

INSTITUTE OF AGRICULTURAL AND FOOD INFORMATION

*Research in*  
**AGRICULTURAL  
ENGINEERING**

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES

PTM 44524

**2**

VOLUME 46  
PRAGUE 2000  
ISSN 1212-9151

# RESEARCH IN AGRICULTURAL ENGINEERING

## formerly ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA since 1954 to 1999

Mezinárodní vědecký časopis vydávaný z pověření Ministerstva zemědělství České republiky a pod gestí České akademie zemědělských věd

An international journal published under the authorization by the Ministry of Agriculture and under the direction of the Czech Academy of Agricultural Sciences

### Editorial Chief

Jiří Fiala  
Research Institute of Agricultural Engineering,  
Praha, Czech Republic

### Associate Editors

Zdeněk Pastorek  
Research Institute of Agricultural Engineering,  
Praha, Czech Republic

Jiří Blahovec  
Czech University of Agriculture,  
Praha, Czech Republic

### Executive Editor

Jovanka Václavíčková  
Institute of Agricultural and Food Information,  
Praha, Czech Republic

### Editorial Board

J. De Baerdemaeker, Katholieke Universiteit, Leuven,  
Belgium

V. Dubrovin, Ukrainian Academy of Agrarian Sciences,  
Kyiv, Ukraina

M. Estler, Technische Universität München, Institut für  
Landtechnik, Freising, BRD

J. Jech, Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak  
Republic

P. Jevič, Research Institute of Agricultural Engineering,  
Praha, Czech Republic

D. Kurtener, Agrophysical Institute, St. Petersburg, Russia

J. Mareček, Mendel University of Agriculture and Forestry,  
Brno, Czech Republic

R. Markovič, Slovak Testing Centre, Rovinka, Slovak  
Republic

A. Mizrach, Institute of Agricultural Engineering, Bet  
Dagan, Israel

F. Ptáček, AGROTEC, Hustopeče u Brna, Czech Republic

M. N. Rifai, Nova Scotia Agricultural College, Truro, Nova  
Scotia, Canada

B. Stout, Texas A&M University, College Station, USA

D. S. Strebkov, Russian Academy of Agricultural Sciences,  
Moscow, Russia

J. Šabatka, University of South Bohemia, České Budějovice,  
Czech Republic

**Cíl a odborná náplň:** Časopis publikuje původní práce a studie typu review z oborů zemědělská technika, zemědělské technologie, zpracování zemědělských produktů, venkovské stavby a s tím spojených problémů ekologických, energetických, ekonomických, ergonomických a agrofyzikálních.

Abstrakty z časopisu jsou zahrnuty v těchto databázích: Agris, CAB Abstracts, Czech Agricultural Bibliography, WLAS.

**Periodicita:** Časopis vychází čtvrtletně (4x ročně), ročník 46 vychází v roce 2000.

**Přijímání rukopisů:** Rukopisy ve dvou vyhotoveních je třeba zaslat na adresu redakce: Ing. Jovanka Václavíčková, vedoucí redaktorka, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.:+420 2 24 25 79 39, fax:+420 2 24 25 39 38, e-mail forest@uzpi.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 2000 je 248 Kč.

**Scope:** The journal publishes original scientific papers and review studies on agricultural engineering, agricultural technologies, processing of agricultural products, countryside buildings and related problems from ecology, energetics, economy, ergonomics and applied physics and chemistry.

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 46 appearing in 2000.

**Acceptance of manuscripts:** Two copies of manuscript should be addressed to: Ing. Jovanka Václavíčková, editor-in-chief, Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2, Tel.:+420 2 24 25 79 39, Fax:+420 2 24 25 39 38, e-mail: forest@uzpi.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 2000 is 62 USD (Europe), 64 USD (overseas).

# DETERMINATION OF WATER RETENTION CURVES IN THE FRACTAL SOIL MEDIUM

## STANOVENIE RETENČNÝCH KRIVIEK PRE VODU VO FRAKTÁLNO PÔDNOM MÉDIU

L. Kubík

*Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*

**ABSTRACT:** The empirical fitting coefficients in the empirical models for water retention and hydraulic conductivity are related to soil texture. The model based on the concept of fractal geometry is proposed for soil texture. Evaluation of water retention properties is based on random fractals and relates these properties to the Brooks and Corey empirical retention model. The fractal dimension of 2D soil images controls the water retention properties of the random soil fractal texture.

soil; retention curve; fractal dimension; texture

**ABSTRAKT:** Koeficienty získané vyhladením empirických hodnôt v empirických modeloch pre vodnú retenciu a hydraulickú vodivosť majú priamy vzťah k pôdnej textúre. V práci je navrhnutý model pre pôdnu textúru založený na fraktálnej geometrii. Ohodnotenie retenčných vlastností pre vodu je založené na náhodných fraktáloch a tieto vlastnosti vzťahuje k Brookovmu a Coreyho empirickému retenčnému modelu. Fraktálna dimenzia povrchu dvojrozmerných pôdných obrazov môže kontrolovať retenčné vlastnosti vody v náhodnej pôdnej fraktálnej textúre.

pôda; retenčná krivka; fraktálna dimenzia; textúra

### INTRODUCTION

Measuring soil water retention characteristic curves is expensive and time consuming. Several efforts have been made to predict water retention from easily and routinely obtainable textural and structural soil properties. The Brooks and Corey power law function (Brook, Correy, 1964) has been widely used to predict the water retention properties of soil (Tyler, Wheatcraft, 1990). The function is:

$$S_e = \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right) = \left( \frac{\Psi}{\Psi_a} \right)^{-\lambda} \quad (1)$$

where:  $S_e$  – effective saturation  
 $\theta_s$  – saturated water content  
 $\theta$  – water content  
 $\Psi_a$  – the air entry pressure  
 $\Psi$  – the capillary pressure  
 $\lambda = 1/b_c$ ,  $b_c$  – fitting parameter

It has been called the pore size distribution index. The value of  $b_c$  has been shown by many authors (Clapp, Hornberger, 1978) to be related to soil texture. Average values of  $b_c$  range from 4.05 for sand to 11.5 for clay soil.

The concept of fractal geometry was used for soil texture and pore structure description. Some particle size distributions in granular soils have already been shown to display self-similar scaling that is typical of

fractal objects. The fractal model based upon the fractal dimension definition of self-similar objects was suggested to show the relationship of  $b_c$  to the geometry of complex porous media with the emphasis on a loam clay soil. The concept of fractal geometry is represented in the Appendix A. The theory of the fractal retention curves is represented in the Appendix B.

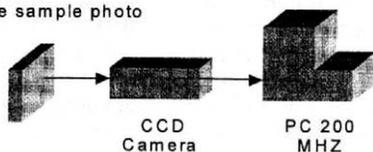
### MATERIALS AND METHODS

The samples of loam clay soil were taken by the method of Kopecky's cylinders and inserted into the vessel of vacuum pump, where the air pressure was decreased on several hundreds pascals and than were impregnated by the resin, CHS Epoxy 1200, with hardening agent P-11 to conserve the original sample structure. Resin was dropped from the stopcock burette directly on the soil sample placed into the vacuum vessel. The pores were well degasified and filled with resin. The samples were cut on the thin sections and polished. The photographs of sample surfaces were taken through polarizing microscope which set off the places where pores were placed. Sixteen times magnification was used and photos of the size 17 x 11 cm were made from 24 x 36 mm negative. Thus the original scanned size was 1.5 x 2.3 mm. The final magnification on photos of the size 17 x 11 cm was 75.6 times. The large white

areas on the photos were the pores filled with a calcit. The small white areas were the parts of the quartz and the black areas represented the organic solid parts of soil. Three soil samples were used to evaluation. The samples of loam clay soil which were used for the measurement had the density  $\rho = (2591.83 \pm 66.03) \text{ kg.m}^{-3}$ , the bulk density  $\rho_E = (945.00 \pm 33.80) \text{ kg.m}^{-3}$ , the three-dimensional porosity 63% and the moisture content 20.8%.

The black and white CCD camera SONY CB-2801 with the array of size 576 x 768 pixels was used to digitize the photos of soil sample surface and the framegraber which provided the collaboration with PC Pentium 200 MHz. The control software IMPOR was used for the camera to provide a preprocessing of the snapshots. The block diagram of the recording equipment is shown in the Fig. 1. Digitized samples were adjusted on the size 512 x 512 pixels with the resolution of 47 pixels/cm. There was 0.213 mm per pixel. The adaptation was needed for using of the software KARL2 to process the digitized snapshots. The size of the changed snapshots were 11 x 11 cm. 1 mm on the original photo of the size 11 x 11 cm corresponded to 0.013 mm of original samples. One pixel on the digitized snapshot was 0.003 mm on the original sample. The good contrast between black and white colour were achieved by graphic filtering on the digitized sample snapshots. White colour represented the pores and black colour the solid parts of soil. The program KARL2 was sensitive to white colour. The digitized samples were covered by raster of the side size square  $R$  (pixel). The raster was changed through different sizes (Tab. I) and the occupation of the squares was always determined. The number of pores was always determined and so the surface porosity of the sample and the fractal dimension were established. The pores and the solid part of soil were substituted by the squares of side  $R$ . The snapshots of loam clay soil samples are represented in Figs 2, 3, 4. These figures show the parts of the surface of the same soil sample. Several surfaces of the same sample were needed because only statistic and no real self-similarity of the soil surfaces were observed.

The surface sample photo



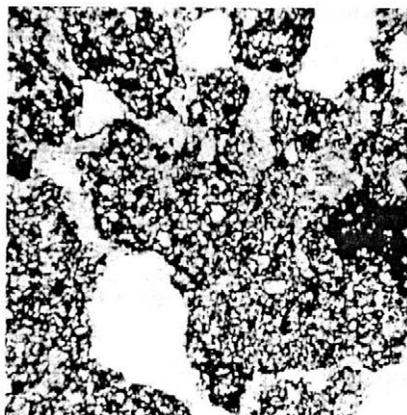
1. Block diagram of the recording equipment

I. The side size of square  $R$  of the raster

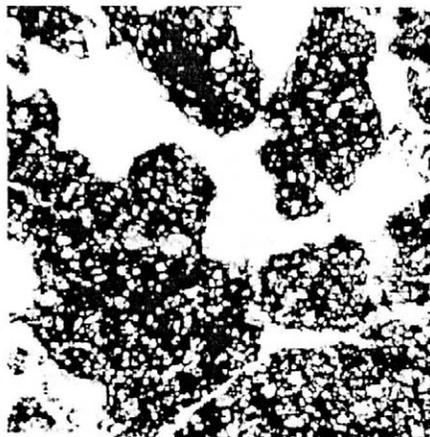
$R$ (pixel)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$R$ ( $\mu\text{m}$ )	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36

## RESULTS

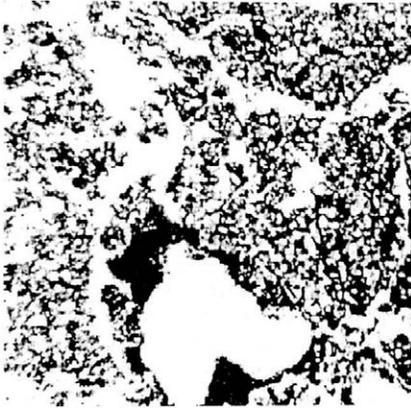
Although the snapshots in the Figs 2, 3, 4 represent the same soil structure they are characterized by large variability. In the final consequence the statistically significant difference was shown for all samples reciprocally. This fact point out the composition of the soil structure and the necessity to work with statistical methods. The program was not able to distinguish the small-size quartz parts from the pores filled with calcit (they had the same colour). This circumstance caused the error of the determination of the square occupation 10%. Ten division of the sample were realized for all samples by raster of side size square  $R$  (Tab. I). The



2. Snapshot of the loam clay soil sample surface – the large white areas are the pores filled with calcit, the small white areas are parts of the quartz, the black areas are the solid parts of soil and the dark black area is organic matter



3. Snapshot of the loam clay soil sample surface – the large white areas are the pores filled with calcit, the small white areas are the parts of quartz, the black areas are the solid parts



4. Snapshot of the loam clay soil sample surface – the large white areas are the pores filled with calcite, the small white areas are the parts of quartz, the black areas are the solid parts of soil and the dark black area is organic matter

scale 2–12 pixels represented the real size of the pores or solid parts 6–36  $\mu\text{m}$ .

Every variable were statistically computed from ten values, which had resulted from sample division by raster. On the base of the experimental measurement the fractal dimension of the solid parts  $D_{pc}$  and the fractal dimension of pores  $D_{po}$  were determined by means of terms (5a) and (5b) respectively.

The values of fractal dimension for solid parts  $D_{pc}$  and the fractal dimension of pores  $D_{po}$  are represented in the Tab. II. Statistical testing at the significance level  $\alpha = 0.01$  was executed for  $D_{pc}$  and  $D_{po}$  with the purpose of determination of average values agreement by two-sample analysis testing. The software Statgraphic v. 5.0 was used.

Not one statistical significant agreement was found out. In spite of the average values of fractal dimensions for loam clay soil as the average from Tab. II were determined. The final values of fractal dimensions  $D_{pc}$ ,  $D_{po}$  for loam clay soil determine as an average from Tab. II are shown in the Tab. III. The statistical significant agreement of final values  $D_{pc}$ ,  $D_{po}$  was found out at the significance level  $\alpha = 0.01$ . There applies the same for searching soil if we use  $D_{pc}$  or  $D_{po}$  from statistic point of view.

The value of the pore size distribution index  $b_c = 1/D - 2$ . The values  $b_c$  were determined for  $D_{pc}$  and also for  $D_{po}$ . Relative standard deviations are the same

II. Values of fractal dimension for solid parts  $D_{pc}$  and pores  $D_{po}$  and their standard deviations  $s_D$

Fig.	$D_{pc}$	$s_{D_{pc}}$ (%)	$D_{po}$	$s_{D_{po}}$ (%)
2	$1.9307 \pm 0.0026$	0.1	$1.6992 \pm 0.0111$	0.7
3	$1.8722 \pm 0.0047$	0.3	$1.8101 \pm 0.0070$	0.4
4	$1.7489 \pm 0.0080$	0.5	$1.9007 \pm 0.0031$	0.2

III. Final values of fractal dimensions  $D_{pc}$ ,  $D_{po}$  for loam clay soil and their standard deviation  $s_D$

$D_{pc}$	$s_{D_{pc}}$ (%)	$D_{po}$	$s_{D_{po}}$ (%)
$1.8506 \pm 0.0536$	2.9	$1.8033 \pm 0.0583$	3.2

IV. Values of the pore size distribution index  $b_c$  determined by fractal analysis and standard deviations  $s_D$

	$b_c$	$s_D$ (%)
Solid	$6.6934 \pm 0.1941$	2.9
Pore	$5.0839 \pm 0.1627$	3.2
Average	$5.8886 \pm 0.1784$	3.0

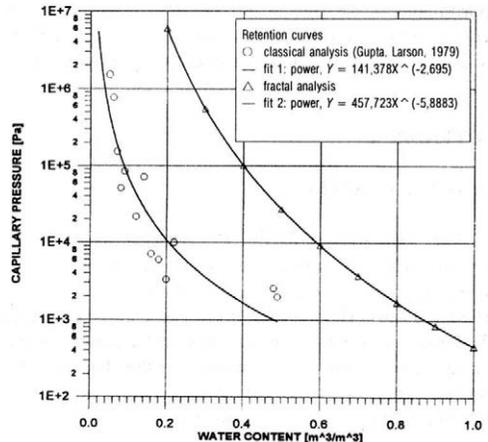
the relative standard deviations of the fractal dimensions. The final value of  $b_c$  was determined as an arithmetic average of both values. The standard deviation of the final  $b_c$  was determined by method of indirect measurements  $s_{b_c} = (s_{pc} + s_{po})/2$ . The values of  $b_c$  are represented in the Tab. IV.

Water retention curves as a dependence of the capillary pressure  $\Psi$  on water content  $\theta$  are represented in the Fig. 5. The curve determined by fractal analysis were computed by the equation:

$$\Psi = \Psi_a \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^{\frac{1}{D-2}}$$

where:  $\theta_s = 1$  – saturated water content

Air entry pressure  $\Psi_a$  was determined by means of the term of capillary pressure  $\Psi_a = 2\sigma(512/R_a)/a$ , where  $a = 1.5 \cdot 10^{-3}$  m was the original size of the scanned area. The surface tension of water  $\sigma_{20^\circ\text{C}} = 7.3 \cdot 10^{-2} \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ . The quantity  $R_a = 325 \mu\text{m}$  (108.3 pixels) represented the pore size associated with the air entry pressure.  $R_a$  was determined as characteristic av-



5. Water retention curves obtained by means of fractal analysis and by regression of Gupta and Larsen's data

V. Regression equations of water retention curves in the Fig. 5 and correlation coefficient *r*

Data	Regression equations	<i>r</i>
Fractal analysis	$\Psi = 457.723^{-5.888}$	0.999
Gupta, Larson	$\Psi = 141.378^{-2.695}$	0.911

erage size of the maximum pore on the Figs 2, 3, 4. The value of the air entry pressure  $\Psi_a$  was 457.5 Pa.

The water retention curve determined by classical analysis were accepted from Gupta, Larson (1979). They determined regression models which were tested on 61 Missouri soils. The water retention curve determined by classical analysis on Fig. 5 was ranged from 0.05 to 0.5 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> in the water content and from 15.3.10<sup>5</sup> to 19.7.10<sup>2</sup> Pa in capillary pressure. The tested loam clay soil had bulk density of 1 320 kg.m<sup>-3</sup>.

The regression equations determined by the fractal analysis for loam clay soil and by regression of Gupta and Larson's data for soil from South Carolina are represented in the Tab. V.

CONCLUSION

The presented method enables to determine the water retention curve of real loam clay soil by method of fractal analysis. The value of the pore size distribution index  $b_c = 5.9$  is in good agreement with the average values range from 4.05 for sand to 11.5 for clay soil (Tyler, Wheatcraft, 1990). The power-low function, while in use for many years, had not previously been physically based and little could be inferred from the empirical fitting coefficient.

The application of fractal approaches suggests that a more complete understanding of pore-size and pore number distribution may be obtained by applying simple models such as fractal model to complex soil and porous media. In spite of the presented water retention curves are not significantly consist the shape of curves and its power-low function character are analogous.

APPENDIX A

FRACTAL CONCEPT

The term self-similarity (or statistical self-similarity) implies that regular (or statistically regular) patterns appear in nature at all scales of observation (Feder, 1988). The number of the new created elements *N* during the random object division by means of the scale *c*, meanwhile  $c = a/b$ , where *a* is the characteristic object size, *b* is the scale factor indicating how times the linear object size was changed

$$N = F c^{-D} \tag{2}$$

where: *D* - fractal dimension  
*F* - constant

When *l* is a number of pores, which the two-dimensional sample of soil is covered and  $b^2$  is a number of all parts the equation (2) is transformed into:

$$b^2 - l = F c^{-D} \tag{3}$$

and fractal dimension is obtained (Mandelbrot, 1983) as:

$$D = \frac{\ln(b^2 - l)}{\ln b} \tag{4}$$

The samples of clay loam soil which were used in our measurement were represented as digital images of the size 512 x 512 pixels and the raster of the side size square *R* was used for scaling, than  $b = 512/R$  and  $c = a/(512/R)$  and the fractal dimension of the solid parts *D<sub>pc</sub>* and the fractal dimension of pores *D<sub>po</sub>* is given as the equations (Kubik, 2000):

$$D_{pc} = \frac{\ln\left(\left(\frac{512}{R}\right)^2 - l\right)}{\ln\left(\frac{512}{R}\right)} \tag{5a}$$

$$D_{po} = \frac{\ln(l)}{\ln\left(\frac{512}{R}\right)} \tag{5b}$$

In this approach, the scale dependent number of elements *N* is number of parts, while measurement scale *R* is a characteristic part size of pores or solid soil parts. The fractal dimension represents the pore and the solid parts distribution of two-dimensional soil samples.

APPENDIX B

FRACTAL ANALYSIS

The relation between the number of pores (squares) equal to or larger than a characteristic size *R<sub>i</sub>* is *N<sub>p</sub>* (Tyler, Wheatcraft, 1990):

$$N_p = l_1 \left(\frac{a}{b_1}\right)^D \sum_{j=1}^i (R_j)^{-D} = C \sum_{j=1}^i (R_j)^{-D} \tag{6}$$

where *l<sub>1</sub>* and *b<sub>1</sub>* represent the first recursive level of soil sample division of *b* and *l* respectively. The term *b<sub>1</sub>* is linked to the air entry pressure  $\Psi_a$  and is a measure of the characteristic size of the largest pores in the soil. The term *l<sub>1</sub>* is related to the rate of change of the water content as a function of capillary pressure. When the most of pores is of the smallest size, the number of the pores is represented (Perfect, Kay, 1995) as an approximation of the form:

$$N_p \approx R_i^{-D} \tag{7}$$

which is analogous to the term (2). The incremental number of pores *dN<sub>p</sub>* from (7) is given by:

$$dN_p = -CD R_i^{-D-1} dR \tag{8}$$

where: *C* - constant from the equation (6)

The incremental pore area,  $dA_p$  associated with  $dN_p$  is simply:

$$dA_p = R_i^2 dN_p \quad (9)$$

The water content per unit length of porous media as a function of the capillary radius is:

$$\theta(R) = \frac{1}{A_T} \int_R^0 dA_p \quad (10)$$

where:  $A_T$  – total cross-sectional area

Substituting (9) into (10) and integrating yields an expression for the water content:

$$\theta(R) = \frac{1}{A_T} \left( \frac{DC}{2-D} \right) R^{2-D} \quad (11)$$

The saturated water content,  $\theta_s$  is given by:

$$\theta(R_a) = \frac{1}{A_T} \left( \frac{DC}{2-D} \right) R_a^{2-D} \quad (12)$$

where:  $R_a$  – pore size associated with the air entry pressure

Dividing (11) and (12) and relating  $R$  to  $\Psi$  through the equation of capillary rise yields  $\Psi(b) = 2\sigma/R(b)$ , the Brooks and Corey power law for the water retention function is:

$$\left( \frac{\theta}{\theta_s} \right) = \left( \frac{\Psi}{\Psi_a} \right)^{D-2} \quad (13)$$

where:  $D-2$  – analogous to  $-\lambda = -1/b_c$   
 $\sigma$  – surface tension

## ACKNOWLEDGEMENT

Appreciation is expressed for financial support of this research to the Slovak Scientific Grant Agency. We also appreciate the support of the personnel of Hlohovec observatory.

