

INSTITUTE OF AGRICULTURAL AND FOOD INFORMATION

*Research in*  
**AGRICULTURAL  
ENGINEERING**

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

CZECH ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES

*Pr 14524*

**3**

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, Ukraine  
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 za 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).

# INDENTOR PRESSURE TEST USED FOR ESTIMATION OF POTATO COOKING QUALITY WITHOUT COOKING\*

## VTLAČOVACÍ TEST UŽITÝ K ODHADU VARNÉ KVALITY BRAMBOR BEZ VAŘENÍ

J. Blahovec

*Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic*

**ABSTRACT:** Raw potato tubers of four varieties were tested by cylindrical indenter with flat tip and the basic parameters of the test were determined. Moreover, the ratio of the firmness and the apparent modulus (FAMR) was also calculated. This new relatively stable parameter was shown as a good indicator of cooking type of the tested tubers.

pressure test; Young's modulus; bioyield point; quasi-elastic deformation; potato tuber; cooking type; starch content

**ABSTRAKT:** Syrové hlízy čtyř odrůd brambor byly testovány penetračním válcem s plochým čelem. Ze získaných deformačních křivek se stanovovaly základní parametry vnikacího testu. Navíc se určovaly hodnoty poměru vnikací pevnosti a zdánlivého modulu pružnosti. Tento nový a relativně stabilní parametr se ukázal být dobrým indikátorem varného typu testovaných hlíz.

vnikací test; Youngův modul; biologická mez makrodeformace; kvazielastická deformace; bramborová hlíza; varný typ; škrobnatost

### INTRODUCTION

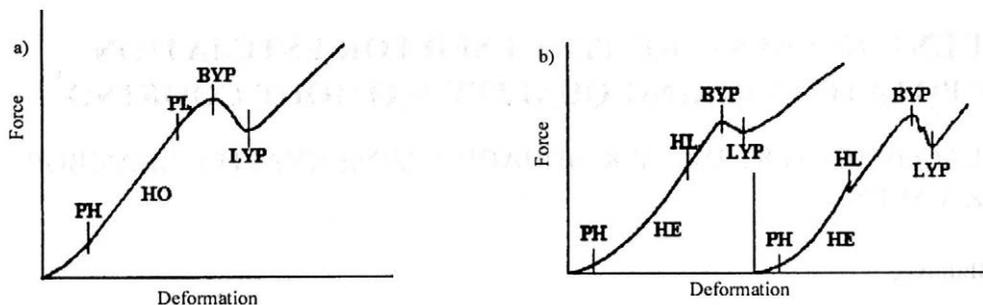
Quasi-static pressure tests use rigid indentors for force penetration into the tested products to determine some characteristic parameters in force-deformation relation. The test parameters have been used in a number of applications to plant products. Mohsenin (1970) lists eight applications of mechanical properties: characterization of the material; optimum time to harvest; optimum method of detachment; separation from undesirable materials; mechanical processing; texture, quality evaluation and control; damage in collection, handling and first group storage. These applications can be focused into two groups; firstly, for characterization of the product including evaluation of its quality, and, secondly, for determining possible mechanical damage to the product, and mechanical methods of processing. It is clear that determination of product properties can be applied in horticulture as well as in product processing.

The common basis of all the pressure tests is the deformation curve obtained at constant deformation rate (Fig. 1) with four important characteristic parts: i) the initial pre-Hookean or pre-Hertzian, ii) the quasi-elastic Hookean or Hertzian, iii) the bioyield, and iv) the irreversible deformations after the yield area.

A special role is played by the proportional limit or Hertzian limit (Fig. 1), the points dividing the deformation curve into two parts: the lower "quasi-elastic" deformations and the higher "non-elastic" deformations. Tests performed at deformations less than PL (or HL) are usually referred to as non-destructive, while tests which lead to higher deformations are referred as destructive tests.

Fig. 1a represents the typical deformation curve with linear (Hookean) quasi-elastic part of deformation, while Fig. 1b demonstrates the compression curves with the power (Hertzian) quasi-elastic part of deformation. Both parts of quasi-elastic deformation are preceded by some part of irregular pre-Hookean and/or pre-Hertzian deformations that are more frequent and expressive for deformation of flaccid agricultural products, e.g. long stored potatoes, root vegetable, and most of fruits. This non-linear part of the deformation curve can easily be distinguished from the linear Hookean part in case of Fig. 1a. The same operation is more difficult in cases plotted in Fig. 1b, where the initial irregular parts are non-linear, like as the Hertzian part. Moreover, the measured forces increase very slowly with increasing small deformations and it becomes difficult to determine exactly the initial points of the deformation curves in those cases.

\* The paper was supported by Grant 525/96/1398 of the Grant Agency of the Czech Republic.



1. The main characteristic of quasi-static pressure tests that can be determined directly from the deformation curves

a – penetration of a cylindrical indenter with a flat tip; b – penetration of a cylindrical indenter with a spherical tip. Abbreviations: PH – pre-Hookean area (a) or pre-Hertzian area (b), HO – Hookean area, HE – Hertzian area, PL – proportional limit (a), HL – Hertzian limit (b), BYP – Bioyield point (also UYP – upper yield point, LYP – lower yield point)

Elastic theory can be used for describing of the quasi-elastic parts of the deformation curves. This can be formulated for small deformation (i.e., for strain values lower than appr. 5%) in the differential forms:

$$dF = E_A d^2 de' \quad (1)$$

for penetration of the cylindrical indenter with a flat tip in the Boussinesq problem ( $E_A$  – apparent modulus of elasticity,  $e'$  – ratio of penetration depth to the diameter of the tip  $d$ ) and

$$dF = E_A d^2 e''^{1/2} de''/2 \quad (2)$$

for penetration of a cylindrical indenter with a spherical tip in the Hertz problem ( $e''$  – ratio of the penetration depth to the radius of the testing sphere –  $d/2$ ).

Bioyield force is very frequent parameter of the pressure tests. It plays crucial role also in the traditional simple tests (e.g. Magness-Taylor test – see Mohsenin, 1970) in term of *firmness*. More exact tests performed in Universal Testing Machines made possible to determine also Apparent Modulus from Eqs. (1) and (2) applied to Hookean and Hertzian parts of deformation curve, respectively. The relation between the two values: the bioyield and the apparent modulus is not simple (Blahovec, 1989), because two non-elastic parts (Fig. 1) appear at the deformation curve prior bioyield point. Previously (Blahovec, 1989), different firmness – apparent modulus relations were observed for apples and potatoes. The ratio bioyield and modulus of elasticity in Texture Profile Analysis was found as an indication of potato cooking quality in another previous paper (Blahovec et al., 1999). The variety differences of this ratio were found nearly constant during cooking until the tubers were overcooked.

