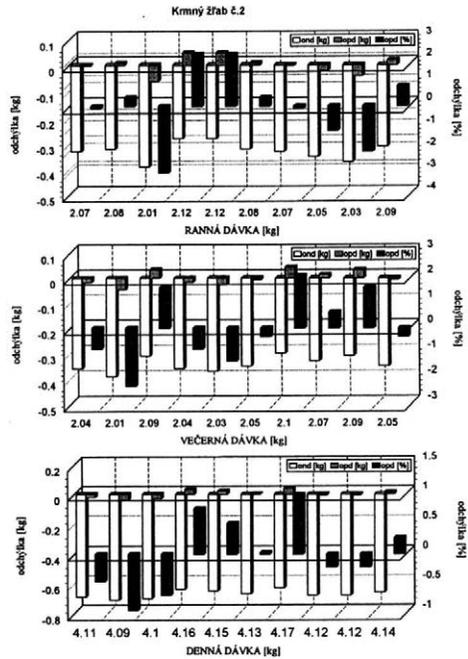
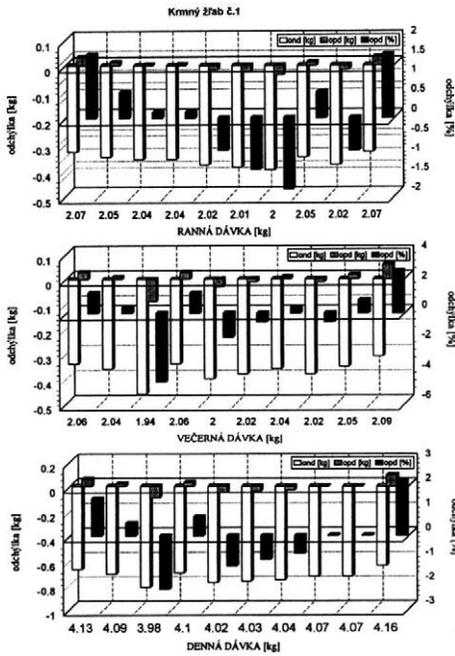
ZÁVER

Výsledky z experimentálnych meraní v laboratórnych podmienkach majú slúžiť na získavanie vedomos-

tí o dávkovacích zariadeniach, ale hlavne na poznanie jednotlivých konštrukčných častí, ktoré ovplyvňujú jeho funkciu.

Navrhnuté dávkovacie zariadenie umožňuje individuálne a skupinové dávkovanie podľa úžitkovosti jednotlivých skupín zvierat pri meniteľnom kŕmnom programe. Z nameraných kŕmnych dávok sme zistili, že nastavená kŕmna dávka 0,4 kg bola v 42,5 % prípadov prekročená viac ako o $\pm 5 \text{ %}$ a denná dávka 0,8 kg v 35 % prípadov. Pri nastavenej dávke 1,0 kg sme zaznamenali prekročenie nastavenej dávky cca u 20 % prípadov, ale denné dávky 2,0 kg spĺňali zootecnické požiadavky. Pri ostatných meraniach, napr. pri nastavenej dávke 2,0 kg a dennej dávke 4,0 kg, sme nezaznamenali prekročenie kŕmnej dávky viac ako $\pm 5 \text{ %}$. Táto nepresnosť dávkovania bola spôsobená technickými parametrami dávkovacej jednotky, a preto pre takéto malé hmotnosti dávok jadrového krmiva neodporúčame zakladať krmivo do kŕmneho žľabu. Rovnomernosť dávkovania je ovplyvnená ďalším faktorom, a to veľkosťou vzduchovej medzery medzi kotvou doskou a magnetovým telesom u elektromagnetickej spojky (Zeman, Kolčák, 1994).