## REFERENCES

- Brooks R. H., Corey A. T. (1964): Hydraulic properties of porous media. Hydrol. Papers, Colorado State University, Fort Collins.
- Clapp R. B., Hornberger G. M. (1978): Empirical equations for some soil hydraulic properties. Water Resources Res., (14), 601–604.
- Feder J. (1988): Fractals. Plenum Press, New York and London. 278 pp.
- Gupta S. C., Larson W. E. (1979): Estimating soil water retention characteristic from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Water Resources Res., 15 (6), 1633–1635.
- Kubík L. (2000): Determination of water content in the fractal soil medium. In: Kutatási és fejlesztési tanácskozás, Nr. 24, Az előadások tartalmi összefoglalói, Gödöllő, 18. jan. 2000, 29.
- Mandelbrot B. B. (1983): The fractal geometry of nature. New York, W. H. Freeman. 488 pp.
- Perfect E., Kay B. D. (1995): Applications of fractals in soil and tillage research: a review. Soil & Tillage Res., 36, 1–20.
- Tyler S. W., Wheatcraft W. W. (1990): Fractal processes in soil water retention. Water Resources Res., 26 (5), 1047–1054.

Received on January 10, 2000

---

### Contact Address:

RNDr. Lubomír Kubík, Department of Physics, Slovak University of Agriculture, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovak Republic, Tel.: +421 87 6508 879, Fax: +421 87 7417 003, e-mail: kubi@afnet.uniag.sk

---

**Nejčerstvější informace o časopiseckých člancích  
poskytuje automatizovaný systém**

**Current Contents**

**na disketách**

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna odebírá časopis „**Current Contents**“ řadu „**Agriculture, Biology and Environmental Sciences**“ a řadu „**Life Sciences**“ na disketách. Řada „**Agriculture, Biology and Environmental Sciences**“ je od roku 1994 k dispozici i s abstrakty. Obě tyto řady vycházejí 52krát ročně a zahrnují všechny významné časopisy a pokračovací sborníky z uvedených oborů.

Uložení informací z **Current Contents** na disketách umožňuje nejrozmanitější referenční služby z prakticky nejčerstvějších literárních pramenů, neboť báze dat je **doplňována každý týden** a neprodleně expedována odběratelům. V systému si lze nejen prohlížet jednotlivá čísla **Current Contents**, ale po přesném nadefinování sledovaného profilu je možné adresně vyhledávat informace, tisknout je nebo kopírovat na disketu s možností dalšího zpracování na vlastním počítači. Systém umožňuje i tisk žadanek o separát apod. Kumulované vyhledávání v šesti číslech **Current Contents** najednou velice urychluje rešeršní práci.

**Přístup k informacím Current Contents je umožněn dvojím způsobem:**

- 1) **Zakázkový přístup** – po vyplnění příslušného zakázkového listu (objednávky) je vhodný především pro mimopražské zájemce.

Finanční podmínky: – použití PC – 15 Kč za každou započatou půlhodinu  
– odborná obsluha – 10 Kč za 10 minut práce  
– vytištění rešerše – 1,50 Kč za 1 stranu A4  
– žadanky o separát – 1 Kč za 1 kus  
– poštovné + režijní poplatek 15 %

- 2) **„Self-service“** – samoobslužná práce na osobním počítači v ÚZLK.

Finanční podmínky jsou obdobné. Vzhledem k tomu, že si uživatel zpracovává rešerši sám, je to maximálně úsporné. (Do kalkulace cen nezapočítáváme cenu programu a databáze **Current Contents**.)

V případě Vašeho zájmu o tyto služby se obraťte na adresu:

**Ústřední zemědělská a lesnická knihovna**

Dr. Bartošová

Slezská 7

120 56 Praha 2

Tel.: 02/24 25 79 39, l. 520, fax: 02/24 25 39 38

Na této adrese obdržíte bližší informace a získáte formuláře pro objednávku zakázkové služby. V případě „self-servisu“ je vhodné se předem telefonicky objednat. V případě zájmu je možné si objednat i průběžné sledování profilu (cena se podle složitosti zadání pohybuje čtvrtletně kolem 100 až 150 Kč).

# VLIV PNEUMATIK NA PRACOVNÍ VLASTNOSTI TRAKTOROVÝCH SOUPRAV

## EFFECT OF TYRES ON WORKING PROPERTIES OF TRACTOR-MACHINE SETS

V. Štursa, F. Bauer

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

**ABSTRACT:** The investigation concerns the effect of tyre type on power and capacity parameters of ploughing. Two types of tyres were mounted alternatively on the tractor: variant 1 – standard tyres: front axle, dimensions 480/70 R 30, inflation 200 kPa, wheel track 1 960 mm; rear axle, dimensions 580/70 R 42, inflation 200 kPa, wheel track 2 000 mm; variant 2 – wider tyres: front axle TRELLEBORG TWIN 414 600/60-30.5, inflation to 100 kPa, wheel track 1 970 mm; rear axle TRELLEBORG TWIN 414 750/65-38, inflation 100 kPa, wheel track 1 990 mm. Average fuel consumption per hectare was 24.2 l.ha<sup>-1</sup> i.e. 4.1% diesel fuel economies. Continuous measurements using mechanical depth gauge allowed to obtain 450 data items of the soil depth and plough working width. The variance coefficient did not surpass the value of 10,9 % which indicated a steady ploughing depth. In our opinion a more exact value characterizing the power demands of ploughing will be obtained by the calculation of fuel consumption per unit of ploughed soil. The average fuel consumption per volume of ploughed soil equals to 8.6 ml.m<sup>-3</sup> and 8.3 ml.m<sup>-3</sup> for STANDARD and for wider tyres respectively. This represents diesel fuel economies of 3.5%. Capacity parameters were evaluated by work amount performed per time unit. The average operative capacity equals to 1.52 ha.h<sup>-1</sup> and 1.58 ha.h<sup>-1</sup> for STANDARD and for wider tyres respectively, i.e. 5.3% fuel economies. The average effective capacity per hectare makes 1.84 ha.h<sup>-1</sup> and 1.90 ha.h<sup>-1</sup> for STANDARD and for wider tyres respectively and this represents 3.2% fuel economies.

tractor; tyres; tractive properties; slippage; power and capacity parameters

**ABSTRAKT:** Efektivní využití výkonu motoru kolových traktorů vyšších výkonových tříd významně závisí na typu pneumatik. V příspěvku jsou uvedeny výsledky terénního měření traktoru New Holland 8870 o výkonu motoru 155 kW v soupravě se sedmiradičným návěsným pluhem Kuhn Huard RMGTi-7-T. U traktoru, u kterého byly použity dva typy pneumatik – standardní a širší typ, byly měřeny energetické a výkonnostní parametry orby. U varianty se širšími pneumatikami byla naměřena nižší spotřeba nafty na jednotku vykonané práce i vyšší dosažená výkonnost. Těchto výsledků bylo dosaženo větší styčnou plochou u širších pneumatik, což se projevilo především snížením prokluzu.

traktor; pneumatiky; tahové vlastnosti; prokluz; energetické a výkonnostní parametry

### ÚVOD

Efektivní využití výkonu motoru kolových traktorů vyšších výkonových tříd významně závisí také na typu pneumatik. Podle našeho názoru dnešní traktory o výkonu motoru nad 150 kW pracují v zemědělském provozu s nízkou tahovou účinností a jeden z hlavních důvodů neefektivní práce traktorových souprav je používání ne zcela vhodných pneumatik. Při práci traktoru s pluhem se mění zatížení náprav traktoru projevující se zlepšením záběrového účinku hnacích kol zadní nápravy, a tím se zvyšují požadavky na přenos hnací síly mezi půdou a pneumatikou. V praxi se velmi často stává, že při krátkodobém zvětšení adhezních zatížení zadní nápravy nedokážou pneumatiky zvýšené nároky na přenos kroutičního momentu přenést, dochází k jejich nadměrnému přetěžování a tím ke snižování jejich životnosti.

Pneumatiky kolových traktorů musí být schopny zajistit celou řadu požadavků na ně kladených. Jsou pruzícím elementem mezi traktorem a podložkou, přičemž musí přenést i v těžkých terénních podmínkách značné hnací síly při přijatelném prokluzu. Kromě toho musí zajistit přenos potřebných bočních sil při dopravě a na svazích při práci s nesenými stroji. Vysoké nároky na pneumatiky se týkají také tlaku na půdu, který by neměl překročit mez, kdy dochází k nežádoucímu zhutnění půdy. Na druhé straně však tlak mezi pneumatikou a půdou je dán adhezním zatížením hnacího kola a z hlediska efektivního přenosu výkonu motoru je právě toto zatížení důležité. V posledních letech zaznamenal vývoj pneumatik vhodných pro traktory vyšších výkonových tříd velký pokrok. Jednak došlo k mnoha zlepšením v konstrukci standardních pneumatik, jednak se objevily zcela nové pneumatiky, jako jsou například pneumatiky

I. Naměřené hodnoty pracovních vlastností pneumatik (Hrubčice, listopad 1998) – Measured values of work properties of tyres (Hrubčice, November, 1998)

Číslo měření <sup>1</sup>	Typ pneumatik <sup>2</sup>	Hloubka orby <sup>3</sup> (m)	Variační koeficient <sup>4</sup> (%)	Záběr pluhu <sup>5</sup> (m)	Plocha <sup>6</sup> (ha)	Spotřeba nafty <sup>7</sup> (ml)	Čas na orbu <sup>8</sup> (s)	Čas otáčení <sup>9</sup> (s)			Prokluz zadních kol <sup>10</sup> (%)		Rychlost <sup>11</sup> (m.s <sup>-1</sup> )
											záhon <sup>12</sup>	brázda <sup>13</sup>	
1	STANDARD	0,28	9,31	10,21	0,31	7 685,40	758,90	45,50	42,10	52,1	15,36	16,74	1,96
2	STANDARD	0,28	10,83	10,40	0,32	7 618,20	743,80	40,10	45,80	35	17,58	19,10	1,97
3	STANDARD	0,29	4,45	10,13	0,31	7 567,00	741,30	45,00	42,00	40,5	18,11	18,59	1,99
4	širší <sup>14</sup>	0,28	3,44	10,21	0,31	7 223,80	703,80	39,50	44,00	36	13,88	14,42	2,07
5	širší	0,28	8,90	9,96	0,31	7 209,90	703,90	37,00	41,00	36	16,55	16,64	2,11
6	širší	0,27	3,54	10,11	0,31	7 173,30	720,50	47,00	40,00	38	14,23	14,87	2,06

<sup>1</sup>measurement No, <sup>2</sup>tyre type, <sup>3</sup>ploughing depth, <sup>4</sup>variancy coefficient, <sup>5</sup>plough working width, <sup>6</sup>area, <sup>7</sup>diesel fuel consumption, <sup>8</sup>time of ploughing, <sup>9</sup>time of turning, <sup>10</sup>rear wheels slippage, <sup>11</sup>speed, <sup>12</sup>unploughed soil, <sup>13</sup>furrow, <sup>14</sup>wider

radialní nebo pneumatiky válečkové – nízkoflotační (Štursa, Šandera, 1998; Bauer, Sedláč, 1999).  
V tomto příspěvku jsme se zaměřili na otázky vlivu typu použitých pneumatik na energetické a výkonnostní parametry orby.

## METODA

Vliv typu pneumatik jsme zjišťovali u traktoru New Holland 8870 o výkonu motoru 155 kW a celkové hmotnosti (bez řidiče) 10 460 kg. Z toho hmotnost připadající na zadní nápravu činí 5 160 kg a na přední nápravu 5 300 kg. Na traktoru byly střídavě namontovány dva typy pneumatik.

Varianta 1 – standardní pneumatiky

- přední náprava, rozměry 480/70 R 30, huštění: 200 kPa, rozchod 1 960 mm,
- zadní náprava, rozměry 580/70 R 42, huštění 200 kPa, rozchod 2 010 mm.

Varianta 2 – širší pneumatiky

- přední náprava TRELLEBORG TWIN 414 600/60-30,5, huštění 100 kPa, rozchod 1 970 mm,
- zadní náprava TRELLEBORG TWIN 414 750/65-38, huštění 100 kPa, rozchod 1 990 mm.

K traktoru byl připojen sedmirationální otáčkový návěsný pluh Kuhn Huard RMGTI-7-T. Pluh byl vybaven orebními tělesy pro kosočtvercovou orbu. Pracovní záběr pluhu byl nastaven tak, aby motor traktoru při vytížení. Otáčky motoru se při všech měřeních pohybovaly v rozmezí 1 700 až 1 900 min<sup>-1</sup>. Požadovaný režim otáček byl dosažen řazením. Během měření byl zařazen osmý převodový stupeň, při snaze motoru překročit otáčky 1 900 min<sup>-1</sup> bylo řazeno o stupeň výš a v opačném případě, když otáčky motoru klesly pod 1 700 min<sup>-1</sup>, bylo řazeno na nižší převodový stupeň. Rychlost orby je uvedena v tab. I. Měření se uskutečnilo na pozemku s hlinitou půdou, průměrná hmotnostní vlhkost půdy 16,2 %, předplodinou byla cukrovka sklizená samořízdným sklízecem Kleine. Měření každé varianty pneumatik (STANDARD a TRELLEBORG) se třikrát opakovalo. Zkoušky se konaly na měřicích parcelách o délce 306 m. Orební souprava vykonala čtyři jízdy. Byla změněna plocha parcely. Při orbě se průběžně měřily hloubka orby a záběr pluhu. Při každé jízdě úsekem se měřil prokluz zadních kol traktoru. Dále byl měřen čas potřebný na zoraní parcely, včetně času potřebných na otáčení orební soupravy na souvrátí. Spotřeba nafty byla měřena průtokoměrem Flowtronic 205 s Flowjet ventilem 4703. Naměřené a vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. I a tab. II.

## VÝPOČTOVÉ VZTAHY

Plocha záhonu:

$$S = \frac{(a_2 - B) \cdot l}{10000} \quad (\text{ha})$$

Číslo měření <sup>1</sup>	Typ pneumatik <sup>2</sup>	Spotřeba nafty <sup>3</sup>			Výkonnost <sup>4</sup>	
		(l.h <sup>-1</sup> )	(l.ha <sup>-1</sup> )	(ml.m <sup>-3</sup> )	W <sub>02</sub> (ha.h <sup>-1</sup> )	W <sub>1</sub> (ha.h <sup>-1</sup> )
1	STANDARD	36,46	24,43	8,82	1,49	1,83
2	STANDARD	36,87	23,79	8,54	1,55	1,85
3	STANDARD	36,75	24,26	8,51	1,51	1,83
4	širší	36,95	22,98	8,21	1,61	1,94
5	širší	36,87	23,50	8,39	1,57	1,87
6	širší	35,84	23,04	8,41	1,56	1,88

<sup>1</sup> measurement No, <sup>2</sup> tyre type, <sup>3</sup> diesel fuel consumption, <sup>4</sup> capacity

kde:  $l_z$  – délka záhonu (m)  
 $s_z$  – šířka záhonu (m)  
 $B$  – záběr pluhu (m)

Prokluz:

$$\delta = \frac{(l_o - l_1)}{l_o} \cdot 100 \quad (\%)$$

kde:  $l_o$  – délka ujeté dráhy bez zatížení (m)  
 $l_1$  – délka ujeté dráhy se zatížením (m)

Čas hlavní:

$$T_1 = T_{02} - T_2 \quad (s)$$

kde:  $T_{02}$  – čas operativní (s)  
 $T_2$  – čas vedlejší (otáčky na souvatcích) (s)

Hodinová spotřeba paliva:

$$Q_h = \frac{Q}{T_1} \cdot 3,6 \quad (l.h^{-1})$$

kde:  $Q$  – spotřeba paliva na projetí měřicím úsekem (ml)  
 $T_1$  – čas hlavní (orby) (s)

Hektarová spotřeba paliva:

$$Q_{ha} = \frac{Q}{S} \cdot 10^{-3} \quad (l.ha^{-1})$$

kde:  $Q$  – spotřeba paliva na projetí měřicím úsekem (ml)  
 $S$  – plocha (ha)

Měrná orební spotřeba paliva:

$$Q_0 = \frac{Q}{S \cdot 10000 \cdot h} \quad (ml.m^{-3})$$

kde:  $Q$  – spotřeba paliva na projetí měřicím úsekem (ml)  
 $S$  – plocha (ha)  
 $h$  – hloubka orby (m)

Efektivní plošná výkonnost:

$$W_{01} = \frac{S}{T_1} \cdot 3600 \quad (ha.h^{-1})$$

kde:  $S$  – plocha (ha)  
 $T_1$  – čas hlavní (orby) (s)

Operativní výkonnost:

$$W_{02} = \frac{S}{T_{02}} \cdot 3600 \quad (ha.h^{-1})$$

kde:  $S$  – plocha (ha)  
 $T_{02}$  – čas operativní (s)

Rychlost:

$$v = \frac{l}{t} \quad (m.s^{-1})$$

kde:  $l$  – délka měřicího úseku (m)  
 $t$  – čas na projetí měřicího úseku (s)

Objemová výkonnost:

$$W_0 = \frac{B \cdot h \cdot v}{10000} \quad (m^3.s^{-1})$$

kde:  $B$  – záběr pluhu (cm)  
 $h$  – hloubka orby (cm)  
 $v$  – rychlost ( $m.s^{-1}$ )

Variační koeficient:

$$v_x = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (\%)$$

## VÝSLEDKY

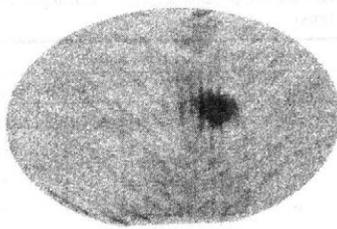
Z výsledků měření vyplývá výhodnost používání širších pneumatik při energeticky náročné agrotechnické operaci, jakou je orba. Z naměřených a vypočtených hodnot, které jsou obsaženy v tab. I a tab. II a graficky zpracovány na obr. 2 až 6, můžeme konstatovat následující zjištění.

Energetická náročnost orby byla hodnocena spotřebou nafty na jednotku plochy ( $l.ha^{-1}$ ) a na objem zorané půdy ( $ml.m^{-3}$ ).

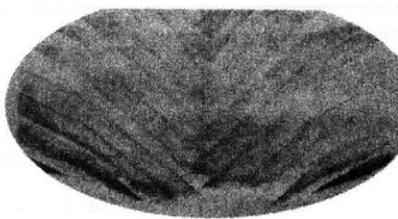
Průměrná spotřeba paliva na hektar zorané půdy (obr. 2) činí pro pneumatiky STANDARD  $24,2 l.ha^{-1}$  a pro pneumatiky širší  $23,2 l.ha^{-1}$ , což vyjádřeno procentuálně je úspora nafty 4,1 %. Při měření jednotlivých parcel byla průběžně měřena i hloubka orby, a to mechanickým hloubkoměrem, kterým bylo získáno celkem 450 údajů o hloubce orby a o záběru pluhu. Variační koeficient nepřekročil hodnotu 10,9 %. Podle našeho názoru je přesnější hodnotou týkající se energetické náročnosti orby přepočet spotřeby paliva



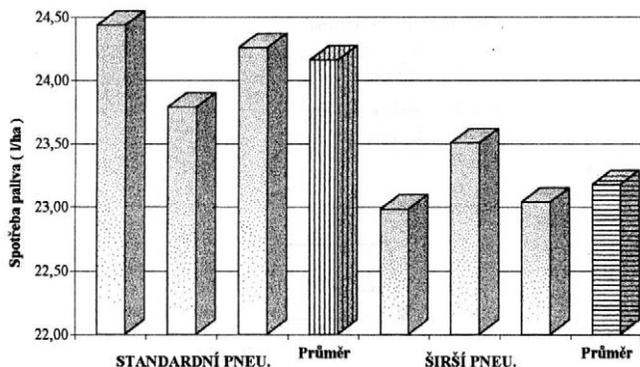
STANDARD



TRELLEBORG

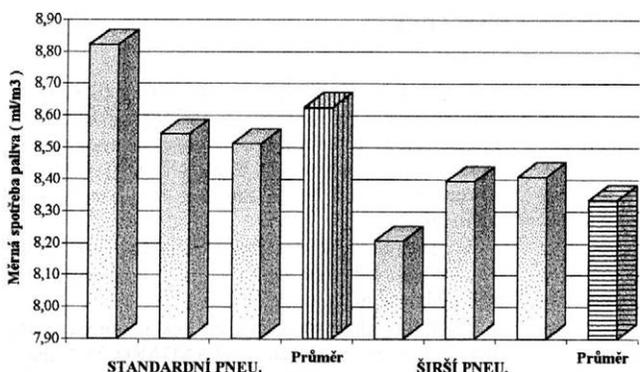


1. Styčná plocha pneumatik – Tyre contact area



2. Spotřeba paliva – Fuel consumption

standardní pneumatika – standard tyre  
širší pneumatika – wider tyre  
průměr – average

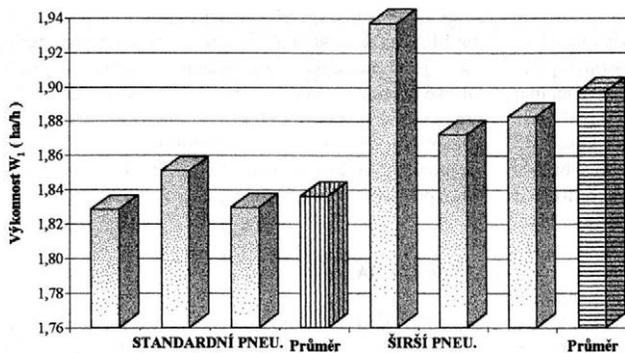


3. Měrná orební spotřeba paliva – Specific fuel consumption at ploughing

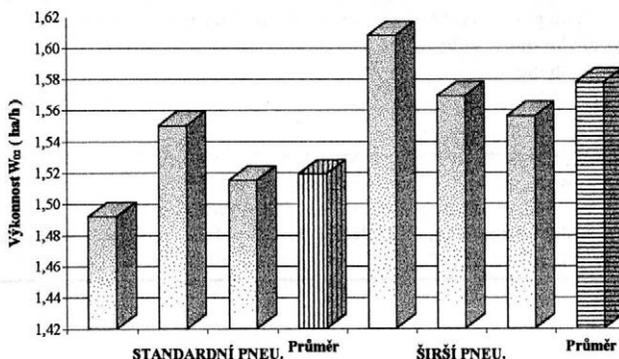
na jednotku objemu zorané půdy. Průměrná spotřeba paliva na objem zorané půdy (obr. 3) činí pro pneumatiky STANDARD 8,6 ml.m<sup>-3</sup> a pro pneumatiky širší 8,3 ml.m<sup>-3</sup>, což představuje 3,5% úsporu nafty.