The ratio between bioyield stress (firmness) and apparent modulus of potato varieties with different starch content and different cooking quality is studied in this paper.

## MATERIALS AND METHODS

Potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties Agria, Javor, Nicola and Panda were grown at the Potato Research Institute in Havlíčkův Brod (Experimental Station Valečov). Nicola and Agria belong to varieties with a lower starch content (about 16–17%). Panda and Javor are varieties with a higher starch content (19–21%). The tubers were harvested in full maturity at the beginning of October 1997. They were healed three weeks after harvest at 20 °C and 95% relative humidity. Only perfect tubers 55–80 mm in diameter were used for experiments. These tubers were stored in boxes at 6 °C and 95% humidity until test. They were removed from the box 24 hours before test performed in middle of January 1997. Special laboratory cutter was used for cutting 2.5 cm thick plates from the middle parts of the tubers, which were perpendicular to the axis of the tuber.

The plates were put on the supporting table of Instron Universal Testing Machine (UTM – Model 4464). Load cell of the UTM is located on the movable cross bar of the machine and is connected directly with the cylindrical indenter with a flat tip and 6 mm in diameter. Every of the test consisted in 10 mm penetration at constant deformation rate 0.167 mm.s<sup>-1</sup>, followed by unloading into the initial position. The obtained data were recorded by a data acquisition system linked the Instron machine and used to determination of the basic parameters of the test: apparent elastic modulus ( $E_A$ ) was calculated from the Hookean part of deformation curve (Fig. 1b) using Eq. (1). The firmness expressed here as the mean pressure on the indenter tip at bioyield point (Fig. 1b) were given by the formula:

$$FIR = 4 F_{BYP} / (\pi d^2) \quad (3)$$

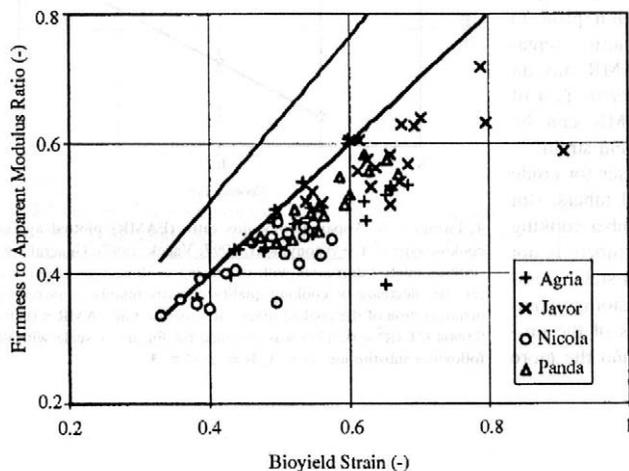
where  $F_{BYP}$  is force at bioyield point and  $d$  diameter of the indenter. The bioyield strain was calculated as a ratio of bioyield deformation (Fig. 1b) and diameter

of the indenter. The last value calculated from the single data was the firmness to apparent modulus ratio (FAMR), the parameter that is object of the main inte-

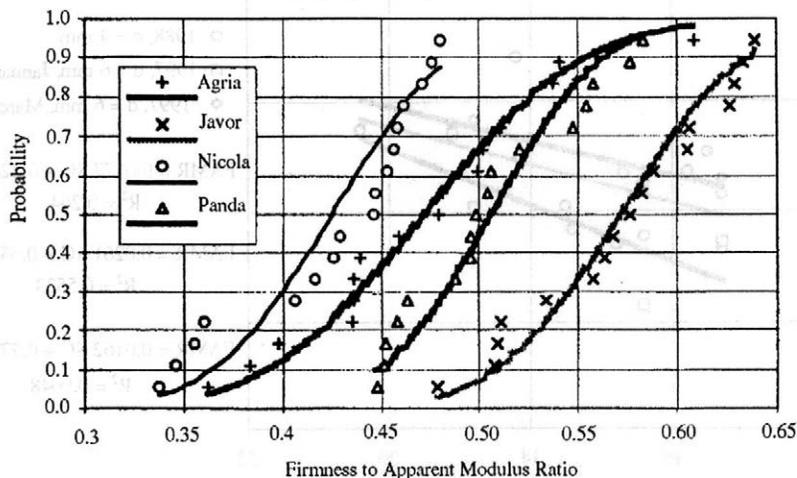
rest in this paper. The test was repeated 17 times for every variety.

I. The measured values (LSD – Fisher's least significant protected difference, FAMR – Firmness to Apparent modulus ratio)

Variety	Apparent modulus MPa		Firmness MPa	FAMR	Bioyield strain
	LSD	0.24	0.077	0.049	0.042
Agria		3.58	1.670	0.472	0.543
Javor		3.24	1.842	0.571	0.654
Nicola		3.87	1.626	0.425	0.486
Panda		3.74	1.866	0.506	0.560



2. Firmness to Apparent modulus ratio (FAMR) plotted against bioyield strain for single tests. The grey line indicates the results for ideal sharp deformation curve (see text), the black line indicates the states with firmness to apparent modulus ratio equaled to bioyield strain



3. Firmness to Apparent modulus ratio (FAMR) expressed in term of the cumulative probability. Every ordered experimental of a single curve represents increase of the cumulative probability about 100/18%. The curves were calculated by numerical integration of the Gauss integral using experimental statistical data (mean values and standard deviations)

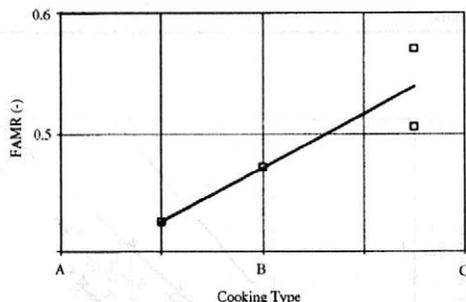
## RESULTS AND DISCUSSION

The basic statistics of the results are given in Tab. I. This table shows that at least three parameters: Firmness, Bioyield strain (BS) and Firmness to Apparent modulus ratio (FAMR) expressed significant differences between the above mentioned two groups of varieties: with lower starch content (Agria and mainly Nicola) and with higher starch content (Panda and Javor). Fig. 2 shows that FAMR for the deformation curves with low BS are approximately equalled to BS and decrease with increasing BS. For the ideal sharp deformation curves, at which the whole part prior to the bioyield point is linear, the FAMR should be given by  $4 BS/\pi$ . Our observations indicate that even for the deformation curves with most linear initial parts the non-linear i.e. non-elastic character of this part is responsible for about 20% of deformation prior to bioyield point. For some higher BS the quantity increased up to 50%. It means that the FAMR has an important meaning as a measure of the *elastic* part of BS. When multiplied by  $\pi/4$  the FAMR can be understood as the elastic part of the bioyield strain.