Pojazdovú rýchlosť $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pri kŕmnej dávke väčšej ako 2,0 kg neodporúčame preto, lebo by sa krmivo rozložilo na dĺžku viac ako 0,6 m, čo je neprípustné pre založenie kŕmnej dávky pre jednu dojnicu pri ustajnení



4. Nerovnomernosť dávky krmiva vyjadrená odchýlkou od nastavenej a priemernej hodnoty - nastavená krmná dávka 2,0 kg, denná krmná dávka 4,0 kg – Nonuniformity of the feed ration expressed by deviation from adjusted and average value – adjusted feed ration 2.0 kg, daily ration 4.0 kg

zvierat s príväzovaním. Optimálna pojazďová rýchlosť bola $0,322 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, kde pri maximálnej nastavenej dávke 2,6 kg sme dosiahli požadovanú presnosť rozloženia

krmiva v krmnom žľabe, a to s maximálnou odchýlkou vpravo 14,6 % a vľavo 7,8 % od priemerného rozloženia krmnej dávky.

I. Výsledky merania dávkovania jadrového krmiva pri pojazďovej rýchlosti $v_{poj} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a hmotnosti dávky 2,0 kg – Results of measurement of dosage of concentrate feed at wheel traffic velocity $v_{poj} = 0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and weight of ration 2.0 kg

Číslo merania ¹	Rozloženie dávky v krmnom žľabe od stredu pozdĺžneho usporiadania ² (cm)		Priemerné rozloženie dávky od stredu ³ (cm)	Odchýlka ⁴			
	vpravo ⁵	vľavo ⁶		(cm)		(%)	
				vpravo	vľavo	vpravo	vľavo
1	28	31	±30,5	-2,5	+0,5	-8,2	+1,6
2	29	30		-1,5	-0,5	-4,9	-1,6
3	30	32		-0,5	+1,5	-1,6	+4,9
4	30	33		-0,5	+2,5	-1,6	+8,2
5	32	31		+1,5	+0,5	+4,9	+1,6
6	30	33		-0,5	+2,5	-1,6	+8,2
7	31	30		+0,5	-0,5	+1,6	-1,6
8	29	31		-1,5	+0,5	-4,9	+1,6
9	27	33		-3,5	+2,5	-11,5	+8,2
10	30	30		-0,5	-0,5	-1,6	-1,6

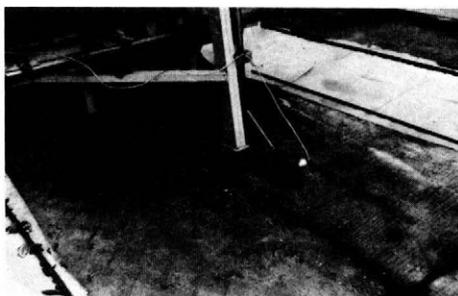
priemerné rozloženie dávky ± od stredu: 30,5 cm – average distribution of ration ± from centre: 30.5 cm
 maximálna odchýlka vpravo: +1,5 cm = +4,9 % – right maximum deviation
 maximálna odchýlka vľavo: -0,5 cm = -1,6 % – left maximum deviation

¹measurement No., ²distribution of ration in feed trough from centre of longitudinal arrangement, ³average distribution of dose from centre, ⁴deviation, ⁵right, ⁶left

II. Výsledky merania dávkovania jadrového krmiva pri pojazdovej rýchlosti $v_{poj} = 0,322 \text{ m.s}^{-1}$ a hmotnosti dávky 2,6 kg – Results of measurement of dosage of concentrate feed at wheel traffic velocity $v_{poj} = 0.322 \text{ m.s}^{-1}$ and weight of ration 2.6 kg