Výkonnostní parametry byly hodnoceny množstvím práce vykonané za jednotku času.

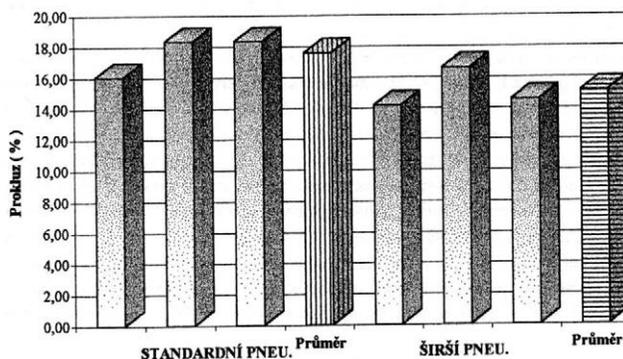
Průměrná operativní výkonnost (obr. 5) činí pro pneumatiky STANDARD 1,52 ha.h<sup>-1</sup> a pro pneumatiky širší 1,58 ha.h<sup>-1</sup>, což je úspora 5,3 %. Průměrná efektivní výkonnost (obr. 4) činí pro pneumatiky STANDARD 1,84 ha.h<sup>-1</sup> a pro pneumatiky širší 1,90 ha.h<sup>-1</sup>, a to je úspora 3,2 %.



4. Efektivní výkonnost orební soupravy – Effective capacities of ploughing set



5. Operativní výkonnost orební soupravy – Operative capacity of ploughing set



6. Prokluz hnacích kol traktoru – Slippage of tractor driving wheels

## DISKUSE A ZÁVĚR

Je-li při orbě správně sestavena orební souprava, dokáže pluh prověřit tahové vlastnosti traktoru a správnost používaných pneumatik. Tahové vlastnosti traktoru jsou posuzovány dosaženou tahovou účinností, přičemž jednu z rozhodujících úloh hraje typ pneumatik. Tahová síla traktoru závisí na adhezních silách působících na hnací kola a na schopnosti pneumatiky danou sílu přenést na půdu. Adhese vytváří reakci půdy, která traktor posunuje určitou rychlostí vpřed. Schopnost přenést sí-

lu na obvodě hnacích kol na půdu závisí na adhezním zatížení hnacího kola a toto zatížení je z hlediska nežádoucího utužení půdy limitováno. Dále zde hraje důležitou roli plocha mezi pneumatikou a půdou. Měření otisku použitých pneumatik (obr. 1) bylo zjištěno, že plocha styku pneumatiky s podložkou je ve srovnání se standardními pneumatikami u předních širších pneumatik o 47 % vyšší (vzadu o 77,3 % vyšší). Tato skutečnost ovlivnila tahové vlastnosti traktoru, což je dokumentováno naměřenými hodnotami prokluzu, které jsou uvedeny v tab. I a graficky zpracovány (obr. 6).

V příspěvku jsme se zabývali vlivem pneumatik na tahové vlastnosti traktoru, které jsme posuzovali z hlediska dosažených energetických a výkonnostních parametrů orby. Je třeba uvést, že zkoušené širší pneumatiky, jejichž šířka byla 750 mm, se zcela nevešly do brázdy, i když byla použita orební tělesa pro kosočtverečnou orbu, a zoranou půdu kolem jedoucím v brázdě stlačovaly. Tato skutečnost může na některých druzích půd při určité vlhkosti v místech přejezdu zorané půdy negativně ovlivnit mechanické a fyzikální vlastnosti zorané půdy.

V příspěvku jsme uvedli energetické a výkonnostní parametry orební soupravy s traktorem o výkonu motoru 155 kW s různými typy pneumatik. U varianty se širšími pneumatikami byla naměřena nižší spotřeba nafty na jednotku vykonané práce i vyšší dosažená výkonnost. Těchto výsledků bylo dosaženo větší stýčnou plochou u širších pneumatik, což se projevilo především snížením prokluzu. Zvyšování výkonu spalovacích motorů traktorů s sebou přináší problémy týkající se pře-

nosu výkonu motoru přes hnací ústrojí traktoru na půdu. Musíme respektovat dovolené limitní zatížení půdy, které je rozhodující pro dosažení co možná nejvyšší tahové účinnosti traktorů. Chce-li současná zemědělská praxe výkonné traktory efektivně využívat, musí otázce pneumatik věnovat náležitou pozornost, poněvadž právě pneumatiky mohou podstatně rozhodovat o ekonomice provozu orebních souprav.

#### LITERATURA

- Bauer F., Sedlák P. (1999): Zkoušky orebních souprav. [Výzkumná zpráva.] Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 53 s.
- Štursa V., Šandera P. (1998): Terénní měření orební soupravy. [Závěrečná zpráva.] Brno, Sdružení dovozců zemědělské techniky. 27 s.

Došlo 19. 5. 1999

---

#### *Kontaktní adresa:*

Ing. Václav Štursa, Sdružení dovozců zemědělské techniky, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, tel., fax: +420 5 45 13 20 87, e-mail: sdzt@mbox.vol.cz

---

# STANOVENIE SVAHOVEJ DOSTUPNOSTI POLNOHOSPODÁRSKÝCH VOZIDIEL

## ASSESSMENT OF SIDE SLOPE STABILITY OF AGRICULTURAL VEHICLES

J. Šesták, J. Rédl, R. Markovič

*Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*

*Technical and Testing Institute of Agriculture, Slovak Testing Centre, Rovinka, Slovak Republic*

**ABSTRACT:** Side slope accessibility is marked on all agricultural off-road machines in the interest of their safe operation. This value is mostly specified as ratio of the minimum static stability (lateral) to the conventional (assigned by standard) coefficient of safety or as data appropriated from calculated criteria according to valid norm STN 47 0170 (taken over norm ČSN 47 0170). Experiments with agricultural machines confirmed however that the side slope stability – admissible slope angle on which the machine can work safely is limited by the velocity of the machine when moving in desired directions. Thus the side slope stability is defined by following parameters: admissible slope angle, admissible velocity on this slope. A reverse relation respecting the adaptability of slope angle to defined working velocity is generally impractical. The allowed slope angle is affected by angle of side slope stability (detected on tilt table) and dynamic properties of vehicle, which has been verified by experiments with a real prototype of vehicle and evaluated by stochastic parameters applied to the classic dynamics of vehicles. The contribution presented respects the existing and used procedures in the first place, and then shows a methodical mode of determining the side slope stability of agricultural machines according to the norm draft STN 40 0170 which is a revision of the ČSN 47 0170 norm.

side slope stability (accessibility); agricultural vehicles; stability

**ABSTRAKT:** Na každom poľnohospodárskom terénnom vozidle je z dôvodov jeho bezpečného použitia vyznačená jeho svahová dostupnosť. Tento údaj je väčšinou stanovený ako podiel jeho najmenej statickej stability (bočnej) v stupňoch k dohodnutému (štandardom určenému) súčiniteľu bezpečnosti, alebo údajom určeným z vypočítaných kritérií podľa doteraz platnej normy STN 47 0170 (prevzatá norma ČSN 47 0170). Experimenty s poľnohospodárskymi terénnymi vozidlami však preukázali, že svahová dostupnosť – dovolený sklon terénu, na ktorom môže vozidlo bezpečne pracovať – je limitovaná rýchlosťou vozidla, ktorou sa môže pohybovať po dovolenom svahu v určených smeroch. Svahovú dostupnosť potom stanovujú dva parametre: dovolený sklon svahu a dovolená rýchlosť pohybu vozidla po tomto svahu. Opačná relácia, rešpektujúca prispôbenie sklonu svahu definovanej pracovnej rýchlosti, je väčšinou nepraktická. Dovolенý sklon svahu je v najväčšej miere ovplyvnený uhlom bočnej statickej stability (získovaným pokusne na naklápacej plošine) a mierou dynamických vlastností vozidla, ktorú preukazujeme experimentom s reálnym funkčným prototypom vozidla a vyhodnotenými stochastickými parametrami aplikovanými do klasickej dynamiky vozidiel. Príspevok je formulovaný tak, že v prvom rade rešpektuje doteraz platné a zaužívané postupy a konečne uvádza metodický postup stanovenia svahovej dostupnosti poľnohospodárskych strojov podľa návrhu normy STN 40 0170, ktorá je revíziou prevzatej normy ČSN 47 0170.

svahová dostupnosť; poľnohospodárske vozidlá; stabilita

### ÚVOD

Vzťah medzi statickou stabilitou a svahovou dostupnosťou bol u nás na konci päťdesiatych rokov vyriešený tak, že do agrotechnických podmienok jednotlivých vozidiel bol zavedený súčiniteľ bezpečnosti  $SB$ :

$$SB = \frac{\text{uhol statickej stability}}{\text{uhol svahovej dostupnosti}}$$

Súčiniteľ bol stanovený: pre univerzálne traktory  $SB = 3,0$ , pre horské traktory  $SB = 4,0$ . Začiatkom sedem-

desiatich rokov pribúdol súčiniteľ pre samohybné stroje  $SB = 2,5$  a pre automobily a ťahače  $SB = 3,0$ .

Osobitné riešenia mali iné krajiny (NDR, Rakúsko, atď.). Nejasnosť a nejednotnosť vo výklade pojmov a ich číselných vyjadrení sa pokúsil vyriešiť Andert (1971). Pri vypracovávaní sústavy traktorov v roku 1958 bol pre každý typ traktora navrhnutý sklon pozemku, na ktorom môže bezpečne pracovať pri jazde proti svahu, zo svahu, po vrstevnici a pri otáčaní sa.

Jazdné vlastnosti a bezpečnosť práce zdôrazňoval Grechenko (1983), ktorý definoval: „Svahová dostup-

nosť vozidla je najväčší uhol svahu, na ktorom sa všeobecne dovoľuje používanie vozidla s ohľadom na schopnosť jeho kontrolovaného pohybu a zabezpečenia vyhovujúcej pracovnej bezpečnosti.“

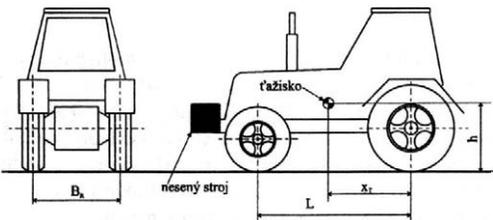
Určovaním stability pomocou polárnych diagramov sa zaoberali Reichmann (1972), Hunter (1982) a Šesták (1987). Určovanie svahovej dostupnosti kritériom *SB* sa vyznačovalo jednoduchosťou, avšak nerešpektovalo typ agregácie a rýchlosť jazdy, ako to dokumentujú vo svojich prácach Grečenko (1986) a Šesták et al. (1987).

V platnej norme STN 47 0170, čl.II, odstavce 36, je svahová dostupnosť definovaná takto: „Svahová dostupnosť vozidla je predovšetkým bezpečnostným a klasifikačným údajom, ktorého dodržanie má významne obmedziť vznik kritických jazdných situácií...“. V odstavci 37 sa hovorí: „Svahová dostupnosť je najväčší dovolený uhol svahu v stupňoch pre jazdu poľnohospodárskeho vozidla samostatného alebo v súprave pri daných podmienkach (rýchlosť, stav povrchu). Je hranicou odolnosti proti šmyku, odolnosti proti prevráteniu a funkčnej schopnosti konštrukčných skupín na svahu pri rešpektovaní miery bezpečnosti“ a v odstavci 38 sa hovorí: „Svahová dostupnosť sa určí výpočtom dielčích kritérií, ktoré zahŕňujú odolnosť proti šmyku, odolnosť proti prevrhnutiu,....., pre definované manévry.“ V článku VIII pod názvom: Spracovanie výsledkov skúšok odst. 141 je uvedené: „Do konečného hodnotenie svahovej dostupnosti dovoleným uhlom svahu,....., vstupujú v prvom rade čiastkové kritériá:

- odolnosť proti šmyku (pohyb v zatáčke, brzdenie, rozbeh do spádnice),
- odolnosť proti prevráteniu (pohyb v zatáčke),
- funkčná spôsobilosť (funkcia motora, konštrukčná stúpanosť).

Rozhodujúce je kritérium s najväčšou hodnotou uhla sklonu svahu..“.

Uplatnenie normy vyžaduje široký rozsah pomocných výpočtov, doplnenie výpočtov overovacími experimentmi a v mnohých prípadoch i netradičné iteračné postupy. Použitie empirických vzťahov, najmä vo výpočtoch adhézných súčiniteľov, je preukazné. Vzájomné verifikovanie v zásade „bodových modelov“ strojov (jediné hmotné ťažisko) s praktickými skúškami reálnych strojov je pravdepodobne málo preukazné. Prechod k po-



1. Parametre vozidla – Vehicle parameters

nesený stroj – mounted equipment  
ťažisko – center of gravity

užívaniu dodatočných kritérií za hranicou dovoleného svahu s hodnotou 16 je s najväčšou pravdepodobnosťou nevhodný. Norma rešpektuje jediné pracovné rýchlosti (za sucha i za mokra) pre všetky sklony svahov.

## MATERIÁL A METÓDA

### UPRAVENÁ METÓDA STANOVENIA SVAHOVEJ DOSTUPNOSTI

#### Dovolený sklon terénu (svahu) pre poľnohospodárske vozidlá so stálou polohou ťažiska (obr. 1)

Technická filozofia, ktorá slúži na stanovenie dovoleného sklonu svahu, je založená na parametroch (hodnotiacich) získaných z meraní reprezentatívnej vzorky vozidla, ktorá je vybraná z predpokladanej výrobnéj série. Hodnoty týchto statických parametrov sú potom využité v klasických vzťahoch popisujúcich dynamiku vozidiel. Výsledky dodatočných dynamických meraní poľnohospodárskych vozidiel na reálnych svahovitých trávnatých terénoch sú rovnocenne do výpočtov dovoleného sklonu terénu zahrnuté. Z doteraz platných štandardov určíme podľa STN 47 0187 „Poľnohospodárske a lesnícke stroje a traktory. Metódy merania konštrukčných parametrov“:

- základné rozmery vozidla (čl. 7, odst. 7.2),
  - hmotnosti a ich podiely na definované podskupiny vozidla (čl. 7, odst. 7.3),
  - polohu ťažiska vozidla (čl. 7, odst. 7.4),
  - stopové a obrysové priemery otáčania (čl. 7, odst. 7.6).
- Podľa STN 47 0174 „Meranie statickej stability strojov“
- určíme priečnu stabilitu napravo, naľavo, pozdĺžna dopredu a dozadu (čl. 1, odst. 1.2).

Využitím polárnych diagramov, ktoré uviedli Reichmann (1972) a Šesták et al. (1987), a ktorých oprávnenosť experimentmi potvrdili vo svojich prácach Grečenko (1986) a Šesták et al. (1989), možno z meraní statickej stability vozidla na naklápacej plošine zostaviť korigovaný polárny diagram. Korekciou rešpektujeme osovú symetriu vozidla (voči pozdĺžnej zvislej roviny prechádzajúcej cez ťažisko vozidla). Prípustnosť korekcie je pravdivá, keďže z priečnej statickej stability je rozhodujúci menší uhol, ako to dokumentuje obr. 2.

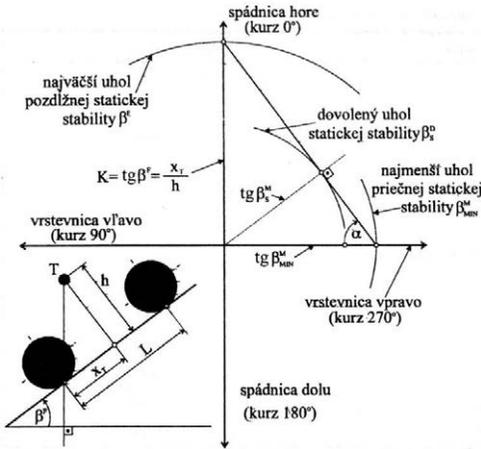
Ak v obr. 2 určíme:

$$\sin \alpha = \frac{K}{\sqrt{K^2 + (\text{tg } \beta_{MIN}^M)^2}} \quad (1)$$

buďe najmenší prípustný uhol statickej stability:

$$\beta_s^M = \arctg \frac{K \text{tg } \beta_{MIN}^M}{\sqrt{K^2 + (\text{tg } \beta_{MIN}^M)^2}} \quad (2)$$

Rešpektovaním záverov, ktoré uviedli v prácach Šesták et al. (1987, 1989), dynamické účinky reálnych terénov zohľadníme súčiniteľom s hodnotou 2. Potom dovolený sklon terénu, na ktorom je poľnohospodárske vozidlo bezpečné voči prevráteniu, je:



2. Polárny diagram – Polar chart

spádnica hore – descend line – uphill  
 najväčší uhol pozdĺžnej statickej stability – greatest longitudinal static stability angle  
 dovolený uhol statickej stability – admissible static stability angle  
 najmenší uhol priečnej statickej stability – least lateral static stability angle  
 vrstevnica vľavo (kurz 90°) – contour line – left (90° course)  
 vrstevnica vpravo (kurz 270°) – contour line – right (270° course)  
 spádnica dolu (kurz 180°) – descend line – downhill (180° course)

$$\beta_{DOV}^M = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \arctg \frac{K \cdot \text{tg } \beta_{MIN}^M}{\sqrt{K^2 + (\text{tg } \beta_{MIN}^M)^2}} \right\} \quad (3)$$

Najmenší uhol pozdĺžnej statickej stability vozidla pritom rešpektujeme vzhľadom k rázvoru  $L$  ako je to na obr. 2 vyznačené v tretom kvadrante. Potom:

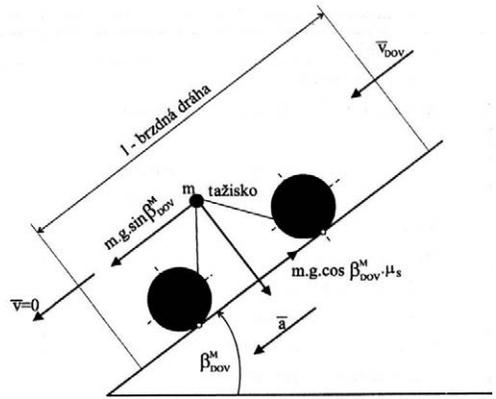
ak  $x_T \leq \frac{L}{2}$ , bude  $K = \text{tg } \beta^s = \frac{x_T}{h}$

a ak  $x_T > \frac{L}{2}$ , bude  $K = \frac{L - x_T}{h}$

**Stanovenie dovolenej rýchlosti pohybu vozidla po teréne so stanoveným sklonom**

Dovolenú rýchlosť pohybu vozidla po teréne so stanoveným sklonom stanovíme jednoduchým pokusom na teréne, na ktorom bude určený stroj najviac pracovať. Kvalita terénu bude popísaná podielom vlhkosti porastu a vrchnej vrstvy koreňovej sústavy (podľa STN 47 7092). Ak je podiel vlhkosti menší než 45 %, označíme terén ako suchý, inak ako mokrý.

Výpočtom stanovený dovolený sklon terénu porovnáme s údajmi výrobcu, ktorými garantuje pracovnú spôsobilosť motorových a exploatačných agregátov vozidla, ako je mazanie motora, zavzdušnenie hydraulických systémov atď., na dokladovanom sklone terénu.



3. Určenie rýchlosti pohybu – Determining the motion speed

brzdňá dráha – braking distance  
 ťažisko – center of gravity

Tu tiež možno využiť štandard SAE J897 pod názvom: „Skúška svahovej dostupnosti. Doporučená metodika SAE.“

V oblasti blízkej svahu vyberieme terén so sklonom približne 0°. Určíme dĺžku meraného úseku (≈ 20 m). Vozidlo vbehne do tohto úseku stálou rýchlosťou (rozbehnuté), ktorá zodpovedá hodnote určenej pre jeho pracovnú (technologickú) operáciu na rovine. Na konci meraného úseku vozidlo prudko zabrzdí. Prítom predpokladáme, že brzdiace systémy už pred skúškou zodpovedali platným štandardom. Z troch opakovaní skúšky zistíme priemernú rýchlosť vozidla v meranom úseku a priemernú brzdnú dráhu do zastavenia vozidla. Analogickú skúšku vykonáme s vozidlom v smere pohybu dolu po spádnici terénu s určeným sklonom. Nábehovú rýchlosť do meraného úseku v smere po spádnici dolu meriame dovtedy, až brzdná dráha na teréne s dovoleným sklonom svahu je rovnaká ako brzdná dráha na rovine. Potom nábehová rýchlosť na teréne s dovoleným sklonom, pri ktorej je brzdná dráha na tomto teréne rovnaká ako brzdná dráha na rovine, je dovolenou rýchlosťou pohybu.