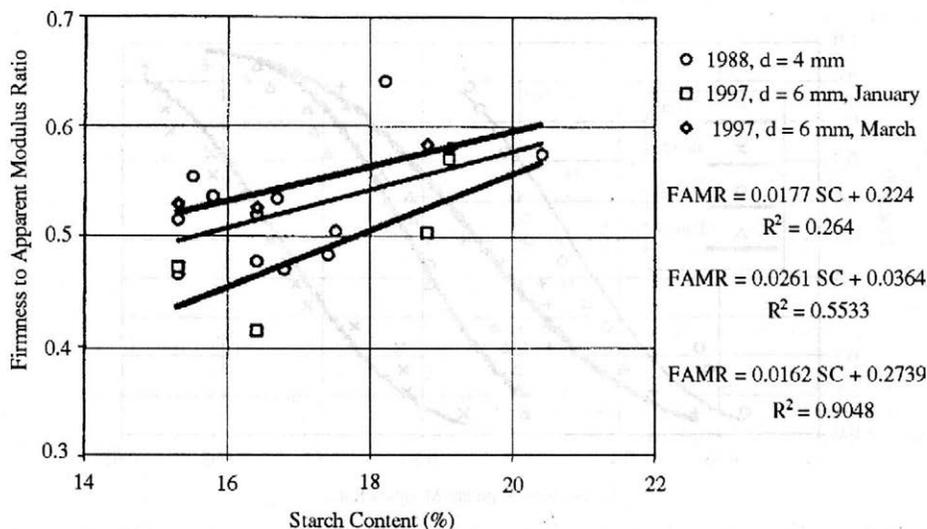
Firmness can be also used as a parameter for crude evaluation of starch content of the tested tubers. But firmness is changed dramatically during tuber cooking and its relation to the cooking quality of tubers is not clear. Also BS cannot be understood as a stable parameter, because it is very sensitive to the storage parameters and especially to turgor properties of the product. The older tubers are more flaccid and the more flaccid tuber flesh the higher BS are.

The FAMR is the most stable parameter that contains information about cooked tuber texture. Fig. 3 shows that FAMR probability curves are well approximated by the curves of Gaussian character, which were calculated from mean values and standard deviations ( $n = 17$ ). Standard deviations are approximately the same for the tested varieties with only one exception: the variety Agria for which the SD is about  $5/3$  of the others.

Fig. 4 illustrates the relation between FAMR and cooking type of tubers. The higher degree of cooking



4. Firmness to Apparent modulus ratio (FAMR) plotted against cooking type (CT – Anonymous, 1997; Vacek, 1997). Generally the cooking quality decreases with increasing cooking type (from A to D). The decrease of cooking quality consists mainly in increasing disintegration of the cooked tubers. Regression line  $FAMR = 0.29 + 0.0904 CT$  ( $R^2 = 0.8130$ ) was obtained for linear CT scale with the following substitution: A = 1, B = 2, C = 3



5. Firmness to Apparent modulus ratio (FAMR) plotted against starch content (SC) for data of this paper (January 1997) and the other data obtained in our laboratory

types (A, B, C) the higher is FAMR. Fig. 5 represents relation between FAMR and the tuber starch content observed in this and previous papers. The FAMR value increase with increasing starch content. The potatoes of class A and B should have the FAMR values below 0.5.

## CONCLUSIONS

Firmness to Apparent modulus ratio (FAMR) is the stable texture parameter that correlates to cooking type and starch content of tubers. The FAMR is determined at the tubers in raw state and the obtained values make possible to estimate the product quality in the cooked state without any cooking test. The higher FAMR the higher is cooking type (A, B, C) of the tubers.

## REFERENCES

- Anonymous (1977): Methods of assessment for potatoes and potato products. EAPR, Pudoc, Wageningen, 48 p.
- Blahovec J. (1989): Penetrační testování mechanických vlastností dužnin (Penetration testing of mechanical properties of flesh-like products). *Průmysl potravin*, 40 (7), 366–369.
- Blahovec J., Esmir A. A. S., Vacek J. (1999): Texture profile analysis applied to cooked potato. *Czech. J. Food. Sci.*, 17 (4), 136–142.
- Mohsenin N. N. (1970): Physical properties of plant and animal materials. Vol. I Structure, physical characteristics and mechanical properties. Gordon and Breach Sci. Publ. New York.
- Vacek J. (1997): Study in potato sloughing. In: Kutzbach H. D., Blahovec J. (eds.): *Products Quality Assessment of Plant Products*, Czech University of Agriculture in Prague, 29–32. ISBN 80-213-0339-5.

Received on February 3, 2000

## Kontaktní adresa:

Prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: +420 2 24 38 42 81, fax: +420 2 20 92 13 61, e-mail: blahovec@tf.czu.cz

# TEORIE A MĚŘENÍ VZNIKU POŠKOZENÍ BRAMBOR VYNÁŠECÍM DOPRAVNÍKEM NATĚ

## THEORY AND MEASUREMENT OF THE ORIGIN OF POTATO TUBER DAMAGE DUE TO THE HAULM CONVEYOR

B. Hanousek

Czech University of Agriculture, Praha, Czech Republic

**ABSTRACT:** Problems of the origin of potato tuber damage due to the haulm conveyor action were approached with respect to the speed of its working strand. Laboratory measurements of tuber damage at various speeds in the range of  $v_2 = 0.5 \text{ m.s}^{-1}$  to  $4 \text{ m.s}^{-1}$  were performed. The results of regression and correlation analysis of the relation of tuber damage and conveyor speed  $P_c = f(v_2)$  were interpreted by means of the function  $P_c = a - b.v_2 + c.v_2^2$  (%) derived under certain simplifying assumptions. The coincidence of measurement results and of the course of the function is conclusive. The least values of tuber damage with respect to gross damage were found at the haulm conveyor speed of  $v_2 = 0.9 \text{ m.s}^{-1}$  to  $1.06 \text{ m.s}^{-1}$ .

tuber damage; total damage; maximum damage; bar haulm conveyor; haulm conveyor speed

**ABSTRAKT:** Problematika vzniku poškození bramborových hlíz při separaci natě ve sklizeči brambor prutovým vynášecím dopravníkem je řešena z hlediska rychlosti pohybu jeho pracovní větve. Byla provedena laboratorní měření poškození hlíz při různých rychlostech  $v_2$  v rozmezí  $v_2 = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$  až  $4 \text{ m.s}^{-1}$ . Pro interpretaci výsledků regresní a korelační analýzy mezi poškozením hlíz a rychlostí dopravníku  $P_c = f(v_2)$  byla použita funkce, odvozená za určitých zjednodušujících předpokladů ve tvaru  $P_c = a - b.v_2 + c.v_2^2$  (%). Shoda výsledků měření s průběhem uvedené funkce je průkazná. Nejmenší hodnoty poškození hlíz, s ohledem na hrubá poškození, byly zjištěny při rychlosti vynášecího dopravníku natě  $v_2 = 0,9 \text{ m.s}^{-1}$  až  $1,06 \text{ m.s}^{-1}$ .

poškození hlíz; celkové poškození; maximální poškození; vynášecí prutový dopravník natě; rychlost vynášecího dopravníku

### ÚVOD

Separace hrubých rostlinných příměsí, především natě, probíhá ve sklizečích brambor zpravidla na řídkých prutových dopravnících, na jejichž pohyblivě se horní větve padá separovaná směs z konce prosévacího ústrojí. Při tom se také podílí na poškození hlíz sklizečných sklizečem. Na některých sklizečích jsou použity vynášecí dopravníky natě s pruty opatřenými háčky a lze se domnívat, že v důsledku větší možnosti styku s nimi budou tyto dopravníky poškozovat větší množství hlíz než vynášecí dopravníky s pruty bez háčků (nebo i jiné běžné typy).