Číslo merania ¹	Rozloženie dávky v kŕmnom žľabe od stredu pozdĺžneho usporiadania ² (cm)		Priemerné rozloženie dávky od stredu ³ (cm)	Odchýlka ⁴			
	vpravo ⁵	vľavo ⁶		(cm)		(%)	
				vpravo	vľavo	vpravo	vľavo
1	26	27	±26,9	-0,9	+0,1	-3,3	+0,4
2	25	27		-1,9	+0,1	-7,1	+0,4
3	26	28		-0,9	+1,1	-3,3	+4,1
4	28	25		+1,1	-1,9	+4,1	-7,1
5	25	28		-1,9	+1,1	-7,1	+4,1
6	27	27		+0,1	+0,1	+0,4	+0,4
7	27	26		+0,1	-0,9	+0,4	-3,3
8	28	28		+1,1	+1,1	+4,1	+4,1
9	26	27		-0,9	+0,1	-3,3	+0,4
10	28	29		+1,1	+2,1	+4,1	+7,8

priemerné rozloženie dávky ± od stredu: 26,9 cm
 maximálna odchýlka vpravo: +1,1 cm = +4,1 %
 maximálna odchýlka vľavo: -1,9 cm = -7,1 %



5. Meranie dĺžky stojiska – funkčný model – Measurement of length of standing – functional model

LITERATÚRA

AUENHAMMER, H.: Stand und Entwicklungstendenzen der Mikroelektronik in der Milchviehhaltung. In: Int. Computerkongress, Hannover 1986: 91–107.
 DRAŽAN, F. – JEŘÁBEK, K.: Manipulace s materiálem. Praha, SNTL 1979. 456 s.
 HOFMAN, Š.: Zemědělské stroje. Stroje pro živočišnou výrobu II. Praha, ČVUT 1970. 319 s.
 LOBOTKA, J. et al.: Stroje pro živočišnou výrobu. Bratislava, Príroda 1988. 419 s.
 MIHINA, Š.: Uplatnenie mikroelektroniky v živočíšnej výrobe. In: DRABANT a kol.: Automatizácia technologických procesov. Nitra, VŠP 1990: 128–139.

MIHINA, Š.: Individuálne podávanie a registrácia spotreby krmív v chove hovädzieho dobytku. [Habilitationárka práca.] Nitra, 1992. 110 s. – Vysoká škola poľnohospodárska.
 PAJTÁŠ, M.: Vplyv kvality objemových krmív na ich produkčnú účinnosť. Nitra, Zborník VŠP 1992: 213–216.
 PIRKELMANN, H.: Wie genau teilen Abrufautomaten Kraftfutter zu. DLZ Landtech., 32, 1981 (9): 1224–1227.
 PIRKELMANN, H.: Techniken zur Kraftfuttermittelvorgabe im Anbindestall. Agrar-Übersicht, 33, 1982 (2): 50–53.
 PIRKELMANN, H.: Techniken zur leistungsgerechten Rinderfütterung. Bayer. Landw. Jahrbuch, 1987 (4): 449–459.
 SCHOLTYSIK, J.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Genauigkeit von Zellenraddosierungen für Kraftfuttermittel. Grundl. Landtechnik, 32, 1982 (1): 1–28.
 SOMMER, A. – PAJTÁŠ, M.: Výživa hovädzieho dobytku – rozhodujúci faktor výroby mlieka a mäsa. Nitra, Zborník VŠP 1995.
 VEGRICHT, J.: Automatická identifikace zvířat. Mechan. Poľnohosp., 1994 (1): 16–20.
 VEGRICHT, J. – SVOBODA, J.: Individuální dávkování jádrných krmív ve vazných stájích dojnic se stacionární krmnou linkou. Zeměd. Techn., 35, 1989 (6): 369–378.
 VELEBIL, M. et al.: Stroje pro živočišnou výrobu II. Praha, VŠZ 1988. 224 s.
 ZEMAN, S.: Vyhodnotenie práce závitovkoveho dávkovača. Mechan. Poľnohosp., 35, 1985 (11): 503–505.
 ZEMAN, S. – KOLČÁK, R.: Vplyv veľkosti vzduchovej medzery elektrickej spojky na dynamický krútiaci moment pri dávkovaní. Poľnohospodárstvo, 40, 1994 (12): 928–934.