Celá skúška je založená na predpoklade, že adhézne súčinitele pri brzdení na rovine i svahu sú rovnaké. Zmena nápravových tlakov (tlaky pod pásmi) nie je rešpektovaná (ich účinkov v reálnych sklonoch svahovitých terénov s ohľadom na rovnocennú zotrvačnosť vozidla pri nízkych hodnotách spomalení je malý).

Rešpektujeme praktický bodový model vozidla so sústredenou hmotnosťou v ťažisku. Matematický popis dynamiky je definovaný podľa obr. 3. Potom dovolená rýchlosť pohybu vozidla na teréne s dovoleným sklonom  $\beta_{DOV}^M$  a súčiniteľom adhézie medzi kolesami (pásmi)  $\mu_s$ , bude:

$$v_{DOV} = \sqrt{2 \cdot g \cdot l (\mu_s \cdot \cos \beta_{DOV}^M - \sin \beta_{DOV}^M)} \quad (4)$$

Parameter <sup>1</sup>	Rozmer <sup>2</sup>	Hodnota <sup>3</sup>	
Prevádzková hmotnosť <sup>4</sup>	kg	1 053	
Rozchod kolies <sup>5</sup>	predné <sup>6</sup> vonkajší <sup>8</sup>	m	1,850
	vnútorný <sup>9</sup>	m	1,445
	zadné <sup>7</sup> vnútorný	m	1,685
	vonkajší	m	1,330
Rázvor <sup>10</sup>	m	1,640	
Pneumatiky <sup>11</sup>	6.15/155-14	–	
Tlak v pneumatikách <sup>12</sup>	kPa	80	
Výška ťažiska nad zemou <sup>13</sup>	m	0,487	
Vzdialenosť ťažiska od zadnej osi <sup>14</sup>	m	0,810	
Pracovné rýchlosti prevod <sup>15</sup> I.	km.h <sup>-1</sup>	3,660	
	II.	km.h <sup>-1</sup>	6,560
	III.	km.h <sup>-1</sup>	9,900

<sup>1</sup>parameter, <sup>2</sup>dimension, <sup>3</sup>value, <sup>4</sup>load, <sup>5</sup>wheel track, <sup>6</sup>front, <sup>7</sup>rear, <sup>8</sup>outer, <sup>9</sup>inner, <sup>10</sup>wheel base, <sup>11</sup>tires, <sup>12</sup>tire pressure, <sup>13</sup>above earth height of gravity center, <sup>14</sup>gravity center distance from rear axle, <sup>15</sup>work speed – gear

II. Uhly statickej stability nosiča náradia MT8-046 – Static stability angles of the MT8-046 tool carrier

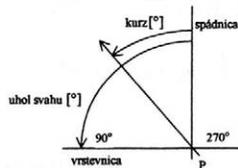
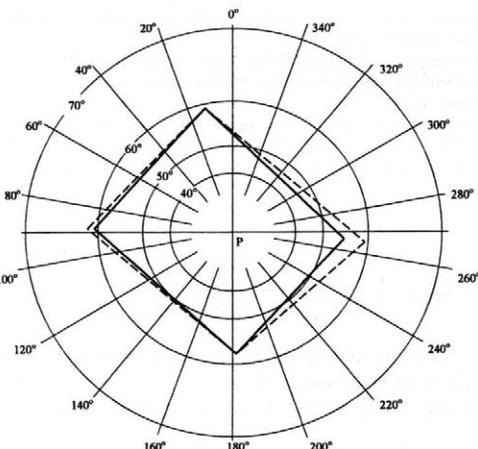
Poloha <sup>1</sup>			
vrstevnica <sup>2</sup>		spádnica <sup>3</sup>	
smer <sup>4</sup>			
vľavo <sup>5</sup>	vpravo <sup>6</sup>	hore <sup>7</sup>	dolu <sup>8</sup>
(°)			
55,64	54,1	59,2	58,45

<sup>1</sup>position, <sup>2</sup>contour line, <sup>3</sup>descend line, <sup>4</sup>direction, <sup>5</sup>left, <sup>6</sup>right, <sup>7</sup>up-hill, <sup>8</sup>downhill

Posledný vzťah využijeme tiež na korekciu pre dovolený sklon terénu určený z rovnice (4) a dispozičným terénom pre skúšku so sklonom  $\beta^*$  za predpokladu identických adhézných súčiniteľov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

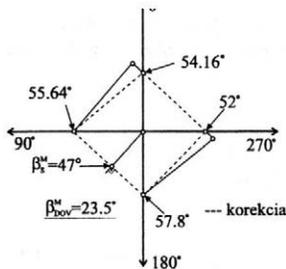
Uplatnenie navrhutej metódy určenia svahovej dostupnosti dokumentujeme na typickom zástupcovi horských mechanizačných prostriedkov, a to na nosiči náradia MT8-046 s čelne nesenou lištou SP2-212. Základné (použiteľné v ďalšom rozbere) technické údaje sú vyznačené v tab. I. Uhly statickej stability zistené na naklápacej plošine podľa ČSN 47 0174 sú uvedené v tab. II. Z takto určených parametrov bol spracovaný diagram hraníc statickej stability nosiča náradia MT8-046, ktorý prezentujeme v obr. 4. Upravený diagram hraníc statickej stability potom je v obr. 5. Nerešpektujeme tu osovú nesymetrickosť nosiča (pozdĺžnu). Výpočtom podľa vzťahov (2) a (3) zistíme, že dovolený sklon terénu je  $\beta_{DOV}^M = 21,3^\circ$ , čo je potvrdené aj praktickými skúškami, pri ktorých nosič náradia MT8-046 bezpečne pracoval na trávnom svahu so sklonom  $\beta = 24,8^\circ$ .



4. Hranice statickej stability nosiča MT8-046 s čelnou lištou SP2-212 – Static stability limit of the MT8-046 tool carrier with SP2-212 front cutter bar

kurz – course  
 uhol svahu – slope angle  
 spádnica – descend line  
 vrstevnica – contour line

Dovolená rýchlosť pohybu nosiča po teréne so sklonom  $\beta_{DOV}^M = 21,3^\circ$  bola stanovená z podmienok experimentov vykonaných v lokalite Štátneho majetku Lip-tovský Mikuláš. Vlastnosti podložky:



5. Korigovaný polárny diagram MT8-046 s SP2-212 – Corrected polar chart for MT8-046 with SP2-212

korekcia – correction

IV. Určenie brzdné dráhy na rovine (sklon 17° v smere brzdenia) – Determination of the braking distance on plane

Skúška číslo <sup>1</sup>	Úsek <sup>2</sup> (m)	Čas rozbehu <sup>3</sup> (s)	Priemerná rýchlosť <sup>4</sup> (m.s <sup>-1</sup> )	Brzdná dráha <sup>5</sup> (m)
1	10	6,570	1,520	0,52
2	10	6,188	1,616	0,61
3	10	5,040	1,985	0,92
4	10	7,640	1,309	0,40
5	10	5,260	1,900	0,85

For 1–7 see Tab. III

druh pôdy	hlinitá
podiel vlhkosti pôdy v hĺbke 50 mm	22,84 %
výška strniska	75 mm
podiel vlhkosti porastu	58,3 %
odpor penetrácie (pentrometer STS Šumperk) v hĺbke podložky	25 mm 1,75 MPa 50 mm 2,45 MPa 100 mm 3,72 MPa

K určeniu dovolenej rýchlosti pohybu nosiča MT8-046 bol pre špecifikáciu pohybu na rovine zvolený II. prevodový stupeň, ktorý prakticky zodpovedá technologickej rýchlosti kosenia na rovine. Vybraný nábehový úsek v dĺžke 20 m mal v smere pohybu priemerný sklon 7°. Záznamy z meraní sú zhrnuté v tab. III. Potom priemerná brzdná dráha bude 0,5 m. Prísny rešpektovaním vzťahu (4) určíme, že na rovine so sklonom 0° by brzdná dráha bola ~ 0,3 m.

K určeniu dovolenej rýchlosti, ktorou sa môže nosič po svahu so sklonom 21,3° pohybovať, bol vybraný dispozičný svah so sklonom 17°. Apriórne rešpektujeme požiadavku, že adhézne súčinitele na rovine a skúšobnom svahu budú rovnaké. Vybrané súbory experimentov sú uvedené v tab. IV. Priemerná brzdná dráha je potom 0,66 m. Dodatočné experimenty k dosiahnutiu rovnakej brzdné dráhy na svahu so sklonom 17° s brzdnou dráhou na rovine nie sú nutné. Porovnáme súčiniteľov adhézie pre sklon 7° a sklon 17°. Zo vzťahu (4) stanovíme:

$$\mu_7 = 0,43 \text{ a } \mu_{17} = 0,52$$

III. Určenie brzdné dráhy na rovine (sklon 7° v smere brzdenia) – Determination of the braking distance on plane

Skúška číslo <sup>1</sup>	Úsek <sup>2</sup> (m)	Čas rozbehu <sup>3</sup> (s)	Priemerná rýchlosť <sup>4</sup> (m.s <sup>-1</sup> )	Brzdná dráha <sup>5</sup> (m)
1	20	12,30	1,625	0,40
2	20	11,80	1,700	0,60
3	20	11,10	1,790	0,35
4	20	11,97	1,670	0,52

Brzdenie všetkými kolesami (blokovanie)<sup>6</sup>  
(Meranie prevzaté zo záznamov Šesták et al. (1989)<sup>7</sup>)

<sup>1</sup>test no. <sup>2</sup>section <sup>3</sup>starting time <sup>4</sup>average speed <sup>5</sup>braking distance, <sup>6</sup>all wheels braking (blocking), <sup>7</sup>measurement taken over from Šesták et al. (1989) records

Nepriaznivejšia bude podložka s nižším súčiniteľom adhézie. Na túto korigujeme aj dovoľenú rýchlosť pohybu pre stanovený sklon svahu 21,3°, pričom rešpektujeme stanovenú brzdnú dráhu na sklone 7°, ktorá je 0,47 m. Nakoniec bude:

$$v_{DOV} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,4675 \cdot (0,45 \cdot \cos 21,3^\circ - \sin 21,3^\circ)}$$

$$v_{DOV} = 1,04 \text{ m.s}^{-1}$$

Zistili sme, že nosič náradia MT8-046 s čelne nesenou čelnou lištou SP2-212 sa môže bezpečne (všetkými smermi) pohybovať rýchlosťou 1,04 m.s<sup>-1</sup> po teréne so sklonom 21,3°.

## ZÁVERY

Bol vykonaný rozbor stanovenia svahovej dostupnosti poľnohospodárskych vozidiel podľa doteraz platných štandardov. Využitím poľných experimentov s poľnohospodárskymi vozidlami bol navrhnutý nový metodický postup určovania svahovej dostupnosti. Svahová dostupnosť je popísaná dvomi údajmi :

- dovoľeným sklonom terénu. Tento sklon určíme tak, že v polárnom diagrame hraníc statickej stability vozidla zistíme najmenší sklon terénu, pri ktorom jedna z reakcií vozidla je nulová a zistený uhol v stupňoch podelíme číslom 2,

- dovoľenou rýchlosťou pohybu vozidla po teréne s dovoľeným sklonom, ktorá je zisťovaná jednoduchým experimentom v reálnom teréne.

Oba parametre popisujúce svahovú dostupnosť poľnohospodárskeho vozidla sú určované využitím parametrov prototypu vozidla a výsledkov jednoduchého pokusu v reálnych terénnych podmienkach.

## LITERATÚRA

- Andert A. (1971): Přesnější metody pro rychlé určení svahové dostupnosti traktorů a jeho vhodnosti pro práci v proměnlivých zemědělských podmínkách. Zeměd. Techn., 17, 321–338.
- Grečenko A. (1983): Dynamická stabilita jako součást svahové dostupnosti zemědělských strojů. Zeměd. Techn., 29, 643–658.

Grečenko A. (1986): Metoda určování svahové dostupnosti zemědělských vozidel. Zeměd. Techn., 32, 577–598.  
Hunter A. G. M. (1982): A physical model for demonstrating tractor accidents on slopes. J. Agric. Engng Res., 27, 163–168.  
Reichmann E. (1972): Hangstabilität landwirtschaftlicher Fahrzeuge. Teil 1. Wierelburg, Forsch.-Ber. BPLMG, Heft 1.  
Šesták J., Sklenka P., Škulavík L., Markovič R. (1987): Statická stabilita a svahová dostupnosť horskej kosačky MT8-046-SP2-212 a samojazdného zberacieho voza MT6-063, ASN-055. Zeměd. Techn., 33, 105–122.

Šesták J., Sklenka P., Škulavík L., Markovič R. (1989): Dynamická stabilita univerzálnej horskej hnacej jednotky MT8-046. Zeměd. Techn., 35, 579–596.  
STN 47 0170.  
STN 47 0174. Meranie statickej stability strojov.  
STN 47 0187. Poľnohospodárske a lesnícke stroje a traktory. Metódy merania konštrukčných parametrov.  
STN 47 7092.

Došlo 15. 1. 1999

---

**Kontaktná adresa:**

Prof. Ing. Jozef Šesták, CSc., Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel./fax: +421 87 360 73, e-mail: jozo.sestak@post.sk

---

# VYUŽITIE POČÍTAČOVEJ SIMULÁCIE V MODELOVANÍ INTERAKCIÍ LEMEŠA S PÔDOU

## THE UTILIZATION OF COMPUTER MODELLING IN PLOUGH SHARE-SOIL INTERACTION

J. Balla, D. Brozman

*Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*

**ABSTRACT:** Technical development in agricultural engineering and related branches is based on new design and testing methods of machines and their parts with respect to their exposition to very hard and aggressive operational conditions. Their reliability is dependent on the service life of separate machine parts and requires an interdisciplinary approach already in the design stage. In the category of tillage implements there is especially the case of blunting of the cutting edge in interaction with soil. The contribution summarizes the progress of a project devoted to computer modelling of plough share wear utilizing the theory of systems. The project goal is to create a computer model simulating interactions of tool and soil with respect to wear and shape of cutting edge. In the first stage there was created a 2-D model where soil was substituted by a flowing homogenous continuum. The level of pressure distribution has been considered as proportional to the distribution of wear intensity. The physical experimental method of measuring the cutting edge shape requires a contactless measuring procedure allowing precise measurement of any surface shape with possibility of automation. The method selected for this case has been the moiré interferometry. The image was treated and evaluated by means of a CDD array allowing a consequent graphical and numerical treatment. The procedure steps included a computer model of share cutting edge wear. At first only the flow of a continuum surrounding the ideal cutting edge was taken into consideration for testing of the model. In order to approach it to real outputs the model was completed by boundary conditions taking into consideration the flow reduction due to plough share profile and the reaction acting on the lower part of the cutting edge thus simulating the compressive force and friction effects. ANSYS software package was used to create a 2-D model by FLOTTRAN module in order to model the flows of newtonian and non-newtonian continua. The model was solved for both non-compressible continuum and continuum with varied density and varied magnitude of internal friction. The transition to a 3-D model required to consider the local orientation of the plough share during its operation. For this reason there was increased the resolution level from the point of view of model geometry. The research ambitions have aimed at achieving a real contactless measurement of plough share shape by means of optical methods. The moiré topography is advantageous in offering a large measuring range, 0.1 to 10 mm in this case. The results are a base for identification of the computer model. In the following steps a 3-D coupled structural-flow model and a model of plough share penetration through soil considered as a solid porous body was generated.

plough share wear; interaction; soil; computer model

**ABSTRAKT:** V článku je stručne sumarizovaný postup projektu zaoberajúceho sa počítačovým modelovaním opotrebenia lemeša s využitím teórie systémov. Cieľom projektu je vytvoriť počítačový model simulujúci interakciu nástroja s pôdou, s ohľadom na opotrebenie a tvar ostria. Pre tento účel bol v prvej fáze vytvorený dvojrozmerný model, v ktorom bola pôda nahradená prúdiacim homogénnym ideálnym kontinuumom, ktorého výsledkom bolo tlakové pole považované za veličinu proporcionálnu opotrebeniu nástroja. Takýto model bol riešený pomocou vlastných algoritmov a pomocou komerčných softvérových balíkov – virtuálnych laboratórií. Získaný model bol v dobrej zhode s meraným profilom nástroja. V druhej etape bolo prikočené k vytvoreniu trojrozmerného modelu. Predbežné výsledky poukazujú na možnosť veľkej variability, názornosti a teda univerzálnosti takejto simulácie.

opotrebenie lemeša; interakcia; pôda; počítačový model

### ÚVOD

Technický pokrok v poľnohospodárskej technike a pridružených oblastiach sa odráža hlavne pri vývoji a testovaní strojných celkov a ich častí, pretože práve poľnohospodárska technika je vystavená veľmi nároč-

ným a agresívnym podmienkam. Pri konštrukčnom návrhu strojných celkov alebo ich častí vystupuje do popredia záujmu otázka ich životnosti, ktorej riešenie vyžaduje vo väčšine prípadov komplexný interdisciplinárny prístup. Do tejto triedy problémov patrí aj otázka tvaru ostria pluhu, zmeny tohto tvaru počas interakcie s pôdou

a geometria jeho práce. Pokus o priblíženie sa k exaktnému riešeniu takejto problematiky vedie ku matematickej teórii systémov, ktorá pri praktickej aplikácii vyžaduje meranie, vyhodnotenie a modelovanie opotrebenia ostria pluhu pracujúceho v rôznych pôdnych prostrediach za rôznych podmienok. Celý tento postup skladajúci sa zo spomenutých troch stupňov je možné riešiť pomocou vytvorenia neúplných systémov (súborov veličín a ich relácií) na reálnom a abstraktnom objekte, pričom pomocou experimentálnych meraní a počítačových experimentov sú systémy inverzným postupom dopĺňané, čo sa v teórii systémov nazýva identifikácia (Ondráček, Janiček, 1990). Tento spôsob riešenia daného problému teda vyžaduje vytvorenie abstraktného objektu, ktorý vystihuje reálny objekt do hranice zvolenej rozlišovacej úrovne z hľadiska materiálového, konštrukčného a odborového. Túto úroveň je možné voliť postupne podľa výsledkov modelovania a výsledkov experimentálnych meraní; vznikajú teda rôzne priblíženia pri postupnom riešení problému. Pri tvorbe modelu je vhodné deliť model na prvky s príslušným definovaním väzieb medzi týmito prvkami, pričom vytvorené prvky je možné opäť deliť, čím vzniknú prvky rôznych úrovní. Získaním čiastkových riešení problému na jednotlivých prvkoch je možné dospieť k požadovanému doplneniu systému na objekte, a tým k vyriešeniu celého problému.

Ako vyplýva z naznačeného postupu, ide o pomerne zložitý a rozsiahly problém, pre ktorý je potrebné analyzovať jednotlivé postupy, vybrať pre ne správne metódy a rozpracovať hodnotenie ich presnosti.

## MATERIÁL A METÓDY

Pre experimentálnu metódu určovania tvaru ostria bola požadovaná bezkontaktná optická metóda, ktorá umožňuje presne merať tvar akéhokoľvek povrchu s možnosťou automatizácie meraní. Do úvahy pripadali dve možnosti, ktoré sú súbežne pre daný účel rozpracovávané. Jedná sa o moiré interferometriu. Pre spracovanie a vyhodnotenie získaného obrazu je využívaný riadkový CCD snímač, ktorým je daný obraz skanovaný a následne graficky aj numericky spracovaný.

Pre počítačový model tvaru ostria lemeša je v prvom priblížení riešený 2-D problém s určitým stupňom geometrickej a oborovej rozlišovacej úrovne, pričom pôdne prostredie je nahradené ideálnym kontinuum. Riešením tohto modelu je teda v prvom priblížení získané tlakové pole v potenciálovom prúde, ktoré pôsobí na ostrie lemeša a ktorému je na uvažovanej rozlišovacej úrovni úmerné opotrebenie.

Výsledok riešenia uvedeného modelu a experimentálneho merania je súbor veličín, ktoré spolu s pôvodne známymi veličinami charakterizujúcimi model a reálny objekt vytvoria doplnený systém. Prepojenie výsledkov experimentu a počítačového modelu – identifikácia vedie k zdokonaleniu modelu – posunuje rozlišovaciu úroveň smerom k jemnejším technickým a fyzikálnym detailom.

Moiré interferometria využíva klasický nekoherentný zdroj svetla a je menej náročná na experimentálny postup ako metódy s koherentným zdrojom svetla (Baláž, Szabo, 1986). Základom metódy je superpozícia dvoch spravidla lineárnych sietí (informačnej a referenčnej) – tzv. Ronchiho mriežok. Informáciu o fyzikálnych zmenách prenáša tzv. informačná sieť vzťahovaná na sledovaný objekt. Referenčná sieť slúži ako vzťažná sústava pre určenie zmien informačnej siete.