### METODA

Odvození závislosti poškození hlíz na rychlosti vynášecího dopravníku natě a zpracování naměřených hodnot:

Za předpokladu rovnoměrného rozložení hlíz ve vrstvě padající na vynášecí dopravník, kdy mají všechny hlízy stejnou pravděpodobnost být zasaženy jeho pohyblivými se pruty, lze při určitém zjednodušení odvodit rovnici vyjadřující procentuální poškození hlíz v závis-

losti na rychlosti dopravníku  $v_2$  (obr. 2). Předpokládejme, že hlízy mají kulový tvar, stejnou velikost a padají po určitou časovou jednotku  $t = 1$  na vynášecí dopravník ve svislé vrstvě konstantní rychlosti  $v_h$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ). Při průchodu prutu vrstvou hlíz vznikne ve vrstvě objem  $V_1$ , ve kterém se nacházející hlízy budou prutem pravděpodobně zasaženy. Předpokládejme, že prut se pohybuje vrstvou stojících hlíz ( $-v_h = 0$ ) rychlostí  $v$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ), která je geometrickým součtem rychlostí  $v_2$  a  $v_h$

$$v = \sqrt{v_2^2 + v_h^2} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad (1)$$

Za časovou jednotku  $t = 1$  urazí prut rychlostí  $v$  dráhu  $L_1 = v.t = v$  a vznikne objem

$$V = (d + 2D) \cdot l \cdot L_1 = (d + 2D) \cdot l \cdot v \quad (\text{m}^3) \quad (2)$$

Hlízy mohou být zasaženy prutem v objemu

$$V_1 = (d + 2D) \cdot l \cdot s_1 = (d + 2D) \cdot l \cdot \frac{s}{\cos \alpha} \quad (\text{m}^3) \quad (3)$$

Za časovou jednotku  $t$  proběhne vrstvou hlíz určitý počet prutů

$$n = \frac{L_1}{m_1} = \frac{v}{m_1} = \frac{v \cdot \cos \alpha}{m}$$

Jestliže každý prut zasáhne hlízy v objemu  $V_1$ , budou za časovou jednotku  $t$  zasaženy hlízy v objemu

$$V_2 = \sum_1^n V_1 = n \cdot V_1 \quad (\text{m}^3)$$

a po dosažení z rovnic (3) a (4)

$$V_2 = \frac{v \cdot \cos \alpha}{m} (d + 2D) \cdot l \cdot \frac{\xi}{\cos \alpha} = v \cdot \frac{\xi}{m} \quad (\text{m}^3) \quad (5)$$

Za stejnou časovou jednotku budou hlízy padající ve vrstvě o průřezu  $\xi \cdot l$  ( $\text{m}^2$ ) rychlostí  $v_h$  ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) zaujímat objem

$$V_h = \xi \cdot l \cdot v_h \quad (\text{m}^3) \quad (6)$$

Poměr objemů nebo počtů hlíz v těchto objemech

$$p_1 = \frac{V_2}{V_h} = \frac{V_2 \cdot N}{V_h \cdot N}$$

kde:  $N$  je počet hlíz v jednotkovém objemu, vyjadřuje pravděpodobnost zasažení hlíz pruty vynášecího dopravníku, a

$$\frac{V_2}{V_h} \cdot 100$$

je procento zasažených hlíz, které ovšem nemusí být všechny poškozeny.

Pravděpodobnost poškození zasažených hlíz lze vyjádřit poměrem objemu, který by zaujímaly poškozené hlízy ( $V_3$ ) k objemu zasažených hlíz ( $V_2$ )

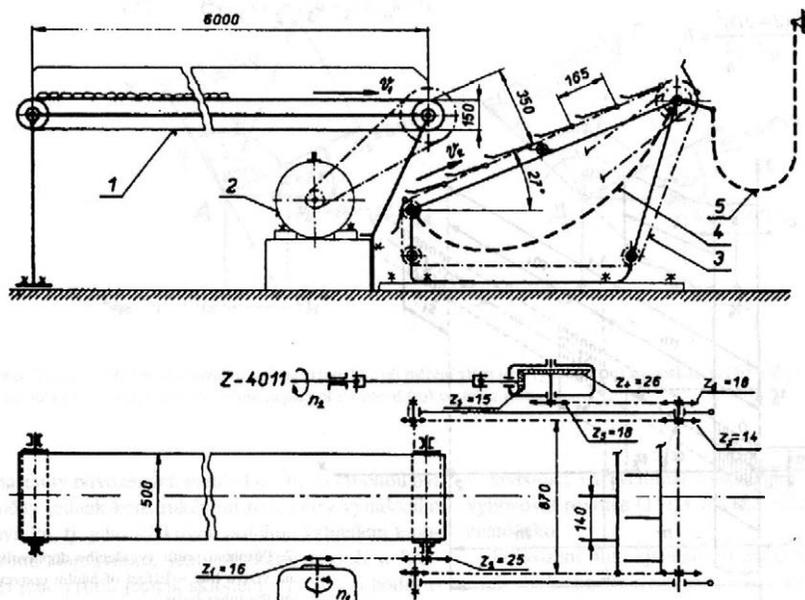
$$P_2 = \frac{V_3}{V_2} \quad (8)$$

Za předpokladu, že pravděpodobnost výskytu poškozených hlíz ( $p_2$ ) a pravděpodobnost zasažení hlíz pruty dopravníku ( $p_1$ ) není pravděpodobností podmíněnou

$$P(AB) = P(A) \cdot P(B)$$

buďe z předešlých rovnic (7) a (8) pravděpodobnost poškození hlíz

$$P = \frac{V_3}{V_h} = p_1 \cdot p_2 \quad (9)$$



1. Schéma zařízení k měření vlivu rychlosti vynášecího dopravníku natě na poškození hlíz – Schematic layout of equipment for measuring the impact of haulm conveyor speed on tuber damage