Došlo 14. 6. 1996

Kontaktná adresa:

Ing. Stanislav Zeman, CSc. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Kalvárska 3, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel.: 087/51 37 01, fax: 087/41 70 03

POKYNY PRO AUTORY

Časopis uveřejňuje původní vědecké práce, krátká sdělení a výběrově i přehledné referáty, tzn. práce, jejichž podkladem je studium literatury a které shrnují nejnovější poznatky v dané oblasti. Práce jsou uveřejňovány v češtině, slovenštině nebo angličtině. Rukopisy musí být doplněny krátkým a rozšířeným souhrnem (včetně klíčových slov).

Autor je plně odpovědný za původnost práce a za její věcnou i formální správnost. K práci musí být přiloženo prohlášení autora o tom, že práce nebyla publikována jinde.

O uveřejnění práce rozhoduje redakční rada časopisu, a to se zřetelem k lektorským posudkům, vědeckému významu a přínosu a kvalitě práce.

Rozsah vědeckých prací nemá přesáhnout 15 stran psaných na stroji včetně tabulek, obrázků a grafů. V práci je nutné používat jednotky odpovídající soustavě měřových jednotek SI (ČSN 01 1300).

Vlastní úprava rukopisu má odpovídat státní normě ČSN 88 0220 (formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhůzů na řádku, mezi řádky dvojitě mezery), k rukopisu je vhodné přiložit disketu s prací pořízenou na PC v některém textovém editoru, nejlépe v T602, a s grafickou dokumentací. Tabulky, grafy a fotografie se dodávají zvlášť, nepodlépují se. Na všechny přílohy musí být odkazy v textu.

Pokud autor používá v práci zkratky jakéhokoliv druhu, je nutné, aby byly alespoň jednou vysvětleny (vypsány), aby se předešlo omylům. V názvu práce a v souhrnu je vhodné zkratky nepoužívat.

Název práce (titul) nemá přesáhnout 85 úhůzů. Jsou vyloučeny podtitulky článků.

Krátký souhrn (Abstrakt) je informačním výběrem obsahu a závěru článku, nikoliv však jeho pouhým popisem. Musí vyjádřit všechno podstatné, co je obsaženo ve vědecké práci, a má obsahovat základní číselné údaje včetně statistických hodnot. Musí obsahovat klíčová slova. Nemá překročit rozsah 170 slov. Je třeba, aby byl napsán celými větami, nikoliv heslovitě. Je uveřejňován a měl by být dodán ve stejném jazyce jako vědecká práce.

Rozšířený souhrn (Abstract) je uveřejňován v angličtině, měly by v něm být v rozsahu cca 1–2 strojopisných stran komentovány výsledky práce a uvedeny odkazy na tabulky a obrázky, popř. na nejdůležitější literární citace. Je vhodné jej (včetně názvu práce a klíčových slov) dodat v angličtině, popř. v češtině či slovenštině jako podklad pro překlad do angličtiny.

Úvod má obsahovat hlavní důvody, proč byla práce realizována a velmi stručnou formou má být popsán stav studované otázky.

Literární přehled má být krátký, je třeba uvádět pouze citace mající úzký vztah k problému.

Metoda se popisuje pouze tehdy, je-li původní, jinak postačuje citovat autora metody a uvádět jen případné odchylky. Ve stejné kapitole se popisuje také pokusný materiál.

Výsledky – při jejich popisu se k vyjádření kvantitativních hodnot dává přednost grafům před tabulkami. V tabulkách je třeba shrnout statistické hodnocení naměřených hodnot. Tato část by neměla obsahovat teoretické závěry ani dedukce, ale pouze faktické nálezy.

Diskuse obsahuje zhodnocení práce, diskutuje se o možných nedostatecích a práce se konfrontuje s výsledky dříve publikovanými (požaduje se citovat jen ty autory, jejichž práce mají k publikované práci bližší vztah). Je přípustné spojení v jednu kapitolu spolu s výsledky.

Literatura musí odpovídat státní normě ČSN 01 0197. Citace se řadí abecedně podle jména prvních autorů. Odkazy na literaturu v textu uvádějí jméno autora a rok vydání. Do seznamu se zařadí jen práce citované v textu. Na práce v seznamu literatury musí být odkaz v textu.