Pri superpozícii dvoch sietí s priepustnosťami  $t_1$  a  $t_2$  bude celková amplitúdová priepustnosť  $t(x,y) = t_1(x,y) \cdot t_2(x,y)$ . Ak uvažujeme sínusoidálne mriežky s amplitúdovými priepustnosťami

$$t_1(x,y) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \sin \frac{2\pi x}{p_1} \right] \quad t_2(x,y) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \sin \frac{2\pi x}{p_2} \right] \quad (1)$$

kde sa kroky  $p_1$  a  $p_2$  len málo líšia, pre celkovú priepustnosť po úprave dostaneme

$$t(x,y) = 1 + 2 \sin \frac{2\pi x}{p} \cdot \cos \frac{2\pi x}{q} + \frac{1}{2} \left[ \cos \frac{4\pi x}{q} - \cos \frac{4\pi x}{p} \right] \quad (2)$$

kde:  $p$  a  $q$  – polovica zo súčtu, resp rozdielu prevrátených hodnôt krokov sietí

Prvé dva členy vyjadrujú sínusoidálnu vlnu s frekvenciou rovnou aritmetickému priemeru frekvencií superponovaných sietí, spojitie modulovanú kosínusovým členom, ktorého frekvencia sa mení omnoho pomalšie. Účinok tejto modulácie vedie ku vzniku čiar moiré s krokom  $q$  a frekvenciou rovnou rozdielu frekvencií základných sietí. Ostatné členy sú vyššie harmonické.

Pri mapovaní tvaru povrchu (Kafri, Glatt, 1990), teda pri superpozícii skreslenej a pôvodnej Ronchiho mriežky, dostávame moiré obrazec, čiže kontúrovú mapu  $f(x,y)$  s krokom  $p$

$$\begin{aligned} y + f(x,y) &= np \\ \frac{y}{f(x,y)} &= \frac{mp}{lp} \end{aligned} \quad (3)$$

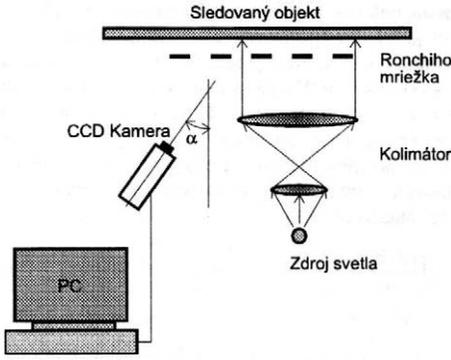
kde:  $l = n - m$   
 $n$  a  $m$  – rády čiar Ronchiho mriežok  
 $l$  – rád moiré interferenčných čiar

Obecne členitý povrch sledovaného objektu spôsobuje, že obe siete sa voči sebe pootáčajú tak, že ak vzájomný uhol medzi nimi označíme, môžeme písať

$$\begin{aligned} [y + f(x,y)] \cos(\theta/2) &= x \sin(\theta/2) + np \\ \frac{y \cos(\theta/2)}{f(x,y) \cos(\theta/2)} &= -x \sin(\theta/2) + mp \\ &= 2x \sin(\theta/2) + lp \end{aligned} \quad (4)$$

kde:  $l = n - m$

Základom experimentu je zdroj bieleho svetla (obr. 1), ktorý premieta Ronchiho mriežky a pod určitým uhlom  $\alpha$  je pozorovaný povrch sledovaného objektu. Pozorovaný je moiré obrazec – krivky, ktorých miera skreslenia je úmerná  $h(x,y) \tan \alpha$ , kde  $h(x,y)$  je funkcia výškovvej zmeny. Pri rovnom povrchu by platilo



1. Usporiadanie pri zázname moiré topogramu – Arrangement for a moiré topography record

sledovaný objekt – object of observation  
 Ronchiho mriežka – Ronchi grid  
 CCD kamera – CCD camera  
 kolimátor – collimator  
 zdroj svetla – light source

$$y = mp \quad (5)$$

Ak je obrazec skreslený, odchylka od lineárnosti je  $h(x,y) \operatorname{tg} \alpha$ , teda

$$y + h(x,y) \operatorname{tg} \alpha = np \quad (6)$$

Z predchádzajúcich dvoch vzťahov dostaneme

$$h(x,y) = lp \operatorname{ctg} \alpha \quad (7)$$

čo je rovnica predstavujúca topografickú mapu objektu s výškovým krokom  $p \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ .

## MATEMATICKÝ MODEL OBTEKANIA LEMEŠA IDEÁLNYM KONTINUOM

V spomenutom prvom priblížení je na modelovom abstraktnom objekte definovaný systém veličín, ktorý popisuje potenciálové prúdenie pôdneho kontinua. Pri definovaní takéhoto prúdenia vychádzame z predpokladu pomerne nízkej hodnoty šmykového napätia v ornej pôde, čo nás vzhľadom na to, že sa pracuje s predbežným modelom, oprávňuje nahradiť pohyb pôdy potenciálovým prúdením.

Uvažujeme určitý objem  $\Omega$  ohraničený plochou  $\sigma$ , hustotu kontinua  $\rho$  a jeho rýchlosť  $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$ . Ak vyberieme z uvažovaného objemu malý objem  $\omega$  ohraničený povrchom  $S$ , cez každý element tohto povrchu pretečie za čas  $\Delta t$  množstvo kontinua  $\Delta Q$ ; celkové množstvo pretekajúce z objemu  $\omega$  alebo do objemu  $\omega$  je teda dané ako

$$Q = \Delta t \iint_S \rho \vec{v} \vec{n} dS \quad (8)$$

kde:  $\vec{n}$  – jednotkový vektor v smere normály na povrch  $S$

Ak uvažujeme zmenu množstva kontinua v objeme  $\omega$  v čase, môžeme písať

$$\iint_S \rho \vec{v} \vec{n} dS = \iiint_{\omega} \frac{\partial \rho}{\partial t} d\omega \quad (9)$$

Pomocou Gauss-Ostrogradského vety prepíšeme v poslednom vzťahu povrchový integrál a uvažíme, že objem  $\omega$  je ľubovoľný a argument pod takto upraveným integrálom je spojitá funkcia, dostaneme rovnicu kontinuity, ktorú môžeme písať v tvare

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} - \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (10)$$

Ak uvažujeme kontinuum nestlačiteľné a pohyb potenciálny, vektor rýchlosti je gradient nejakej potenciálovej funkcie  $\Phi$ . Pri fyzikálnej interpretácii potenciálovej prúdenia  $\Phi$  môžeme uvažovať v našom prípade, že pre potenciálové prúdenie platí zákon zachovania energie v tvare Bernoulliho rovnice, pričom rýchlosť prúdenia je malá; platí teda

$$\Phi = p + \rho gy = k \quad (11)$$

Poslednú rovnicu môžeme rozpísať ako

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -k \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (12)$$

Pre spomínané prvé priblíženie uvažujeme 2-D riešenie problému, teda dostávame rovnicu pre plošné prúdenie v dvojrozmernej oblasti

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = 0 \quad (13)$$

čo je rovnica eliptického typu, ktorá sa rieši zadaním okrajových podmienok na krivke ohraničujúcej danú oblasť. Pre jej riešenie je najvhodnejšia a aj najrozšírenejšia metóda konečných prvkov.

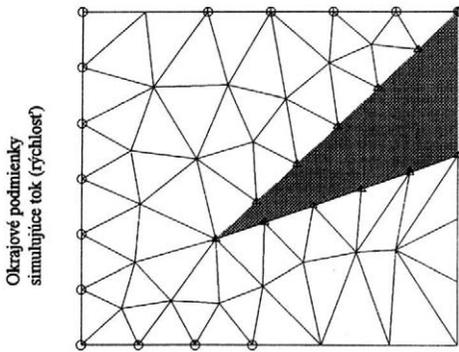
Tento postup je predmetom viacerých publikácií, v ktorých je rozvedený do podrobností (Zienkiewicz, 1975; Kazda, 1983). V ďalšom texte bude naznačený postup zostavenia rovníc vhodných pre numerický výpočet. Princíp riešenia spočíva v hľadaní spojitého alebo po častiach spojitého priebehu funkcie  $\Phi$  v celej oblasti, ktorá je spojitě rozdelená na prvky konečných rozmerov. Tieto prvky môžu mať trojuholníkový alebo štvoruholníkový tvar s rôznym počtom uzlov vo vrchole alebo na stranách. Pri praktickej aplikácii je možné vychádzať z viacerých princípov, no univerzálny je princíp vážených reziduí (Kazda, 1983). Jednou z variant tohto princípu je Galerkinova metóda.

Riešenú oblasť rozdělíme napr. na trojuholníkové prvky (obr. 2) s tromi uzlami. Priebeh neznámej funkcie  $\Phi$  budeme v ľubovoľnom bode oblasti aproximovať polynómom  $\Phi'$  v tvare

$$\Phi'(x,y) = \sum_{L=1}^N \Phi_L N_L(x,y) \quad (14)$$

kde:  $\Phi_L$  – neznáme hodnoty funkcie v uzloch prvkov  
 $N_L$  – lineárne nezávislé interpolačné funkcie  
 $N$  – počet uzlov v oblasti  $\Omega$

Interpoláčn é funkcie sú závislé na hodnotách súradníc  $x,y$  a sú definované tak, že  $N_L$  má v uzle  $L$  hodnotu 1



Okrajové podmienky simulujúce reaktívnu silu v dôsledku redukcie toku (tlak)

2. Rozdelenie riešenej oblasti na elementy a ilustrácia uváženia okrajových podmienok – Subdivision of the examined area into elements and illustration of the boundary condition consideration

okrajové podmienky simulujúce tok (rýchlosť) – flow (velocity) simulating boundary conditions

okrajové podmienky simulujúce reaktívnu silu v dôsledku redukcie toku (tlak) – boundary conditions simulating the reactive force resulting from the flow reduction (pressure)

a nadobúda nulové hodnoty vo všetkých ostatných uzloch oblasti  $O$ . Priebeh  $\Phi'$  v každom trojuholníkovom konečnom prvku s tromi uzlami je teda definovaný pomocou troch hodnôt  $\Phi_L$  v jeho uzloch a pomocou troch interpolačných funkcií príslušných k týmto uzlom. Priebeh  $\Phi'$  v prvku je lineárny a je popísaný rovnicou roviny, ktorá prechádza uzlami prvku

$$\Phi(x,y) = a_0 + a_1x + a_2y \quad (15)$$

Koeficienty  $a_0, a_1, a_2$  sa určia z podmienky, že hodnoty  $\Phi'$  vo vrcholoch sa musia rovnať uzlovým hodnotám  $\Phi_i, \Phi_j$  a  $\Phi_m$  ( $i, j, m$  sú vrcholy trojuholníkového prvku)

$$\Phi_i = a_0 + a_1x_i + a_2y_i \quad (16)$$

$$\Phi_j = a_0 + a_1x_j + a_2y_j$$

$$\Phi_m = a_0 + a_1x_m + a_2y_m$$

Po vyriešení sústavy dostaneme rovnicu roviny (15) v tvare

$$\Phi(x,y) = N_i(x,y)\Phi_i + N_j(x,y)\Phi_j + N_m(x,y)\Phi_m \quad (17)$$

kde

$$N_i(x,y) = \frac{1}{2A} [(x_jy_m - x_my_j) + (y_j - y_m)x + (x_m - x_j)y]$$

$$N_j(x,y) = \frac{1}{2A} [(x_my_i - x_iy_m) + (y_m - y_i)x + (x_i - x_m)y] \quad (18)$$

$$N_m(x,y) = \frac{1}{2A} [(x_jy_i - x_iy_j) + (y_i - y_j)x + (x_j - x_i)y]$$

kde: hodnota  $A$  – plocha prvku vyjadrená pomocou súradníc vrcholov trojuholníka  $i, j, m$

Ak aproximatívne riešenie  $\Phi'$  dosadíme do riešenej diferenciálnej rovnice, dostávame na pravej strane na-

miesto nulovej hodnoty určité reziduum  $R$ . Jeho veľkosť je mierou výstižnosti približného riešenia. Ak by reziduum bolo nulové, je aproximatívne riešenie zhodné so skutočným. V súlade s metódou vážených reziduí sa hľadá taká kombinácia  $\Phi_L$  pri ktorej sa aproximatívne riešenie bude čo najviac blížiť presnému riešeniu, t.j. pri ktorom budú integrály rezidua násobeného váhovými funkciami  $W_L$  príslušnými k uzlom  $L$  po riešenej oblasti rovné nule

$$\iint_O \left( \frac{\partial^2 \Phi'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi'}{\partial y^2} \right) W_L(x,y) dx dy = 0 \quad (19)$$

kde:  $L = 1, \dots, N$

V Galerkinovej metóde sa váhové funkcie  $W_L$  definujú zhodne s interpolačnými funkciami  $N_L$ . Rovnica (24) predstavuje sústavu  $N$  rovníc formulovaných pre celkový počet  $N$  uzlov v oblasti  $O$ . Túto sústavu je potrebné ďalej upraviť pomocou integrácie po častiach z dôvodu nespojitosti derivácií aproximácie  $\Phi'$  na hraniciach prvkov. Dostaneme teda rovnicu s prvými deriváciami, korektne vyjadriteľnými pomocou použitej aproximácie

$$\begin{aligned} \iint_O \left( \frac{\partial^2 \Phi'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi'}{\partial y^2} \right) N_L dx dy = \\ = - \iint_O \left( \frac{\partial \Phi'}{\partial x} \frac{\partial N_L}{\partial x} + \frac{\partial \Phi'}{\partial y} \frac{\partial N_L}{\partial y} \right) dx dy + \int_H \left( \frac{\partial \Phi'}{\partial x} n_x + \frac{\partial \Phi'}{\partial y} n_y \right) N_L dH \end{aligned} \quad (20)$$

kde:  $H$  – hranica oblasti  $O$

$n_x$  a  $n_y$  – smerové kosinusy vonkajšej normály k tejto hranici

Ak je hranica nepriepustný okraj, krivkový integrál na pravej strane bude nulový. Ak dosadíme aproximáciu (14) do poslednej sústavy, dostaneme sústavu  $N$  lineárnych algebraických rovníc pre  $N$  neznámych hodnôt funkcie  $\Phi$  v uzloch prvkov. Táto sústava bude mať tvar

$$\begin{aligned} \iint_O \left( \sum_{M=1}^N \frac{\partial N_M}{\partial x} \Phi_M \frac{\partial N_L}{\partial x} + \sum_{M=1}^N \frac{\partial N_M}{\partial y} \Phi_M \frac{\partial N_L}{\partial y} \right) dx dy = \\ = \int_H \frac{\partial \Phi}{\partial n} n_H N_L dH \end{aligned} \quad (21)$$

kde: index  $L$  – riadky sústavy

index  $M$  – stĺpce

Zápis v krivkovom integrále na pravej strane má význam derivácie funkcie  $\Phi$  v smere vonkajšej normály na hranicu  $H$ . Jednoduchší a prehľadnejší zápis uvedenej sústavy je v maticovom tvare

$$[G] \{ \Phi \} = \{ f \} \quad (22)$$

kde:  $[G]$  – matica sústavy

$\{ \Phi \}$  – vektor neznámych potenciálových funkcií

$\{ f \}$  – vektor pravých strán.

Pre riešiteľnosť sústavy je potrebné zaviesť do nej okrajové podmienky na hranici riešenej oblasti. Môžeme to urobiť dvoma spôsobmi (Arsenin, 1977). Pri pr-

vom prípade budú na príslušnej hranici predpísané priamo hodnoty potenciálových (prúdových) funkcií  $\Phi_M$  (Dirichletova okrajová podmienka). Toto je do sústavy zavedené tak, že  $M$ -tý riadok sa nahradí rovnicou  $\Phi_M =$  predpísaná hodnota. Druhý spôsob (Neumanova okrajová podmienka) využíva predpísané hodnoty derivácie prúdovej funkcie – rýchlosti prúdenia násobenej váhovou funkciou príslušnou k uzlu  $M$ , ktoré sa integrujú po hranici a výsledná hodnota sa dosadí do pravej strany  $\{f\}M$ -tého riadku sústavy rovníc.

Pri definovaní okrajových podmienok je pri uvedenom priblížení okrem tlaku v prúdiacom kontinuu (Dirichletova okrajová podmienka) uvažovaný aj tlak, ktorým je simulovaná redukcia toku spôsobená obtekaným profilom – priečnym rezom lemeša. Redukciu toku je možné vyjadriť pomocou bilancie hybnosti (Henley, Rosen, 1969), z ktorej plynie, že zdroj hybnosti je rovný hmotnostnej sile  $F_m$ . Tok hybnosti fázovým rozhraním (lemeš-kontinuum) je pri nulovej výmene hmoty medzi fázami vyjadrený plošnou silou  $F_S$  na rozhranie. Tok hybnosti nejakým prierezom  $S$  uvažujeme za predpokladu, že rýchlosť je  $k$  nemu vo všetkých bodoch kolmá, teda

$$\int_S \vec{p} \cdot d\vec{S} \approx [(\rho \langle v^2 \rangle + \langle p \rangle) \vec{S}^T]_S \quad (23)$$

kde:  $S$  – plocha prierezu orientovaná do smeru rýchlosti

Bilanciu hybnosti potom vyjadríme rovnicou

$$\sum_{s=1}^k [(\rho \langle v^2 \rangle + \langle p \rangle) \vec{S}^T]_s - \sum_{s=k+1}^k [(\rho \langle v^2 \rangle + \langle p \rangle) \vec{S}^T]_s - F_S + F_m = \frac{d p_s}{dt} \quad (24)$$

Pre riešený model, čo je prípad jednoduchého (nevzvetveného) toku a nestlačiteľného kontinua, môžeme vzťah zjednodušiť

$$[(\rho \langle v^2 \rangle + \langle p \rangle) \vec{S}^T]_1 - [(\rho \langle v^2 \rangle + \langle p \rangle) \vec{S}^T]_2 + \vec{F}_m = \vec{F}_S \quad (25)$$

a navyiac môžeme pri technickom výpočte uvážiť  $\langle v^2 \rangle = \langle v \rangle^2$ . Keďže model riešime ako 2-D prípad, rozpíšeme poslednú rovnicu na súradnice  $x, y$ . Hmotnostná sila (tiažová) je orientovaná v smere zápornej osi  $y$ . Plošnú silu pôsobiacu na fázové rozhranie (lemeš – kontinuum) rozložíme do súradníc  $x, y$ , teda  $F_{sx}$  a  $F_{sy}$ . Priemet bilancie hybnosti do smeru  $x$  je potom

$$(\rho \langle v_1^2 \rangle + \langle p \rangle_1) S_1 - (\rho \langle v_2^2 \rangle + \langle p \rangle_2) S_2 \cos \varphi = F_{sx} \quad (26)$$

a do smeru  $y$

$$-(\rho \langle v_2^2 \rangle + \langle p \rangle_2) S_2 \sin \varphi - mg = F_{sy} \quad (27)$$

Takýmto spôsobom môžeme získať predstavu o pomere tlaku v kvapaline k tlaku na fázové rozhranie v dôsledku redukcie toku a zohľadniť to v zadaní okrajových podmienok simulujúcich tento vplyv.

Numerické riešenia sústav rovníc, ako aj riešenie parciálnych diferenciálnych rovníc so spomenutými úpravami, sú v súčasnosti obecné algoritimizované v niekoľkých softwarových produktoch, ako napr. Mathematica 2.2, alebo MathCAD 5.0, a to voľne po-

užiteľných kódov (Mohtar et al., 1996), ktoré je možné s výhodou využiť.

## VÝSLEDKY

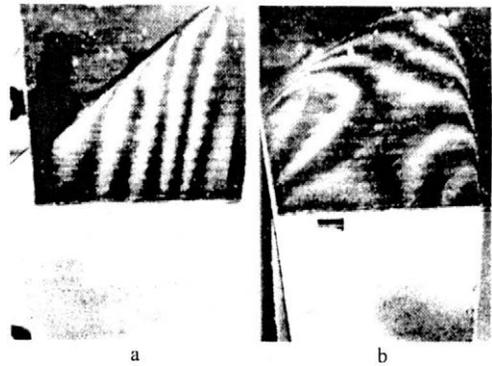
### VÝSLEDKY EXPERIMENTU

Meranie tvaru povrchu bolo zamerané na sledovanie zmeny celej pracovnej plochy lemeša, t.j. plochy líčnej, chrbtovej a plochy opotrebovávanej reznej hrany. Ilustrácia zmeny tvaru časti líčnej strany v rôznych štádiách opotrebovania je na obr.3, kde priame čiary predstavujú rovný, ale sklonený povrch (sklon je v kolmom smere k interferenčným čiaram) a deformované čiary sledujú deformáciu povrchu v už uvedenom zmysle.

V prvom priblížení bolo vyhodnotenie experimentu zamerané na vývoj tvaru rezu reznou hranou. Interferenčné obrazy boli snímané v rezoch riadkovým CCD snímačom vo zvolených krokoch. Získané priebehy boli frekvenčne filtrované a následne spracované v zmysle vyššie uvedenej teórie. Grafické spracovanie výsledkov pre jednotlivé štádiá vývoja opotrebovania vo forme rezu reznou hranou je na obr. 4. Jednotlivé štádiá boli vybraté náhodne, bez zámeru o určenie vzťahu medzi opotrebením a prevádzkovou dobou a o dodržanie rovnakých pôdnych a prevádzkových podmienok.