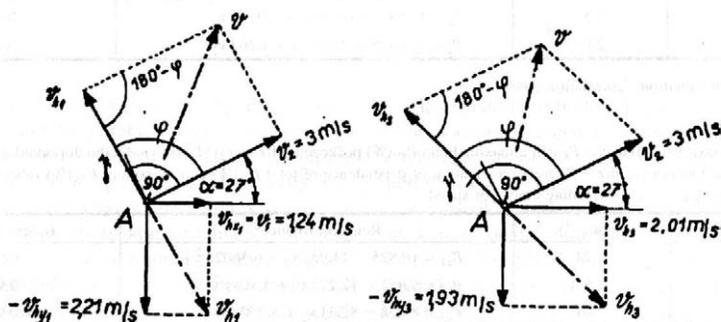
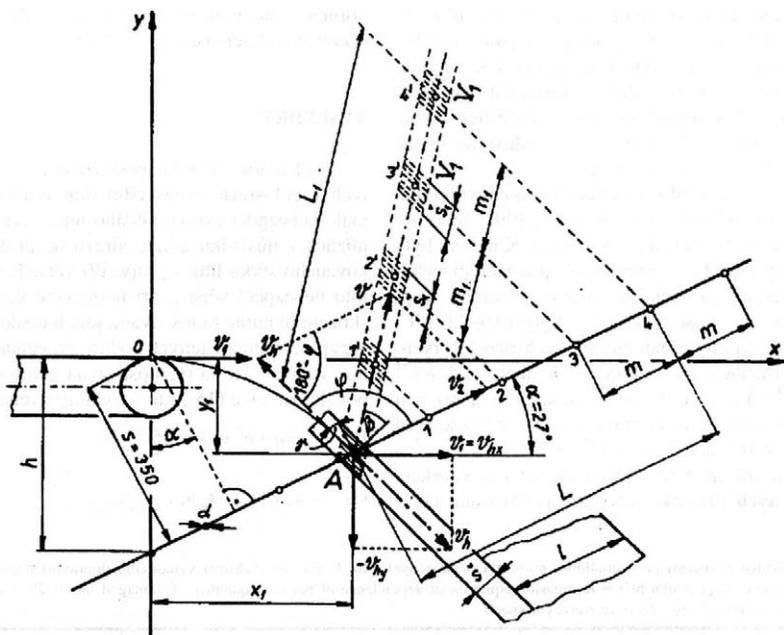
1 – podávací dopravník – feeding conveyor

2 – elektromotor s měnitelnými otáčkami – electric motor with variable revolutions

3 – vynášecí dopravník natě – haulm conveyor

4 a 5 – zachycovací plachty – retaining canvasses;  $v_1$  – rychlost podávacího dopravníku – feeding conveyor speed;  $v_2$  – rychlost vynášecího dopravníku natě – haulm conveyor speed





3. Působení prutu vynášecího dopravníku natě na vrstvu hlíz při měření vlivu jeho rychlosti ( $v_2$ ) na poškození hlíz – Effect of haulm conveyor bar on the tuber layer when measuring the impact of its speed ( $v_2$ ) on tuber damage

Konstanty odvozených parabol  $a_1$ ,  $b_1$  a  $c_1$  mohou být ovlivněny jednak konstrukčními parametry vynášecího dopravníku, tj. jeho výškovou polohou vzhledem k podávacímu dopravníku, jeho sklonem, roztečí a konstrukcí jeho prutů, jednak sklonem a rychlostí podávacího dopravníku, na nichž závisí směr a velikost rychlosti vrstvy hlíz v oblasti působení prutů vynášecího dopravníku. Odvodí se obdobně jako v uvedeném případě pro  $\varphi = 90^\circ$ .

Z obr. 3 je vidět, že při všech sériích zkoušek padaly hlízy na vynášecí dopravník natě rychlostí, jejíž vektor ( $v_h$ ) svírá s vektorem rychlosti prutů ( $v_2$ ) úhel  $\varphi > 90^\circ$ . Měla by tedy naměřeným hodnotám poškození hlíz

v závislosti na rychlosti vynášecího dopravníku natě vyhovovat rovnice (15), v níž má lineární člen záporné znaménko.

Poškození hlíz, zjištěné při zkouškách ve všech sériích, bylo hodnoceno procentem celkového  $P_c$  (%) a maximálního  $P_m$  (%) poškození, získaného přepočtem jednotlivých druhů zjištěných poškození  $P$  ( $c$ ,  $m$ ),  $S$  ( $c$ ,  $m$ ) a  $H$  ( $c$ ,  $m$ ) (Břečka, 1967). Kromě toho bylo počítáno procento poškozených hlíz ve vzorku bez ohledu na stupeň poškození, jež je součtem jednotlivých druhů maximálních poškození

$$P_i = P + S + H \quad (\%)$$

Účelem měření bylo zjistit, zda poškození hlíz vynášecím dopravníkem natě, jehož pruty jsou opatřeny háčky, odpovídá nebo je větší než poškození, které je v literatuře uvedeno pro vynášecí dopravník s hladkými pruty (Dorošev, Plešakov, 1963). Dále bylo nutné zjistit, jak se mění poškození hlíz v závislosti na změně rychlosti vynášecího dopravníku.

K měření vlivu rychlosti vynášecího dopravníku natě na poškození hlíz (Hanousek, 1968, 1992) bylo použito zařízení, jehož schéma je na obr. 1. K měření byly použity hlízy odrůdy Sperber, které pro měření vyhovovaly poměrně vyrovnaným kulovitým tvarem. Teploty při jednotlivých sériích měření byly 10,9–11,5 °C.

Poškození hlíz bylo měřeno při třech různých rychlostech podávácího dopravníku  $v_1 = 1,25 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  a  $2,0 \text{ m.s}^{-1}$  – I., II. a III. série zkoušek – a při pěti rychlostech vynášecího dopravníku natě v každé sérii zkoušek  $v_2 = 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $2 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $3 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $4 \text{ m.s}^{-1}$  – zkouška 1/I, atd. až 5/III. Každá zkouška se vzorkem 200 obarvených hlíz byla čtyřikrát opakována, takže

průměrná hodnota poškození při každé zkoušce byla stanovena zhodnocením 800 hlíz.