Na zvláštním listě uvádí autor plné jméno (i spoluautorů), akademické, vědecké a pedagogické tituly a podrobnou adresu pracoviště s PSC, číslo telefonu a faxu, popř. e-mail.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Original scientific papers, short communications, and selectively reviews, that means papers based on the study of technical literature and reviewing recent knowledge in the given field, are published in this journal. Published papers are in Czech, Slovak or English. Each manuscript must contain a short and a longer summary (including the key words).

The author is fully responsible for the originality of his paper, for its subject and formal correctness. The author shall make a written declaration that his paper has not been published in any other information source.

The board of editors of this journal will decide on paper publication, with respect to expert opinions, scientific importance, contribution and quality of the paper.

The paper extent shall not exceed 15 typescript pages, including tables, figures and graphs.

Manuscript layout shall correspond to the State Standard ČSN 88 0220 (quarto, 30 lines per page, 60 strokes per line, double-spaced typescript). A PC diskette should be provided with the paper, written in an editor program, preferably T602, and with graphical documentation. Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes.

The **title** of the paper shall not exceed 85 strokes. Subtitles of the papers are not allowed either.

Abstract is an information selection of the contents and conclusions of the paper, it is not a mere description of the paper. It must present all substantial information contained in the paper. It shall not exceed 170 words. It shall be written in full sentences, not in form of keynotes, and comprise base numerical data including statistical data. It must contain key words. It should be submitted in English and if possible also in Czech or Slovak.

Introduction has to present the main reasons why the study was conducted, and the circumstances of the studied problems should be described in a very brief form.

Review of literature should be a short section, containing only literary citations with close relation to the treated problem.

Only original method shall be described, in other cases it is sufficient enough to cite the author of the used method and to mention modifications of this method. This section shall also contain a description of experimental material.

In the section **Results** figures and graphs should be used rather than tables for presentation of quantitative values. A statistical analysis of recorded values should be summarized in tables. This section should not contain either theoretical conclusions or deductions, but only factual data should be presented here.

Discussion contains an evaluation of the study, potential shortcomings are discussed, and the results of the study are confronted with previously published results (only those authors whose studies are in closer relation with the published paper should be cited). The sections Results and Discussion may be presented as one section only.

The citations are arranged alphabetically according to the surname of the first author. References in the text to these citations comprise the author's name and year of publication. Only the papers cited in the text of the study shall be included in the list of references. All citations shall be referred to in the text of the paper.

If any abbreviation is used in the paper, it is necessary to mention its full form at least once to avoid misunderstanding. The abbreviations should not be used in the title of the paper nor in the summary.

The author shall give his full name (and the names of other collaborators), academic, scientific and pedagogic titles, full address of his workplace and postal code, telephon and fax number or e-mail.

OBSAH – CONTENT

Bohuslávka Z.: Teoretická a experimentální analýza fotometrického měření pevných nečistot v exploatovaných motorových olejích – Theoretical and experimental analysis of photometric measurement of solid contaminants in exploited engine oils	1
Vitliemov V. G., Ivanov I. V., Tanov R. R.: Particles flight modelling and optimisation for technological processes in mechanised agriculture: identification problems – Modelování letu částic a optimalizace technologických prvků při mechanizaci zemědělství: určování koeficientů	9
Tanimoto E., Yamamoto R.: Change in cell wall extensibility during gibberellin-regulated growth of pea roots – Změny průtažnosti buněčných stěn při gibberelinem řízeném růstu kořínků hrachu	15
Mišun V., Bauer F.: Dynamic load acting on a tractor during ploughing – Dynamická zatížení traktoru působící při orbě	21
Kroupa P.: Ošetřování a skladování potravinářských zrnin v zásobnících o kapacitě 200 t – Treatment and storage of food cereals in storage silos of capacity 200 t	29
Zeman S.: Dávkovanie jadrových krmív pri väznom ustajnení hovädzieho dobytku – Dosage of concentrates during stanchion housing of cattle	35