### VÝSLEDKY POČÍTAČOVÉHO MODELOVANIA

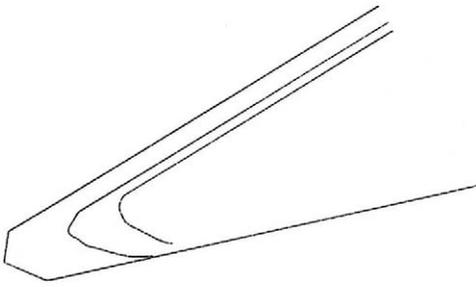
Počítačový model opotrebovania reznej hrany lemeša bol vytvorený v niekoľkých krokoch. V prvom kroku



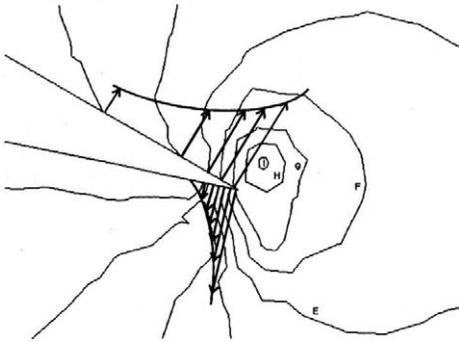
3. Moiré topogram časti povrchu lemeša pre rôzne štádiá opotrebovania – Moiré topography of the plough share surface for different wear stages

a – nový (nepoužitý) lemeš – new (not utilized) plough share  
b – úplne opotrebovaný lemeš (ustálený tvar, ktorý sa od určitej fázy už nemení) – completely worn plough share (stabilized shape which would no more change after achieving a certain stage)

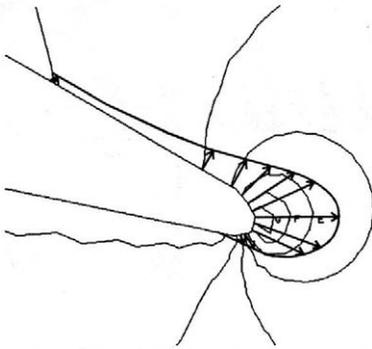
Podmienkami experimentu je dané, že na všetkých obrázkoch je krok interferenčných čiar rovný približne 1 mm výškovej zmeny povrchu – It was given by the experiment conditions that one step of interference lines would equal to approx. 1 mm of change of surface in all figures



4. Profily nepotrebeného lemeša a dvoch štádií opotrebenia, kde vidieť vývoj tvaru reznej hrany a veľkosť opotrebenia – Profiles of an unworn plough share and of two wear stages visualizing the development of the cutting edge shape and the wear size

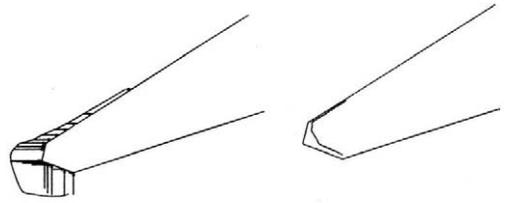


5. Simulácia rozloženia tlakov pri obtekání ideálnej reznej hrany a izobary v obtekajúcom kontinuu – Simulation of pressure distribution of the flow surrounding the ideal cutting edge and isobars of the surrounding continuum

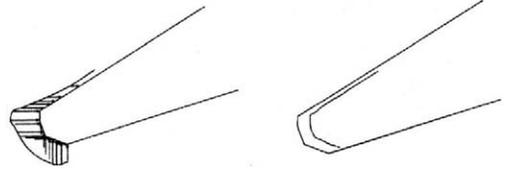


6. Simulácia rozloženia tlakov pri obtekání opotrebenej hrany a izobary v obtekajúcom kontinuu – Simulation of pressure distribution of the flow surrounding the worn edge and isobars of the surrounding continuum

bolo uvažované len prúdenie kontinua v okolí ideálnej reznej hrany, na ktorej bol model testovaný. Výsledky ukazuje obr. 5. Simulácia tlakových pomerov na opotrebenej (zaoblenej) reznej hrane je ilustrovaná na obr. 6.



7. Tlakový profil na novom lemeši pre okrajové podmienky podľa obr. 2 a jemu zodpovedajúce opotrebenie (pre danú rozlišovaciu úroveň) – Pressure profile at a new plough share for boundary conditions according to Fig. 2 and its corresponding wear (for the given discrimination level)



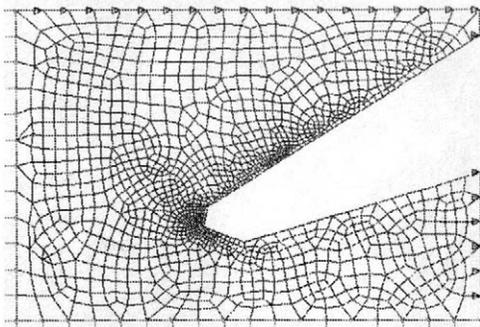
8. Tlakový profil pre tvar reznej hrany vzniknutý modelom z obr. 6 a jemu zodpovedajúce opotrebenie – Pressure profile for the cutting edge shape originating from the model in Fig. 6 and its corresponding wear

Pre reálnejšie výsledky bol model doplnený okrajovými podmienkami zohľadňujúcimi redukciu toku spôsobenú profilom lemeša a reakciu, ktorá pôsobí na spodnú časť reznej hrany lemeša, čo simuluje účinky prítlačnej sily a trenia. Znázornenie tlakového profilu pre takýto prípad a jemu zodpovedajúce opotrebenie pre dva po sebe nasledujúce štádiá sú zobrazené na obr. 7 a 8.

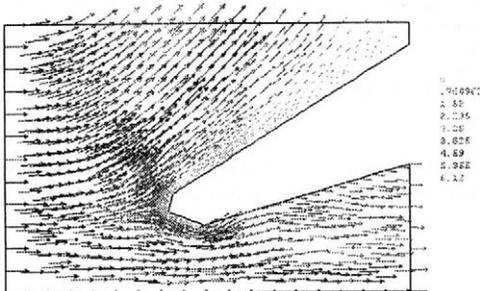
## RIEŠENIE ÚLOHY POMOCOU SYSTÉMU ANSYS

Pri riešení bol v zmysle formulácie úlohy pre túto etapu vytvorený 2-D model v module FLOTRAN programového balíka ANSYS, pre modelovanie prúdenia newtonovského a ne-newtonovského kontinua. Okrajové podmienky boli zavedené vo forme rýchlosti pohybu lemeša (5 m/s), vlastnej tiaže pôdy a tlakových pomerov plynúcich z redukcie toku. V tomto priblížení nebol modelovaný tlak vznikajúci na hrote lemeša pri rozrušovaní pôdy, pretože má pravdepodobne vplyv len na rýchlosť opotrebenia lemeša, nie na jeho konečný tvar (predmet ďalšieho výskumu). Delenie vyšetrovanej oblasti na elementy bolo v záujme presnosti na obryse lemeša zhrustené, ako vidieť z obr. 9. Model bol riešený pre dva prípady, nestlačiteľné kontinuum a kontinuum s premennou hustotou a premennou hodnotou vnútorného trenia. Z výsledkov vidieť minimálny rozdiel pri uvažovaní stlačiteľnosti kontinua, čo sa dalo pri nízkych rýchlostiach pohybu, ktoré boli modelované, predpokladať (obr. 10–13).

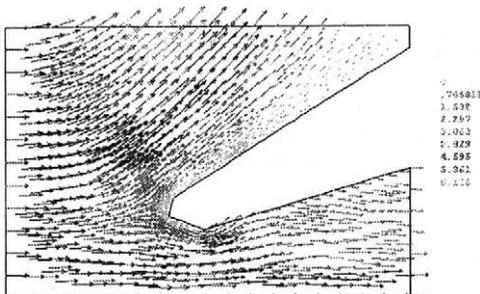
Pri prechode na trojrozmerný model bolo potrebné uvážiť priestorovú orientáciu lemeša pri prevádzke. Pre



9. Rozdelenie vyšetrovanej oblasti prúdiaceho kontinua na konečné prvky – Subdivision of the examined area of the continuum flow in finite elements

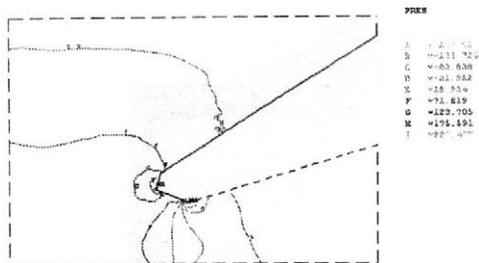


10. Rýchlostné pole pri obtekaní lemeša pri uvažovaní nestlačiteľného kontinua – Velocity field of surrounding flow of the plough share when incompressible continuum is considered

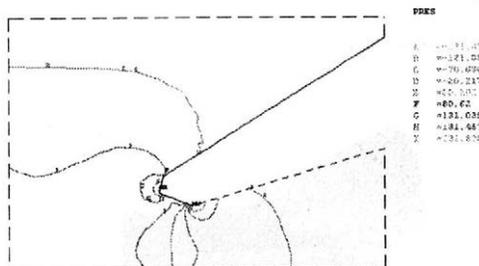


11. Rýchlostné pole pri obtekaní lemeša pri uvažovaní stlačiteľného kontinua – Velocity field of surrounding flow of the plough share when compressible continuum is considered

tento účel bola zvýšená rozlišovacia úroveň z hľadiska geometrie modelu. Materiálová rozlišovacia úroveň bola zachovaná z predchádzajúcich modelov. Geometrický model a rozdelenie modelu na elementy je ilustrované na obr. 14 a 15. Na obr. 16 je zobrazené riešenie modelu pre tlakové plochy, ktoré sú v uvažovanom priblížení proporcionálne opotrebeniu. Pre prehľadnosť obrázku nie je zobrazené teleso lemeša. Výsledky ne-



12. Tlakové pole (MPa) (izobary) vznikajúce pri pohybe lemeša v nestlačiteľnom kontinuu – Pressure field (MPa) (isobars) arising with the plough share motion in an incompressible continuum



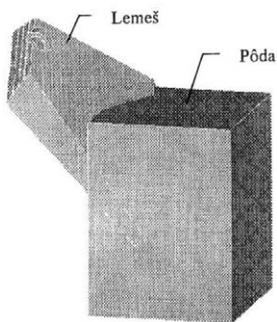
13. Tlakové pole (MPa) (izobary) vznikajúce pri pohybe lemeša v stlačiteľnom kontinuu – Pressure field (MPa) (isobars) arising with the plough share motion in a compressible continuum

korešpondujú v požadovanej korelácii s reálnym opotrebením, pretože neboli v tejto etape pre zložitosť modelu uvažované podmienky redukcie toku.

## ZÁVER

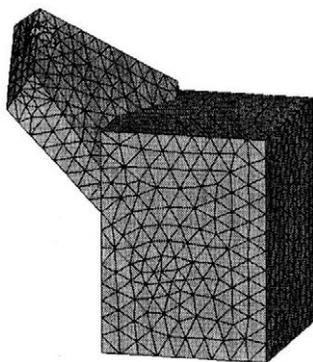
Predstavená etapa výskumu si kladla za cieľ zrealizovať možnosť bezkontaktného merania tvaru lemeša pomocou optických metód. Výhodou moiré topografie je, že má veľký rozsah merania, v konkrétne použitom prípade 0,1 až 10 mm, čím je najvhodnejšia pre daný účel. Navyše v prípade experimentálneho zvládnutia a použitia CCD techniky napojenej na počítač je rýchla a „suchá“ (bez použitia fotografických postupov). Takýmto postupom boli získané topogramy povrchu lemeša, z ktorých je možné vyhodnotiť celkový 3-D tvar alebo ľubovoľný rez.

Tieto výsledky tvoria základ pre identifikáciu počítačového modelu, ktorý bol pre prvé priblíženie vytvorený ako profil lemeša v potenciálovom prúde. Tento prípad bol riešený pre okrajové podmienky zodpovedajúce prúdeniu v smere osi  $x$  (smer pohybu lemeša). Po vyriešení a porovnaní s meraniami boli uvažované okrajové podmienky pre redukciu toku, čím sa model v danom priblížení maximálne priblížil realite. Model bol taktiež pre porovnanie riešený pomocou programu ANSYS.



14. Geometrický 3-D model segmentu lemeša v pracovnej polohe v pôde – Geometric 3-D model of the plough share segment in working position

lemeš – plough share  
pôda – soil



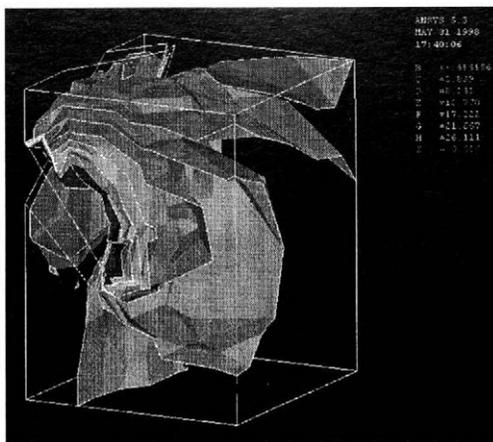
15. Rozdelenie 3-D modelu lemeša pri práci v pôde na elementy – Subdivision of the 3-D model of plough share working in soil into elements

V uvedených modeloch bol zavedený predpoklad úmernosti opotrebenia k tlakovému poľu v okolí reznej hrany. Pre rozšírenie modelu bol vytvorený 3-D model stlačiteľného prúdenia, ktorý bol otestovaný pre stabilitu riešenia na prípade prúdenia kontinua v smere osi  $x$ .

V ďalšom riešení je vytváraný 3-D párovaný štruktúrálno-prúdový model a model prieniku lemeša cez pôdu uvažovanú ako pevné pórovité teleso (nie tekutina).

## POĎAKOVANIE

Projekt je riešený ako časť grantovej výskumnej úlohy č. 1/4406/97 M-20 riešenej na Katedre fyziky a č.



16. Izoplochy tlakov vznikajúcich pri práci lemeša v pôde podľa modelu pri prvom priblížení (pôda je nahradená ideálnym kontinuum) – Isoplanes of pressures originating when the plough share works in the soil according to the model in first approach (soil substituted by ideal continuum)

1/7684/20 riešenej na Katedre spoľahlivosti strojov Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre. Finančná podpora je zabezpečená grantovou komisiou VEGA MŠ SR.

## LITERATÚRA

- Arsenin V. J. (1977): Mathematical physics. (In Russian) Moscow, Nauka.
- Baláš J., Szabo V. (1986): Holografická interferometria v experimentálnej mechanike. Bratislava, Veda.
- Henley E. J., Rosen E. M. (1969): Material and energy balance computation. New York, Wiley.
- Kafri O., Glatt I. (1990): The Physics of moire metrology. New York, J. Wiley & Sons.
- Kazda I. (1990): Finite element techniques in groundwater flow studies. Amsterdam, Elsevier.
- Kazda I. (1983): Proudění podzemní vody – řešení metodou konečných prvků. Praha, ČVUT.
- Mohtar R. H., Puri V. M., Carroll N. (1996): Selected topics in numerical analysis I. FEA committee of the ASAE.
- Ondráček E., Janiček P. (1990): Výpočtové modely v technické praxi. Praha, SNTL.
- Zienkiewicz O. C. (1971): The finite element method in engineering science. London, McGraw-Hill.

Došlo 15. I. 1999

## Kontaktná adresa:

Prof. Ing. Jozef Balla, CSc., Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel.: +421 87 513 613, fax: +421 87 417 003, e-mail: balla@uniag.sk

# INFLUENCE OF TEMPERATURE ON MOISTURE SORPTION ISOTHERMS OF POPLAR CHIPS UNDER STORING CONDITIONS

## VLIV TEPLoty NA PRŮBĚH SORPČNÍCH IZOTEREM VLHKOSTI ŠTĚPKŮ TOPOLU ZA PODMÍNEK SKLADOVÁNÍ

J. Štencel

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

**ABSTRACT:** Moisture sorption isotherms of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips were determined using a gravimetric dynamic method with continuous recording of changes in sample weight. Equilibrium data for adsorption and desorption of water from poplar chips were investigated at near ambient air temperatures in the range of 20 to 45 °C and water activity ranging from 0.40 to 1.0. Sorption capacity decreased as temperature increased. Rehydration of the dried material resulted in hysteresis. Four models available in the literature (Chung-Pfost, Halsey, Henderson and Oswin) were evaluated by determining the best fit to the experimental data. The Chung-Pfost equation was found to be a good model for moisture adsorption and desorption of poplar chips.

model; sorption isotherms; temperature; water activity

**ABSTRAKT:** V průběhu skladování a zpracovávání biologických produktů dochází k jejich fyzikálním, chemickým a mikrobiálním změnám. Tyto změny jsou ovlivňovány především vlhkostí materiálu, vodní aktivitou a teplotou. Sorpční izotermi vlhkosti biologických produktů vyjadřují závislost mezi rovnovážnou vlhkostí materiálu a vodní aktivitou. Její kritická hodnota je z hlediska mikrobiální stability rovna 0,6. Studie předkládá výsledky výzkumu vlivu teploty a relativní vlhkosti prostředí na rovnovážný obsah vlhkosti dřevní štěrky topolu (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) při adsorpci a desorpci. Rovnovážné vlhkosti testovaných vzorků byly sledovány v prostředí o teplotách 20, 25, 30, 35, 40 a 45 °C a relativních vlhkostech 40, 50, 60, 70, 80, 90 a 100 %. Pro sorpční testy byla použita gravimetrická metoda s kontinuální registrací změn hmotnosti v proudícím prostředí. Porovnávány a analyzovány byly čtyři matematické modely (Chung-Pfost, Halsey, Henderson a Oswin) vyjadřující vztah rovnovážná vlhkost vzorku/vodní aktivita. Při hodnocení se vycházelo ze statistických analýz. Nejlepším modelem pro dřevní štěrku topolu, a to jak pro adsorpci, tak pro desorpci, byla modifikovaná rovnice podle Chung-Pfosta. Z vytvořených grafických závislostí je zřejmá hystereze mezi adsorpcí a desorpcí vody a snížení sorpční kapacity vlhkosti s nárůstem teploty.

model; sorpční izoterma; teplota; vodní aktivita

### INTRODUCTION

The importance of equilibrium moisture content (*EMC*) data has long been recognized for obtaining conditions during biological product conservation, especially drying and storing (Van Straten, van Bostel, 1995; Labuza, 1984). The changes of sorption properties are particularly influenced by the moisture content of material (*MC*), water activity ( $a_w$ ), and near ambient air temperature. The sorption isotherms of biological materials show the equilibrium relationship between the  $a_w$  and *MC* at constant temperatures and pressures. The temperature generally affects  $a_w$ . A number of theoretical, semi-theoretical, and empirical isotherm equations have been developed to model and predict sorption behaviour of biological products (Van den

Berg, 1981; Iglesias, Chirife, 1982; Sokhansanj et al., 1986). The Chung-Pfost, GAB, Halsey, Henderson, and Oswin models are commonly used to describe the sorption behaviour of a wide range of wet biological products (Iglesias, Chirife, 1982; Wolf et al., 1990). The GAB was evaluated as excellent to describe monolayer of water molecules inside the capillary of wet biological materials in a certain range of  $a_w$  (Rao, Rizvi, 1995).

The precision of fit of a model can be determined using several statistics: the standard error of the estimate for *EMC* (*SEE*) (Hutchinson, Otten, 1984; Chen, Morey, 1989a; Mazza, Jayas, 1991), the mean relative percentage deviation (*P*) (Chen, Morey, 1989a, b; Mazza, Jayas, 1991), the plot of residuals (Sokhansanj et al., 1986; Chen, Morey, 1989a; Mazza, Jayas, 1991; Madamba et al., 1994) and also the coefficient of de-

termination ( $R^2$ ) (Chen, Morey, 1989a, b; Banaszek, Siebenmorgen, 1990; Madamba et al., 1994).

Procedures for obtaining moisture sorption isotherms of biological materials have been described in detail by Troller and Christian (1988) and by Wolf et al. (1990). The principal methods are gravimetric, manometric, and hygrometric. The gravimetric method is the most common type of sorption tests. It is possible to obtain MC changes of samples continuously or periodically using a static system (usually a closed jar containing saturated salt solutions or sulphuric acid solutions which give a certain equilibrium relative air humidity) or a dynamic system (circulated air with a constant flow rate). The dynamic system with continuous recording of weight changes is technically more complicated than the static one but the flow of air around the sample makes the wetting and drying processes faster. Moreover, this system gives better results in cases of layered materials (Hutchinson, Otten, 1984).

The objective of this study is to determine the effect of near ambient air temperature on the adsorption and desorption isotherms of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips in the range of 20–45 °C, to examine four sorption isotherm equations available in the literature (Chung-Pfost, Halsey, Henderson and Oswin) and to determine the most appropriate model corresponding to the isotherms measured.

## MATERIAL AND METHODS

The dynamic gravimetric method with continuous registration of weight changes of samples tested was used for equilibrium moisture content determination. A fully computerized laboratory drying device with special control software was developed for the purpose of sorption tests (Štencl et al., 1995, 1999). The dryer consists of two main function parts: an air duct with electronically controlled air temperature, air velocity, relative air humidity, and an electronic balance with a special sample holder. Moisture equilibrium data of poplar chips (Fig. 1), for adsorption and desorption of water, were investigated at a temperature range of 20–45 °C in 5 °C steps and relative air humidities from 40 to 100% in 10% steps.

Samples tested were laid in a thin layer on the sample holder. The procedure of each of the tests was as follows: after reaching the EMC of the sample at a cer-



1. Samples of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips

tain relative air humidity and at a constant temperature (20–45 °C, 5 °C step), the relative humidity was automatically increased – water adsorption or decreased – water desorption (40–100%, 10% step) and the equilibrium was searched under these new conditions again. Each of the tests was repeated three times. The initial moisture content of samples was about 12% (w.b.) and the weight 3 000 mg ± 100 mg. The experimental EMC data were analyzed using nonlinear regression procedure of UNISTAT (1995). The following four mathematical models (Madamba et al., 1994; Štencl et al., 1999) describing the relationship between EMC of wet biological materials and  $a_w$  were studied: Chung-Pfost, Halsey, Henderson and Oswin. The expression of their modified form is as follows:

$$\text{Chung-Pfost } w_e = \frac{1}{a} \ln \left( \ln a_w \frac{(b-t)}{c} \right) \quad (1)$$

$$\text{Halsey } w_e = \left( \frac{\exp(a+bt)}{-\ln a_w} \right)^c \quad (2)$$

$$\text{Henderson } w_e = \left( \frac{\ln(1-a_w)}{a(t+b)} \right)^c \quad (3)$$

$$\text{Oswin } w_e = (a+bt) \left( \frac{a_w}{1-a_w} \right)^c \quad (4)$$

where:  $a_w$  – water activity  
 $w_e$  – equilibrium moisture content (EMC), % w.b.  
 $t$  – temperature (°C)  
 $a, b, c$  – constants for the particular equation

## RESULTS

Equations modeling the dependence of EMC of poplar chips on  $a_w$  in the temperature range of 20–45 °C were investigated and reviewed. Analysis of residuals and goodness-of-fit tests were carried out after determining the parameters. The comparisons of Chung-Pfost, Halsey, Henderson and Oswin models are given in Tab. I.