## VÝSLEDKY

Problematika vzniku poškození je složitá. Při malých rychlostech vynášecího dopravníku je poměrně malé nebezpečí vzniku většího množství poškození na hlízách v důsledku jejich odrazů od prutů, a tím opakovaného styku hlíz s pruty. Při větších rychlostech je toto nebezpečí větší a při hodnocení naměřených poškození je nutné brát v úvahu jejich opakovaný výskyt. Ke zpracování zjištěných hodnot procenta poškozených hlíz v závislosti na rychlosti vynášecího dopravníku je použita rovnice (15), která byla upravena do tvaru

$$P_{(i, c, m)} = a + b \cdot v_2 + c \cdot v_2^2$$

$$\text{kde: } a = k_o \cdot a_3; b = -k_o \cdot b_3; c = k_o \cdot c_3$$

I. Regresní rovnice závislosti procentuálního množství poškozených hlíz  $P_i$  (%) na rychlosti vynášecího dopravníku natě  $v_2$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ).  $v_1$  – rychlost podávácího dopravníku hlíz – Regression equation of dependence of per cent quantity of damaged tubers  $P_i$  (%) upon the haulm conveyor speed  $v_2$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ).  $v_1$  – feeding conveyor speed

Série zkoušek <sup>1</sup>	$v_1$ ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Regresní rovnice <sup>2</sup>	Index korelace <sup>3</sup>
I	1,24	$P_i = 16,1947 - 14,468 \cdot v_2 + 5,689 \cdot v_2^2$	0,999
II	1,5	$P_i = 10,987 - 4,618 \cdot v_2 + 2,979 \cdot v_2^2$	0,996
III	2,01	$P_i = 20,6428 - 3,536 \cdot v_2 + 4,702 \cdot v_2^2$	0,998

<sup>1</sup>test series, <sup>2</sup>regression equation, <sup>3</sup>correlation index

II. Regresní rovnice závislosti celkového  $P_c$  (%) a maximálního  $P_m$  (%) poškození hlíz na rychlosti vynášecího dopravníku natě  $v_2$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ).  $v_1$  – rychlost podávácího dopravníku hlíz – Regression equation of dependence of total  $P_c$  (%) and maximum  $P_m$  (%) tuber damage upon the haulm conveyor speed  $v_2$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ).  $v_1$  – feeding conveyor speed

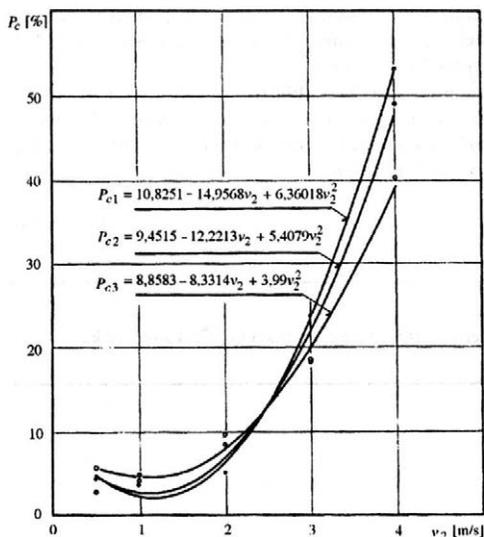
Série zkoušek <sup>1</sup>	$v_1$ ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Regresní rovnice <sup>2</sup>	Index korelace <sup>3</sup>
I	1,24	$P_{c1} = 10,825 - 14,957 \cdot v_2 + 6,3602 \cdot v_2^2$	0,999
II	1,5	$P_{c2} = 9,451 - 12,221 \cdot v_2 + 5,408 \cdot v_2^2$	0,995
III	2,01	$P_{c3} = 8,858 - 8,331 \cdot v_2 + 3,990 \cdot v_2^2$	0,999
I	1,24	$P_{m1} = 7,366 - 9,317 \cdot v_2 + 4,433 \cdot v_2^2$	0,998
II	1,5	$P_{m2} = 5,694 - 6,093 \cdot v_2 + 3,362 \cdot v_2^2$	0,997
III	2,01	$P_{m3} = 7,493 - 6,392 \cdot v_2 + 3,002 \cdot v_2^2$	0,998

For 1–3 see Tab. I

III. Minimální hodnoty poškození  $P_i$ ,  $P_c$ ,  $P_m$  (%) a odpovídající rychlosti vynášecího dopravníku natě  $v_2$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ).  $v_1$  – rychlost podávácího dopravníku hlíz – Minimum damage values  $P_i$ ,  $P_c$ ,  $P_m$  (%) and corresponding speed of haulm conveyor  $v_2$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ).  $v_1$  – feeding conveyor speed

Série zkoušek <sup>1</sup>	$v_1$ ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Poškození <sup>2</sup>	$P_i$	$P_c$	$P_m$
I	1,24	%	6,99	2,03	2,47
		$v_2$ optimal	1,27	1,17	1,05
II	1,5	%	9,19	2,54	2,93
		$v_2$ optimal	0,77	1,13	0,90
III	2,01	%	10,90	4,50	4,09
		$v_2$ optimal	1,43	1,04	1,06

<sup>1</sup>test series, <sup>2</sup>damage

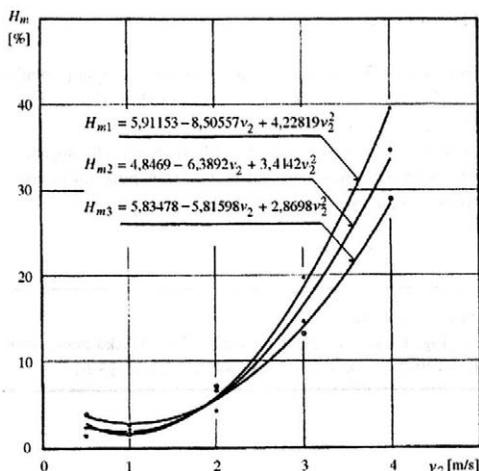


4. Celkové poškození hlíz ( $P_c$ ) vlnášečím dopravníkem natě – Total tuber damage ( $P_c$ ) due to the haulm conveyor

$P_{c1}$  – při rychlosti podávacího dopravníku  $v_1 = 1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – at feeding conveyor speed of  $v_1 = 1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 $P_{c2}$  – při  $v_1 = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – at  $v_1 = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 $P_{c3}$  – při  $v_1 = 2,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – at  $v_1 = 2,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Řešením normálních rovnic byly vypočítány: konstanty  $a$ ,  $b$ ,  $c$  a indexy korelace, které jsou ve všech sériích zkoušek velmi vysoké (0,996–0,999) a prokazují, že odvozená rovnice paraboly (15) vyhovuje velmi dobře naměřeným hodnotám procenta poškozených hlíz. Také záporné hodnoty konstant lineárních členů ( $-b \cdot v_2$ ) odpovídají odvozené rovnici. To obojí připouští, že předpoklad úměrnosti mezi pravděpodobností zasažení hlíz pruty dopravníku a pravděpodobností jejich poškození, uvažovaný při odvozování, není v rozporu s naměřenou závislostí (tab. I).

Z výsledků měření je zřejmé, že všechny druhy poškození dosahují nejmenších hodnot při určitých optimálních rychlostech vlnášečím dopravníkem natě. Z praktického hlediska má největší význam (tab. II) celkové (obr. 4) a maximální poškození, neboť kromě plné hodnoty hrubého poškození (obr. 5) zahrnuje prakticky významnou část hodnot povrchového a středního poškození hlíz. Z tohoto hlediska má mít vlnášeč dopravník natě takovou rychlost, při níž celkové a maximální poškození hlíz má právě minimální hodnotu. Pro případ uvedeného měření, tj. při rychlosti podávacího dopravníku  $v_1 = 1,24\text{--}2,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  je optimální rychlost vlnášečím dopravníkem natě  $v_2$  v rozmezí 0,9–1,17  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (tab. III).



5. Hrubé poškození hlíz ( $H_m$ ) vlnášečím dopravníkem natě – Gross tuber damage due to the haulm conveyor

$H_{m1}$  – při rychlosti podávacího dopravníku  $v_1 = 1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – at feeding conveyor speed of  $v_1 = 1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 $H_{m2}$  – při  $v_1 = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – at  $v_1 = 1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   
 $H_{m3}$  – při  $v_1 = 2,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  – at  $v_1 = 2,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

## DISKUSE

Zkouškami bylo prokázáno, že rovnice (15) odvozená pro závislost procenta poškozených hlíz na rychlosti vlnášečím dopravníkem natě vyhovuje velmi dobře naměřeným hodnotám.

Z výsledků zkoušek je zřejmé, že vlnášeč dopravník s pruty opatřenými háčky poškozuje více hlíz než dopravník bez háčků. Podle měření Doroševa a Plešakova (1963) při sklonu vlnášečím dopravníkem bez háčků  $30^\circ$ , při rychlosti podávacího dopravníku  $v_1 = 1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a rychlosti vlnášečím dopravníkem  $v_2 = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  bylo poškozených hlíz přibližně 1,5 %, při  $v_2 = 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  přibližně 2 %. Autoři neuvádějí pro jejich měření vzájemnou polohu obou dopravníků. Přesto uvedme, že při našem měření bylo při rychlosti podávacího dopravníku  $v_1 = 1,24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a rychlosti vlnášečím dopravníkem s háčky  $v_2 = 2,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  zjištěno 9,85 % poškozených hlíz a při  $v_2 = 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  již 49,65 % poškozených hlíz. Výsledky zkoušek dále ukazují, že v závislosti na rychlosti vlnášečím dopravníkem natě se nejvíce mění povrchové a hrubé poškození hlíz. Tato poškození, ale především hrubé poškození, ovlivňují také nejvíce celkové  $P_c$  a maximální  $P_m$  poškození hlíz, která mají největší praktický význam. Nejmenší hodnoty maximálního poškození  $P_{m \min} = 2,47\text{--}4,09 \%$  byly zjištěny při optimální rychlosti vlnášečím dopravníkem natě  $v_{2 \text{ optim}} = 0,9\text{--}1,06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## LITERATURA

Břečka J. (1967): Prosévání půdy na prosévacím dopravníku s ohledem na mechanické poškození brambor. [Dílčí zpráva FM-12.] VŠZ Praha, 98 s.

Dorošev V. N., Plešakov G. F. (1963): K razčetu prijemnoj časti botvoudalajuščego ustrojstva transporternogo tipa. Traktory i selchozmašiny, 3, 26–29.

Hanousek B. (1968): Vliv rostlinných příměsí v technologickém procesu sklizeče brambor. [Výzkumná zpráva FM-12.] VŠZ Praha, 151 s.

Hanousek B. (1992): Einfluss der Geschwindigkeit des Stabförderers der Kartoffelerntemaschine auf Knollenbeschädigungen. Příspěvek na konferenci TAE 1992, Proceedings I, 150–158.

Došlo 9. 2. 2000

---

### Kontaktní adresa:

Prof. Ing. Blahoslav Hanousek, 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

---

## Změna publikačního jazyka ve vědeckých časopisech ČAZV

Předsednictvo České akademie zemědělských věd přijalo na zasedání dne 6. 4. 2000 usnesení, kde mj. doporučuje změnu publikačního jazyka ve vědeckých časopisech vydávaných pod gescí ČAZV. Předsednictvo navrhuje Vydavatelské radě ČAZV zavést angličtinu jako jediný jazyk ve všech vědeckých časopisech od 1. 1. 2001.

Od 1. 7. 2000 redakce časopisu *Research in Agricultural Engineering* (Zemědělská technika) přijímá příspěvky psané pouze v angličtině.

## A change of publication language in Scientific Journals of the Czech Academy of Agricultural Sciences

At its session on the 6th April 2000, the Presidium of the Czech Academy of Agricultural Sciences adopted a resolution recommending, among other things, to change the publication language in scientific journals published under the Academy patronage. The Presidium proposed to the Publishing Board of the Academy to introduce English as the only language in all scientific journals from the 1st January 2001.

The papers written exclusively in English are accepted by the editor's office of the journal *Research in Agricultural Engineering* (Zemědělská technika) from the 1st July 2000.

# TRANSIENT HEAT TRANSFER SIMULATION OF LONG TERM HERMETIC STORAGE EVENT

## SIMULÁCIA NESTACIONÁRNEHO PRENOSU TEPLA PRI DLHODOBOM HERMETICKOM SKLADOVANÍ

D. Brozman, K. E. Ieleji

*Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*

**ABSTRACT:** In this paper, a computer simulation of heat transfer in hermetically stored corn and a verification experiment are presented. For this purpose a three-dimensional computer model of experimental silo was created in such a way that it can be easily modified and used for next computer experiments relating to transfer phenomenon simulation. Patterns of transient temperature variations in the silo due to ambient temperature fluctuations were predicted for a real long-term (7 months) storage event. The simulation was accomplished for a thermal field continuum performing grain mass filling the silo. The simulated transient temperature variations were compared with measured values at five different locations in the hermetic stored corn mass. The simulated transient temperatures were in close agreement to the measured values and were quite representative of the measured values, considering the relative low values of standard error of estimate ranging from 0.6 to 1.1 °C. The error was larger during last months probably due to internal heat generation which was not considered in this modelling stage. The incorporation of this effect will be done in next research.

hermetic storage; heat transfer; computer modelling

**ABSTRAKT:** V článku je popísaná počítačová simulácia prenosu tepla v hermeticky skladovanej kukurici a jej experimentálna verifikácia. Pre tento účel bol vytvorený trojrozmerný počítačový model experimentálneho sila, ktorý umožňuje modifikácie pre ďalšie pripravované počítačové experimenty v oblasti transportných javov. Rozloženie teplôt v sile vplyvom okolitej teploty bolo predpovedané pre reálne uskutočňované sedemmesačné skladovacie obdobie. Verifikačné údaje boli snímané v piatich miestach v skladovanej mase. Výsledky simulácie boli v dobrej zhode s meranými hodnotami, ktorých štandardná odchýlka bola od 0,6 do 1,1 °C. Väčšie odchýlky v priebehu simulovaných teplôt v posledných mesiacoch experimentu boli pravdepodobne spôsobené vnútornou generáciou tepla, ktorá v uvedenom modeli nebola uvažovaná. Pre uváženie tohoto efektu budú uskutočnené pomocné experimenty a následne doplnený počítačový model.