I. Comparison of Chung-Pfost, Halsey, Henderson and Oswin models for adsorption and desorption of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips

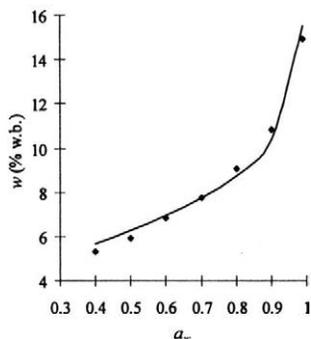
Model	SEE	P	$\chi^2$	$R^2$
Chung-Pfost ads	0.5643	3.7806	0.2106	0.9742
Halsey ads	0.7900	7.7461	0.8707	0.9495
Henderson ads	0.5646	5.8707	0.5658	0.9742
Oswin ads	0.6801	6.5990	0.3810	0.9626
Chung-Pfost des	0.5118	3.1400	0.2335	0.9780
Halsey des	0.7866	3.5699	0.8012	0.9414
Henderson des	0.5196	3.1927	0.2696	0.9744
Oswin des	0.6776	4.5566	0.8511	0.9565

Notes: ads = adsorption, des = desorption

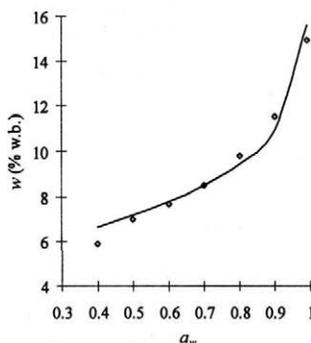
## II. Parameter determination for Chung-Pfost's model of EMC for poplar chips

Parameter ads	Estimate	Std. Error	Parameter des	Estimate	Std. Error
a	-0.4572	0.0130	a	-0.5037	0.0161
b	11.0244	1.6011	b	13.8320	1.1568
c	354.3139	47.2258	c	680.6973	110.3250

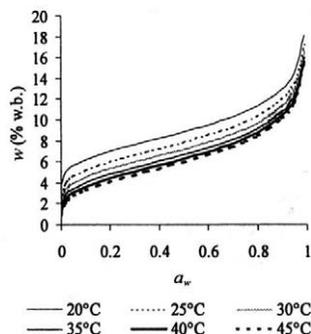
Notes: ads = adsorption, des = desorption



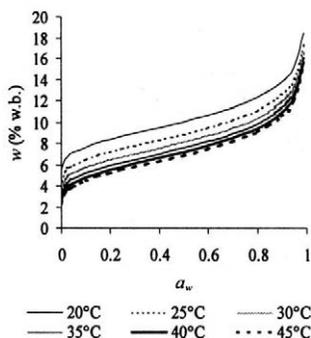
2. Adsorption isotherm for poplar chips at 40 °C



3. Desorption isotherm for poplar chips at 40 °C



4. Adsorption isotherms of poplar chips in the temperature range of 20–45 °C – Chung-Pfost's model



5. Desorption isotherms of poplar chips in the temperature range of 20–45 °C – Chung-Pfost's model

The following statistics were compared: *SEE* – standard error of estimate, *P* – mean relative percentage deviation,  $\chi$  – null hypothesis (Anděl, 1978), and  $R^2$  – coefficient of determination.

The statistical values in Tab. I show that Chung-Pfost's model for poplar chips, both for water adsorption and desorption, has the smallest standard error of estimate and the smallest mean relative percentage deviation. The standardized residuals of these models are normally distributed (null hypothesis) and the coefficient of determination has also the highest value both for moisture adsorption and desorption.

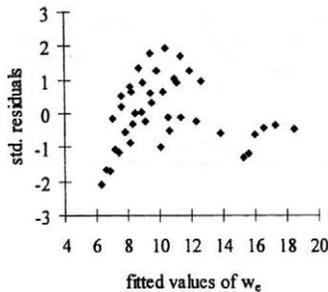
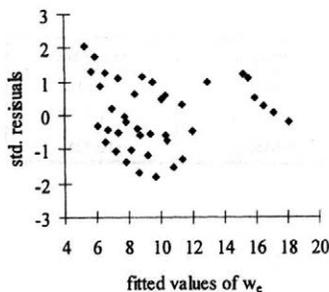
Adsorption and desorption parameters estimated for model Chung-Pfost's of *EMC* for poplar chips are presented in Tab. II.

As an example, the experimental adsorption and desorption isotherms of poplar chips for 40 °C and water activity ranging from 0.4 to 1.0 are shown in Figs 2 and 3. Curves represent Chung-Pfost's model.

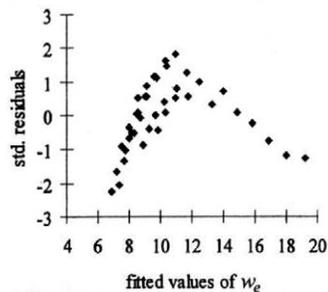
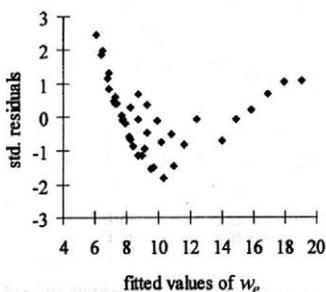
Figs 4 and 5 were generated to illustrate the adsorption and desorption models of poplar chips given by equation (1) using fitted parameters in Tab. II. The interval  $a_w \in (0.0; 0.4)$  was calculated according to the Chung-Pfost's model.

## CONCLUSIONS

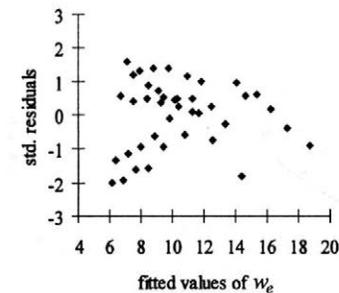
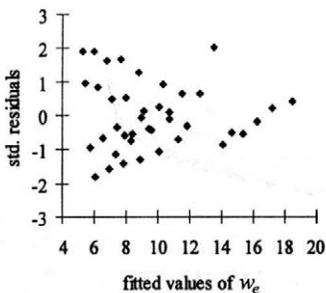
The relationship between *MC* and  $a_w$  for most biological products follows a sigmoid curve representing



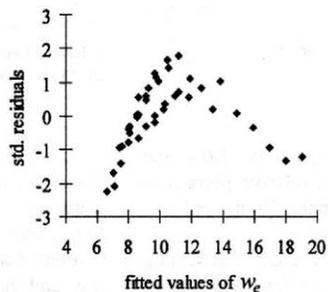
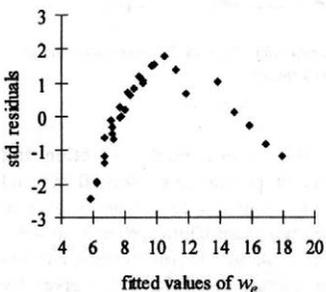
6. Residual plots for Chung-Pfost's model of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips, water adsorption and desorption



7. Residual plots for Halsey's model of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips, water adsorption and desorption



8. Residual plots for Henderson's model of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips, water adsorption and desorption



9. Residual plots for Oswin's model of poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips, water adsorption and desorption

type II isotherm BET classification (Labuza, 1984). The resulting curve is caused by the additive effects of Raoult's law, capillary effects, and surface water interactions.

Part of the sorption isotherms measured in poplar (*Populus maximoviczii* x *P. nigra*) chips (Figs 4 and 5) show the type II BET classification shape. An increase

in temperature causes an increase in  $a_w$  for the same  $MC$  and, if  $a_w$  is kept constant, an increase in temperature causes a decrease in the amount of absorbed water. It indicates that the material becomes less hygroscopic at higher temperatures. These observations are important for determining the conditions for different technological processes, especially drying and storing. The

mathematical equation of Chung-Pfost, both for water adsorption and desorption,

$$w_e = \frac{1}{a} \ln \left( \ln a_w \frac{(b-t)}{c} \right)$$

was verified and diagrams of sorption isotherms (Figs 4 and 5) were developed. Theoretical values of this model gave the best fit for data of EMC measured (Figs 2 and 3). Diagrams of residual plots (Figs 6–9) confirmed these conclusions. It was further demonstrated that the critical EMC of poplar chips was approximately 10–11% (w.b.) at 20 °C as it is in equilibrium with  $a_w = 0.6$ . Below this value the growth of moulds does not occur (Beuchat, 1981). Rehydration of the dried material resulted in hysteresis.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The study was supported by the NAZV 7MZ7315 grant awarded through the Ministry of Agriculture of the Czech Republic and MSM 432100001 grant.

#### REFERENCES

Anděl J. (1978): *Matematická statistika*. Praha, SNTL, 205–206.  
Banaszek M. M., Siebenmorgen T. J. (1990): Adsorption equilibrium moisture contents of long-grain rough rice. *Trans. Agric.*, 33, 247–252.  
Beuchat L. (1981): Microbial stability as affected by water activity. *Cereal Foods World*, 26, 345–351.  
Hutchinson D. H., Otten L. (1984): Equilibrium moisture content of white beans. *Cereal Chemistry*, 61, 155–158.  
Chen C. C., Morey R. V. (1989a): Comparison of four EMC/ERH equations. *Trans. ASAE*, 32, 983–990.  
Chen C. C., Morey R. V. (1989b): Equilibrium relative humidity (ERH) relationships of yellow dent corn. *Trans. ASAE*, 32, 999–1006.

Iglesias H. A., Chirife J. (1982): *Handbook of isotherms: Water sorption parameters for food and food components*. New York, Academic Press.  
Labuza T. P. (1984): Typical sorption isotherms. In: *Moisture sorption*. Amer. Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 8–21.  
Madamba P. S., Driscoll R. H., Buckle K. A. (1994): Predicting the sorption behaviour of garlic slices. *Drying Technol.*, 12, 669–683.  
Mazza G., Jayas D. S. (1991): Equilibrium moisture characteristics of sunflower seeds, hulls and kernels. *Trans. ASAE*, 34, 534–538.  
Rao M. A., Rizvi S. S. H. (1995): Chemical potential and phase equilibria. In: *Engineering properties of foods*. NY, Marcel Dekker, Inc., 226–241.  
Sokhansanj S., Zhijie W., Jayas D., Kameoka T. (1986): Equilibrium relative humidity – moisture content of rapeseed (canola) from 5 °C to 25 °C. *Trans. ASAE*, 29, 837–839.  
Štencel J., Homola P., Gotthardová J., Čapková I. (1995): An experimental drying device and the creation of characteristic drying curves. *Acta Univ. Agric. Silviculturae Mendeliana Brunensis*, (1–4), 49–56.  
Štencel J., Otten L., Gotthardová J., Homola P. (1999): Model comparisons of equilibrium moisture content of prunes in the temperature range of 15–45 °C. *J. Stored Products Res.*, 35, 27–36.  
Troller J., Christian J. H. B. (1988): *Water activity and food*. N.Y., Academic Press.  
Van den Berg C. (1985): Water activity. In: *Concentration and drying of foods*. Ed. Q. McCarthy, London, Elsevier Applied Science Publisher, 11–36.  
Van Straten G., van Boxtel A. J. B. (1995): Progress in process operation by goal oriented advanced control. IFAC/CIGR/EurAgEng/ISHS Workshop CAPPT'95, Ostend (B), 12 p.  
Wolf W., Spiess W. E. L., Jung G. (1990): Standardization of isotherms measurements (COST project 90 and 90 bis). In: Simatos D., Multon J. L. (eds.): *Properties of water in foods*. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 671–679.  
UNISTAT (1995): *Users Guide*. London, Unistat Limited.

Received on February, 2, 2000

---

#### Contact Address:

Doc. Ing. Jiří Štencel, CSc., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Tel.: 05 4513 2116, Fax: 05 4521 2044, e-mail: stencel@mendelu.cz

---

# 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 novinek 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 IAAALD – mezinárodní asociace zemědělských knihovníků. Od září 1991 je členem mezinárodní sítě zemědělských knihoven AGLINET a od 1. 1. 1994 je depozitní 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 pokání 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 z vlastních databází knižních novinek, 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 zaslíá 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.cz
referenční služby:	22 52 22 46, e-mail: bartos@uzpi.cz
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:	UZLK@uzpi.cz

# STANOVENÍ ROVNOVÁŽNÝCH VLHKOSTÍ SEMENE PŘADNÉHO LNU

## THE EQUILIBRATE MOISTURE DETERMINATION OF THE FIBRE FLAX SEEDS

J. Krupička, V. Ošťádal in mem., B. Hanousek

*Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic*

**ABSTRACT:** Knowledge of equilibrium moisture content of agricultural crops is of great importance for defining the mode of their drying. Water is bound in all organic materials either as chemically bound component (constituting the substance of the material: cannot be separated without destroying the material itself) or as hygroscopically bound water or as loose water. In the area of hygroscopically bound water there exists the relationship of equilibrium moisture content of the material, which is to be understood as stabilized status between the material moisture and the relative air humidity at a constant temperature, i.e.  $u = f(\varphi)$  at  $T = \text{const}$ . The sorption isotherm is, depending on the change of relative air humidity, either desorptional (at decreasing relative humidity  $\varphi$ ) or adsorptional (at increasing relative humidity  $\varphi$ ). Between both curves there exists the hysteric effect and they can be plotted for different temperatures. The equilibrium moisture content of flax seeds was determined by means of air conditioning chambers ILKA 1250. Specific moisture contents of forty seed samples were measured at a changing relative air humidity in the chamber in intervals of approx 6 h so as to find the relationship of changes of specific moisture content ( $u$ ) and of exposition time ( $\tau$ ) at constant temperatures and consequently the changes of sorption isotherms  $u = f(\varphi)$ . Changes of relative air humidity are presented in Tab. I. The measured values  $u = f(\tau)$  were treated by means of nonlinear regression function in the form of  $u = A + B \cdot e^{C \cdot \tau}$  where:  $u$  – specific moisture content of material ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ),  $\tau$  – time of exposition (h). Regression coefficients (parameters) and values of correlation indices are presented in Tab. II. For the draft of sorption isotherms there was selected the Chen-Clayton equation  $\varphi = \exp[-A \cdot T^B \cdot \exp(-C \cdot T^D \cdot u)]$ , in the form of  $u = f(\varphi)$ , where:  $\varphi$  – relative environment humidity (%),  $T$  – temperature ( $^{\circ}\text{K}$ ). Its regression coefficients and correlation indices are presented in Tab. III, courses of  $u = f(\varphi)$  in Figs 1 and 2. The equation is suitable for description of sorption isotherms for flax seeds. Sorption isotherms can be plotted for more detailed scaling of temperature, can be used in modelling the drying mode and for programming controllers of the drying process.

specific moisture content; relative humidity; equilibrium moisture content; fibre flax seeds; air conditioning chamber; sorption isotherm

**ABSTRAKT:** V příspěvku je uveden způsob měření rovnovážných vlhkostí lněného semene. Byly využity klimatizované komory s možností regulace teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Měření zahrnovala sledování změn měrné vlhkosti semene přadného lnu při desorpci a adsorpci v závislosti na době expozice. Vhodným matematicko-statistickým zpracováním byly stanoveny izotermy rovnovážných vlhkostí lněného semene.

měrná vlhkost; relativní vlhkost; rovnovážná vlhkost; semeno přadného lnu; klimatizační komora; sorpční izoterma

### ÚVOD

Znalost rovnovážných vlhkostí zemědělských materiálů má velký význam pro stanovení režimu jejich sušení. Lze např. stanovit, kdy bude materiál sušen a kdy zvlhčován, jakých parametrů sušicího média je potřeba dosáhnout, aby byl materiál vysušen na požadovanou vlhkost (zpracování), jaké parametry musí mít okolní vzduch pro zajištění dlouhodobého skladování. Pomocí křivky rovnovážné vlhkosti lze zpětně stanovit vlhkost materiálu.

Ve všech organických materiálech je voda vázána několika způsoby: chemicky vázaná voda (tvorí podsta-

tu látky, nelze ji oddělit bez destrukce materiálu), hydroscopicky vázaná voda a volně vázaná voda.

V oblasti hydroscopicky vázané vody platí vztah rovnovážné vlhkosti materiálu již rozumíme ustálený stav mezi vlhkostí materiálu a relativní vlhkostí vzduchu při konstantní teplotě, tj.

$$u = f(\varphi) \text{ při } T = \text{konst.}$$

kde:  $u$  – měrná vlhkost materiálu ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$\varphi$  – relativní vlhkost vzduchu (%)

$T$  – teplota ( $^{\circ}\text{K}$ )

Křivka závislosti  $u = f(\varphi)$ , sorpční izoterma, je závislá na změně relativní vlhkosti vzduchu desorpční

I. Relativní vlhkost vzduchu v klimatizační komoře – Relative air humidity in air conditioned chamber

Režim <sup>1</sup>	Desorpce <sup>2</sup>	Adsorpce <sup>3</sup>
1	z 90 % na 75 %	z 75 % na 90 %
2	z 75 % na 60 %	z 60 % na 75 %
3	z 60 % na 50 %	z 50 % na 60 %
4	z 50 % na 40 %	z 40 % na 50 %
5	z 40 % na 30 %	z 30 % na 40 %

<sup>1</sup>mode, <sup>2</sup>desorption, <sup>3</sup>adsorption

(při postupně se zmenšující relativní vlhkosti  $\varphi$ ) a adsorpční (při postupně se zvětšující relativní vlhkosti  $\varphi$ ).

Mezi oběma křivkami existuje hysterezní jev a lze je konstruovat pro různé teploty.

Problematikou měření rovnovážných vlhkostí různých organických materiálů se zabývali různí autoři. V literatuře se uvádějí i hodnoty rovnovážných vlhkostí různých materiálů, jde však v převážné většině o zrny, luskoviny a pícniny (Brooker et al., 1938; Gerzoi, Samocetov, 1955; Lykov, 1955). O rovnovážné vlhkosti lněného semene pojednali již Coleman a Fellows (1925).

## METODA

Pro měření hodnot rovnovážných vlhkostí lněného semene byly využity dvě klimatizační komory ILKA 1250. Provoz lze regulovat v mezích teplot 10 až 60 °C s přesností  $\pm 0,3$  °C a relativní vlhkost vzduchu nastavit v rozmezí 40 až 90 % s přesností  $\pm 0,7$  %. Při zvýšené intenzitě vymrazování lze vlhkost snížit až na 30 % při přesnosti  $\pm 2,2$  %.

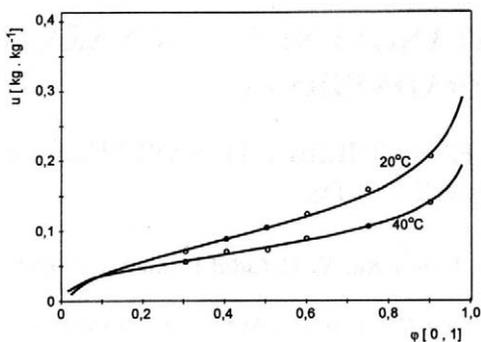
Pro vlastní experimentální zjišťování sorpčních izoterm byly využity dvě různé teploty, a to 20 °C a 40 °C, aby bylo možné ověřit přepočtení na jiné teploty pomocí rovnice podle autorů Chen, Claytone (1971).

Ze zjištěných výchozích hodnot doby ustálení při změně expozice a zvolené hmotnosti vzorku byl stanoven postup měření. Spočíval ve zjišťování hodnot rovnovážné vlhkosti materiálů pro desorpci (skokově se měnící relativní vlhkosti média v klimatizační skříně z 90 % na 30 % s postupnou změnou po 10 %) a následně obdobně pro adsorpci (při postupné změně relativní vlhkosti sušícího média z 30 % na 90 % s krokem zvyšování relativní vlhkosti 10 %) (obr. 1, 2).

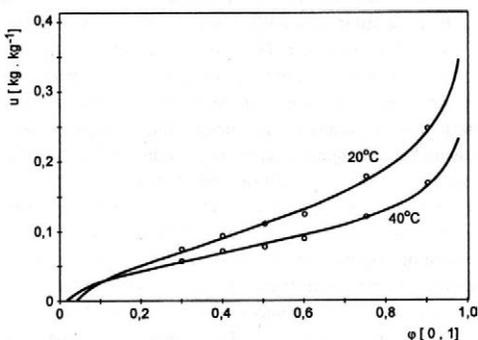
Než bylo měření zahájeno, bylo dlouhodobou expozicí při jednotlivých teplotách 20 °C a 40 °C dosaženo rovnovážné vlhkosti semene při relativní vlhkosti klimatizovaného prostoru 90 %.

Změnou desorpčního režimu na adsorpční – zvýšením teplot o 20 °C a následně ustálením na měřených teplotách 20 °C a 40 °C – se ustálila rovnovážná vlhkost semene pro měření v režimu adsorpce.

Při změně relativní vlhkosti vzduchu v klimatizační skříně v intervalu cca 6 hodin byly jednotlivé vzorky



1. Závislost měrné vlhkosti ( $u$ ) semene práděného lnu na relativní vlhkosti vzduchu ( $\varphi$ ) – desorpce – Dependence of specific moisture content ( $u$ ) of flax seeds on relative air humidity ( $\varphi$ ) – desorption



2. Závislost měrné vlhkosti ( $u$ ) semene práděného lnu na relativní vlhkosti vzduchu ( $\varphi$ ) – adsorpce – Dependence of specific moisture content ( $u$ ) of flax seeds on relative air humidity ( $\varphi$ ) – adsorption

váženy ve 20 opakovaných měřeních. Celková doba expozice na jedno měření byla zhruba 60 hodin.

## VÝSLEDKY

Pro zpracování naměřených hodnot  $u = f(\tau)$  byla použita nelineární regresní funkce ve tvaru

$$u = A + B \cdot e^{C \cdot \tau}$$

kde:  $u$  – měrná vlhkost materiálu ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$A$  – asymptotická hodnota měrné vlhkosti při dosažení rovnovážného stavu ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$B$  – hodnota poklesu (při desorpci) nebo nárůstu (při adsorpci) měrné vlhkosti ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$C$  – časová konstanta ( $\text{h}^{-1}$ )

$\tau$  – doba expozice (h)

Změny relativní vlhkosti vzduchu  $\varphi$  (%) v klimatizační komoře jsou uvedeny v tab. I.

V tab. II jsou uvedeny vypočtené parametry  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , regresní funkce a korelační indexy všech závislostí  $u = f(\tau)$  pro teplotu 20 °C a 40 °C ( $ss = \text{lněné semeno}$ ).

II. Parametry regresní funkce  $u = A + B.e^C$  – semeno pšádného lnu – Parameters of regression function  $u = A + B.e^C$  – flax seeds

Typ sorpce, teplota <sup>1</sup>	Označení měření <sup>2</sup>	Parametry funkce <sup>3</sup>			Korelační index <sup>4</sup>
		A	B	C	
Desorpce <sup>5</sup> 20 °C	ss RVD 20 90	0,2389	–	–	–
	ss 20 90 75	0,1710	0,0679	–0,0303	0,9986
	ss 20 75 60	0,1223	0,0491	–0,0343	0,9899
	ss 20 60 50	0,1056	0,0180	–0,0548	0,9984
	ss 20 50 40	0,0902	0,0152	–0,0536	0,9877
	ss 20 40 30	0,0707	0,0185	–0,0313	0,9984
Adsorpce <sup>6</sup> 20 °C	ss RVA 20 30	0,0653	–	–	–
	ss 20 30 40	0,0848	–0,0195	–0,0211	0,9984
	ss 20 40 50	0,1027	–0,0134	–0,0803	0,9989
	ss 20 50 60	0,1185	–0,0158	–0,0743	0,9991
	ss 20 60 75	0,1549	–0,0368	–0,0454	0,9992
	ss 20 75 90	0,2024	–0,0471	–0,0264	0,9981
Desorpce 40 °C	ss RVD 40 90	0,1623	–	–	–
	ss 4 90 75	0,1198	0,042	–0,0673	0,9992
	ss 40 75 60	0,0879	0,0313	–0,1129	0,9922
	ss 40 60 50	0,0749	0,0124	–0,0649	0,9947
	ss 40 50 40	0,0678	0,0067	–0,1020	0,9965
	ss 40 40 30	0,0566	0,1080	–0,1561	0,9875
Adsorpce 40 °C	ss RVA 40 30	0,0540	–	–	–
	ss 40 30 40	0,0654	–0,0111	–0,2203	0,9905
	ss 40 40 50	0,0708	–0,0055	–0,1865	0,9830
	ss 40 50 60	0,0837	–0,0129	–0,1752	0,9951
	ss 40 60 75	0,1049	–0,0209	–0,0771	0,9975
	ss 40 75 90	0,1387	–0,0336	–0,0594	0,9971

ss = lněné semeno – linseed

<sup>1</sup>sorption type, <sup>2</sup>temperature, <sup>3</sup>measurement ID, <sup>4</sup>function parameters, <sup>5</sup>correlation index, <sup>6</sup>desorption, <sup>7</sup>adsorption

III. Parametry regresní funkce  $\varphi = \exp[-A.T^B \cdot \exp(-C.T^D \cdot u)]$  – Parameters of regression function  $\varphi = \exp[-A.T^B \cdot \exp(-C.T^D \cdot u)]$

Materiál <sup>1</sup>	Typ sorpce <sup>2</sup>	Parametry funkce <sup>3</sup>				Korelační indexy <sup>4</sup>	
		A	B	C	D	k 20	k 40
Semeno lnu <sup>5</sup>	desorpce <sup>6</sup>	$8,418 \cdot 10^{-9}$	3,480	$1,839 \cdot 10^{-16}$	6,847	0,9985	0,9971
	adsorpce <sup>7</sup>	$9,905 \cdot 10^{-12}$	4,711	$2,799 \cdot 10^{-17}$	7,217	0,9974	0,9989

<sup>1</sup>material, <sup>2</sup>sorption type, <sup>3</sup>function parameters, <sup>4</sup>correlation indices, <sup>5</sup>flax seeds, <sup>6</sup>desorption, <sup>7</sup>adsorption

Pro návrh sorpční izotermy (s respektováním vlivu teploty a možnosti přepočtu na obecnou teplotu) byla zvolena Chen-Claytonova rovnice (Chen, Clayton, 1971) – (tab. III)

$$\varphi = \exp(-A.T^B \cdot \exp[-C.T^D \cdot u])$$

v inverzním tvaru  $u = f(\varphi)$

kde:  $\varphi$  – relativní vlhkost vzduchu (%)

A, B, C, D – parametry rovnice

u – měrná vlhkost materiálu ( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

T – teplota (°K)

## LITERATURA

Brooker H. J., Bakker-Akerman F. W., Hall C. W. (1938): Drying cereal grains. Connecticut, AVI publ. Comp. Soc., 60 (2), 30–319.

Coleman D. A., Fellows H. C. (1925): Hygroscopic moisture of cereal grains and flaxseed exposed to atmospheres of different relative humidities. Cereal Chem., 2 (2), 275–287.

Gerzoy A. P., Samocetov V. F. (1955): Sušení zrní. Praha, SZN, 262 s.

Chen C. S., Clayton J. T. (1971): The effect of temperature on sorption isotherms of biological materials. Trans. ASAE, 14 (7), 927-929.

Lykov A. W. (1955): Experimentelle und theoretische Grundlagen der Trocknung. Berlin, Verlag Technik, 479 s.

Došlo 17. 11. 1999

---

*Kontakní adresa:*

Ing. Josef Krupička, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: +420 2 24 38 41 34, fax +420 2 20 92 13 61

---

# VLIV PRACOVNÍCH PODMÍNEK NA ÚČINNOST VODNÝCH TENZIDOVÝCH ODMAŠŤOVACÍCH PŘÍPRAVKŮ

## EFFECT OF WORKING CONDITIONS ON THE EFFICIENCY OF TENSIDE DETERGENTS

L. Zouhar, V. Chrást

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

**ABSTRACT:** Due to stringent requirements concerning environmental protection, there was a dramatic reduction in the use of highly efficient degreasing agents based on chlorinated hydrocarbons in the field of cleaning and degreasing in machinery and repair workshops. One of the possible ways how to solve this problem is to substitute these dangerous compounds with tenside detergents. When testing the efficiency of these compounds, the following preparations were used at temperatures of 20 °C and 50 °C: STAR 50 PN and AQUACLEAN A 125 in concentrations of 1 : 5, 1 : 10 and 1 : 15. The tested steel samples with dimensions of 100 x 65 x 0.5 mm were greased with oil PP 90. All samples were degreased and washed for 5 minutes. After degreasing, the residual greasing was evaluated in accordance with the standard CSN 038215. Results of these tests are presented in Tabs I and II and in Figs 1, 2. Values of residual greasing of samples ranged from 0.051 to 0.718 g.m<sup>-2</sup>. The highest degreasing efficiency of 99.66% corresponded with the residual greasing of 0.051 g.m<sup>-2</sup>. The obtained results indicate that the efficiency of aqueous tenside detergents increases with the bath temperature; effect of higher concentrations of detergents was less pronounced.

degreasing; aqueous tenside detergents, residual greasing; degreasing efficiency; bath concentration; bath temperature

**ABSTRAKT:** Výsledky testů odmašťovací účinnosti vodných tenzidových odmašťovacích přípravků prokázaly, že při zvýšení teploty lázně z 20 °C na 50 °C se snižuje zbytkové zamaštění povrchu vzorků a zvyšuje odmašťovací účinnost. Oplach vodou rovněž zvyšuje odmašťovací účinnost. Vliv koncentrace lázně nebyl zcela jednoznačný. Za optimální považujeme koncentraci obou testovaných přípravků 1 : 10. Nejlepších výsledků bylo dosaženo u přípravku AQUACLEAN A125 při teplotě lázně 50 °C s oplachem a koncentrací 1 : 5, kdy bylo dosaženo úrovně zbytkového zamaštění 0,051 g.m<sup>-2</sup>, tj. odmašťovací účinnosti 99,66 %.

odmašťování; vodné tenzidové odmašťovací přípravky; zbytkové zamaštění; odmašťovací účinnost; koncentrace lázně; teplota lázně

### ÚVOD

Součástí takřka všech technologických procesů ve strojírenských a opravárenských provozech je odmašťování povrchu součástí. Na kvalitě odmašťování závisí kvalita následujících operací a velmi často i kvalita finálního výrobku. Mimořádný význam má operace odmašťování v technologiích povrchových ochran kovů. Odmašťovat lze v organických rozpouštědlech nebo ve vodných roztocích alkalických nebo tenzidových přípravků. Zvýšené tlaky na ochranu životního prostředí se projevují v nových trendech odmašťovacích technologií. Hygienická a ekologická rizika výrazně omezují aplikaci vysoce účinných chlorovaných uhlovodíků. Náhrada chlorovaných uhlovodíků jinými těkavými organickými přípravky je problematická vzhledem ke stanoveným limitům úniku těkavých látek do ovzduší. Aplikace vodných odmašťovacích přípravků s biologicky odbouratelnými tenzidy nabývá na významu, přináší však také různé problémy, které je nutné řešit. Těmito

otázkami se zabýval větší počet autorů (např. Soukup, Ruml, 1978; Antoš, Kalendová, 1996; Szlag, Taitlová, 1998; Kreibich, 1998).

Účinnost odmašťování ovlivňují kromě použitého přípravku i další faktory. Jsou to zejména: teplota, oplach a koncentrace lázně.

Cílem našeho příspěvku je ukázat, jakým způsobem uvedené faktory ovlivňují účinnost vodných tenzidových odmašťovacích přípravků, konkrétně přípravku STAR 50 PN a AQUACLEAN A 125.

### MATERIÁL A METODY

Vliv pracovních podmínek na odmašťovací účinnost vodných tenzidových odmašťovacích přípravků byl hodnocen v laboratorních podmínkách.

Plechové ocelové vzorky měly rozměr 100 x 65 x 0,6 mm. Průměrné zamaštění bylo stanoveno následujícím postupem:

– odmaštěný a zvážený vzorek se ponoří do oleje PP 90 na dobu 1 minuty při teplotě 20 °C. Po vyjmutí se nechá 24 hodiny okapat. Na třech vzorcích se stanoví průměrné zamaštění v g.m<sup>-2</sup>.

Pro hodnocení odmašťovací účinnosti odmašťovacích přípravků byla použita metoda hmotnostní podle ČSN 03 8215. Zbytkové zamaštění je rozdíl hmotnosti vzorků po odmaštění v hodnoceném přípravku a vzorků ideálně odmaštěných, vztážený na plochu 1 m<sup>2</sup>. Za vzorek ideálně odmaštěný je považován vzorek odmaštěný v perchloru.

Hodnocení odmašťovací účinnosti proběhlo za těchto podmínek:

- použité přípravky – STAR 50 PN a AQUACLEAN A 125,
  - teplota odmašťovacích lázní – 20 °C, 50 °C,
  - koncentrace odmašťovacích přípravků – 1 : 5, 1 : 10, 1 : 15,
  - doba odmašťování, popřípadě oplachu – 5 minut, vzorky v pohybu,
  - průměrné zamaštění vzorků 15,154 g.m<sup>-2</sup>.
- Odmašťovací účinnost  $O_i$  (%) byla vypočtena ze vztahu

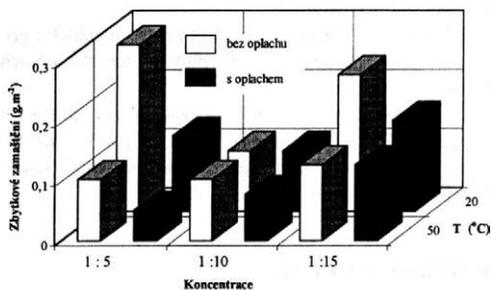
$$O_i = 100 - \frac{B \cdot 100}{A} \quad (\%)$$

kde: A – hmotnost naneseného oleje v g.m<sup>-2</sup> (průměrné zamaštění)  
B – hmotnost oleje po odmaštění (zbytkové zamaštění)

#### I. Hodnocení přípravku AQUACLEAN A 125 – Evaluation of AQUACLEAN A 125

Číslo měření <sup>1</sup>	Teplota <sup>2</sup> (°C)	Oplach <sup>3</sup> (°C)	Zbytkové zamaštění <sup>4</sup> (g.m <sup>-2</sup> )	Odmašťovací účinnost <sup>5</sup> (%)
Koncentrace <sup>6</sup> 1 : 5				
1	20	–	0,282	98,14
2	20	20	0,128	99,16
3	50	–	0,103	99,32
4	50	50	0,051	99,66
Koncentrace 1 : 10				
5	20	–	0,103	99,32
6	20	20	0,103	99,32
7	50	–	0,103	99,32
8	50	50	0,077	99,49
Koncentrace 1 : 15				
9	20	–	0,231	98,48
10	20	20	0,154	98,98
11	50	–	0,128	99,16
12	50	50	0,128	99,16

<sup>1</sup>measurement No., <sup>2</sup>temperature, <sup>3</sup>wash, <sup>4</sup>residual greasing, <sup>5</sup>degreasing efficiency, <sup>6</sup>concentration



1. Zbytkové zamaštění po aplikaci přípravku AQUACLEAN A 125 – Residual greasing after the application of AQUACLEAN A 125

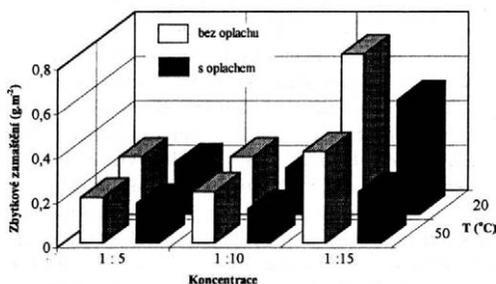
zbytkové zamaštění – residual greasing  
koncentrace – concentration  
bez oplachu – without wash  
s oplachem – with wash

#### VÝSLEDKY

Získané hodnoty zbytkového zamaštění a odpovídající hodnoty odmašťovací účinnosti za zvolených podmínek zkoušek jsou uvedeny v tab. I a II a graficky vyhodnoceny v obr. 1 a 2.

#### II. Hodnocení přípravku STAR 50 PN – Evaluation of STAR 50 PN

Číslo měření <sup>1</sup>	Teplota <sup>2</sup> (°C)	Oplach <sup>3</sup> (°C)	Zbytkové zamaštění <sup>4</sup> (g.m <sup>-2</sup> )	Odmašťovací účinnost <sup>5</sup> (%)
Koncentrace 1 : 5				
1	20	–	0,256	98,31
2	20	20	0,231	98,48
3	50	–	0,205	98,65
4	50	50	0,179	98,82
Koncentrace 1 : 10				
5	20	–	0,256	98,31
6	20	20	0,205	98,65
7	50	–	0,231	98,48
8	50	50	0,153	98,99
Koncentrace 1 : 15				
9	20	–	0,718	95,26
10	20	20	0,512	96,62
11	50	–	0,410	97,29
12	50	50	0,231	98,48



2. Zbytkové zamaštění po aplikaci přípravku STAR 50 PN – Residual greasing after the application of STAR 50 PN

## DISKUSE A ZÁVĚR

Na základě dosažených výsledků můžeme konstatovat, že u obou hodnocených odmašťovacích přípravků bylo zbytkové zamaštění nižší, to znamená, že odmašťovací účinnosti byla vyšší při aplikaci za teploty 50 °C s následným oplachem vodou stejné teploty jako teplota lázně.

Rovněž vyšší koncentrace lázně je předpokladem vyšší účinnosti. Z tohoto hlediska je výjimkou přípravek AQUACLEAN A 125 při koncentraci 1 : 5 za teploty 20 °C. Při těchto podmínkách ulpívá přípravek na povrchu vzorků a ani aplikace oplachu není dost účinná.

U přípravku STAR 50 PN bylo dosaženo nejnižší účinnosti při koncentraci 1 : 15, teplotě 20 °C, bez oplachu, a to 95,26 %, nejvyšší účinnosti – 98,99 % – při koncentraci 1 : 10, za teploty 50 °C s oplachem.

Přípravek AQUACLEAN A 125 prokázal nejnižší účinnost – 98,14 % – při koncentraci 1 : 5 za teploty 20 °C, bez oplachu a nejvyšší účinnost – 99,66 % – rovněž při koncentraci 1 : 5, ale za teploty 50 °C a s oplachem.

Výsledky ukazují, že z provozního hlediska je u obou odmašťovacích přípravků optimální volba koncentrace 1 : 10.

## LITERATURA

- Antoš P., Kalendová A. (1996): Odstranění koroze po alkalickém odmašťování. *Koroze a ochrana materiálu*, (4–5), 70–73.
- Kreibich V. (1998): Efektivně a ekologicky v předúpravách povrchu. In: Sbor. Před. Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav. Praha, ČVUT FS, 45–48.
- Soukup M., Ruml V. (1978): Odmašťování v průmyslu a zemědělství. Praha, SNTL.
- Szelag P., Taitlová J. (1998): Složení lázní regenerovatelných mikrofiltrací. In: Sbor. XXXI. celostátní aktiv galvanotechniků. Jihlava, DKO, 84–90.
- ČSN 03 8215.

Došlo 19. 5. 1999

---

### Kontaktní adresa:

Ing. Luděk Zouhar, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, tel.: +420 5 45 13 21 25, e-mail: chrast@mendelu.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
Czech Journal of Animal Science (Živočišná výroba)	12
Veterinární medicína (Veterinary Medicine – Czech)	12
Zemědělská ekonomika (Agricultural Economics)	12
Journal of Forest Science	12
Research in Agricultural Engineering	4
Plant Protection Science (Ochrana rostlin)	4
Czech Journal of Genetics and Plant Breeding (Genetika a šlechtění)	4
Zahradnictví (Horticultural Science)	4
Czech Journal of Food Sciences (Potravinařské vědy)	6

---

## 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 English, respectively in Czech or Slovak. Each manuscript must contain a short and a longer summary (including 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:** quarto, 30 lines per page, 60 strokes per line, double-spaced typescript. A PC diskette should be provided with the paper and graphical documentation. Tables, figures and photos shall be enclosed separately. The text must contain references to all these annexes.

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

**Abstract** is an information selection of the subject 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 basic 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 section **References** should preferably contain reviewed periodicals. 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.

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, telephone and fax number or e-mail.

**The manuscript will not be accepted to be filed by the editorial office if its formal layout does not comply with the instructions for authors.**

## 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 angličtině, popř. v češtině nebo slovenštině. 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 nesmí přesáhnout 15 strojopisných stran včetně tabulek, obrázků a grafů. V práci je nutné používat jednotky odpovídající soustavě měrových jednotek SI (ČSN 01 1300).

**Vlastní úprava rukopisu:** formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhozů na řádku, mezi řádky dvojitě mezery. K rukopisu je třeba přiložit disketu s prací pořízenou na PC a s grafickou dokumentací. Tabulky, grafy a fotografie se dodávají zvlášť, nepodlepují se. Na všechny přílohy musí být odkazy v textu.

Pokud autor používá v práci zkratek jakéhokoli 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 úhozů. Jsou vyloučeny podtitulky článků.

**Krátký souhrn (Abstract)** 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 nedostacích 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** by měla sestávat hlavně z lektorovaných periodik. 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 PSČ, číslo telefonu a faxu, popř. e-mail.

**Rukopis nebude redakcí přijat k evidenci, nebude-li po formální stránce odpovídat pokynům pro autory.**

## CONTENT

Kubík L.: Determination of water retention curves in the fractal soil medium.....	41
Štursa V., Bauer F.: Effect of tyres on working properties of tractor-machine sets (in Czech).....	47
Šesták J., Rědl J., Markovič R.: Assessment of side slope stability of agricultural vehicles (in Slovak)	53
Balla J., Brozman D.: The utilization of computer modelling in plough share-soil interaction (in Slovak)	59
Štencel J.: Influence of temperature on moisture sorption isotherms of poplar chips under storing conditions	67
Krupička J., Ošťádal V. in mem., Hanousek B.: The equilibrate moisture determination of the fibre flax seeds (in Czech).....	73
Zouhar L., Chrást V.: Effect of working conditions on the efficiency of tenside detergents (in Czech)..	77

## OBSAH

Kubík L.: Stanovenie retenčných kriviek pre vodu vo fraktálnom pôdnom médiu.....	41
Štursa V., Bauer F.: Vliv pneumatik na pracovní vlastnosti traktorových souprav.....	47
Šesták J., Rědl J., Markovič R.: Stanovenie svahovej dostupnosti poľnohospodárskych vozidiel.....	53
Balla J., Brozman D.: Využitie počítačovej simulácie v modelovaní interakcií lemeša s pôdou.....	59
Štencel J.: Vliv teploty na průběh sorpčních izoterm vlhkosti štěpků topolu za podmínek skladování.....	67
Krupička J., Ošťádal V. in mem., Hanousek B.: Stanovení rovnovážných vlhkostí semene přádného lnu.....	73
Zouhar L., Chrást V.: Vliv pracovních podmínek na účinnost vodných tenzidových odmašťovacích přípravků.....	77