hermetické skladovanie; prenos tepla; komputerové modelovanie

### INTRODUCTION

Temperature is one of the two most crucial factors limiting the distribution and abundance of arthropods and fungi that contaminate stored grain. Grain-infesting insects are very sensitive to temperature. In stored-grain ecosystems, temperature distribution is both spatial and transient due to changes in the external environment – diurnal and seasonal temperature fluctuations. The consequence of this spatial and transient temperature variation is heat transfer within the stored grain mass, resulting in moisture migration/transfer, moisture condensation, hot spot development and grain spoilage. Therefore, an understanding of heat transfer in hermetic stored grain and an efficient method to simulate spatial and transient distribution of temperature within the hermetic stored grain mass will aid in predicting the potential for the development of spoilage in stored grain, and hence the use of timely selective management strategies of

stored grain. This is in accordance with the basic principle of integrated pest management.

Many investigators have studied spatial and transient grain temperature changes in various types of storage bins and storing grain ecosystems with aeration (Chang et al., 1993), but limited studies on heat transfer in hermetically stored grain are found in literature. A number of mathematical models of heat transfer for predicting temperature in bulk grain have been developed and solved in one (Converse et al., 1973), two (Chang et al., 1993; Brozman, Ieleji, 1998; Ieleji et al., 1998) and three (Gough, 1985) dimensional fields, just to mention a few. However, most of these models involve rigorous mathematical formulations which were oriented toward the particular grain stores and storage environment.

The finite element method (FEM) is the most widely used method for modelling physical or engineering systems and processes, but it is rarely used in agricultural

engineering. The fundamental concept of the finite element method is that any continuous quantity, such as temperature, pressure, stress or displacement, can be approximated by a discrete model composed of a set of piecewise continuous functions defined over a finite number of subdomains called elements. The elements are connected with each other in common points, called nodes or nodal points (Spirakos, 1993). Its versatility is due to its applicability to a number of problems and a wide variety of ready available commercial software which makes the modelling process a step easier for the engineer or researcher. Some of these commercial modelling softwares e.g. LUSAS (FEA Ltd. 1998) that were used in this research, algorithmize the solving of differential equations by the finite element method for general purposes which incorporate facilities for structural and field modelling with linear or nonlinear materials.

## MATERIAL AND METHODS

The storage silo used was an experimental bin that was designed as a versatile storage apparatus for carrying out experiments in heat and mass transfer studies. The experimental bin structure of approximately 0.3 m<sup>3</sup> in volume had cylindrical shape with dimensions of  $\varnothing$  790 mm x 630 mm in height. The bin was made of galvanized steel sheets of 1.25 mm thickness with bottom steel plates strengthened with compressed wooden boards (10 mm thickness). There were three holes fitted with special airtight ports on the bin wall. The holes serve as sampling ports (moisture content determination in specified locations during the course of the storage period – not presented in this paper) and as a port for connection with a data logging instrument. Five temperature sensors PT 1000 (platinum resistance) were in the bin to monitor the temperature changes in specific location during storage period. The sensors were connected to a digital recording unit with one hour recording interval having an accuracy of  $\pm 0.1$  °C. The unit was followed by a personal computer via a serial port for data collection. The data were retrieved monthly. The whole structure was painted white because it reflects radiation and reduces interior bin temperatures.

The maize grain used for the storage experiment was yellow maize, variety Florencia. The average moisture content recorded on loading into the bin was 17% (moisture meter Pfeuffer HOH-Express HE 50). Based on laboratory analysis done, the average bulk density was 715.3 kg.m<sup>-3</sup>, average percentage of foreign matter per kg was 0.18%. Maize grain mass of 270 kg was loaded in the bin. After loading the bin was hermetically sealed. The whole bin volume was filled, that means no air layer was left above grain surface.

For a computer experiment a flexible three-dimensional virtual geometric structure was created with dimensions according to the real experimental silo (Fig. 1). The flexible structure (e.i. consists of components) was

created in such a way that it can be easily modified and used for next computer experiments relating to transfer phenomenon simulations. An important step for the comparison of the modelled and simulated results is the same location of sensors in the real bin and low order entities (points or line intersections) of the virtual model structure.

The general equation governing the unsteady heat conduction in corn mass filling the silo can be written as

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(k\nabla T) + S \quad (1)$$

where:  $T$  – temperature  
 $t$  – time  
 $\rho$  – bulk density  
 $c$  – specific heat  
 $k$  – thermal conductivity  
 $S$  – heat generation per unit volume

To model the problem based on this equation, the following assumptions were made to simplify equation (1):

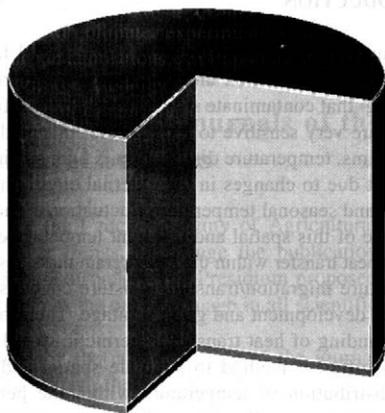
1. the cylindrical silo is assumed as isotropic homogeneous field,
2. physical properties are constant (independent of temperature),
3. internal heat generation and mass transfer within hermetic silo are negligible.

Employing the stated assumptions, equation (1) can be written in the following form:

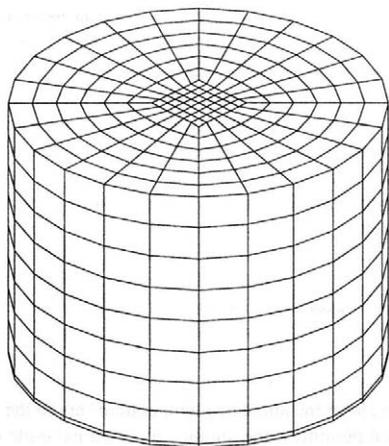
$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( k \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2)$$

where:  $r, z, \varphi$  – cylindrical coordinates

For a numerical solution the LUSAS software package was used. The Galerkin's procedure of two-point recurrence scheme was chosen because it has low susceptibility to oscillation and is sufficient for slow environmental temperature fluctuation throughout an experimental period (Brozman, Iteleji, 1998). However, an approximate time step which is essential for the



1. A flexible computer model of the silo geometry shows the internal bin structure (metal body, loaded grain and wooden floor)



2. Finite element model of the silo divided into 1620 three-dimensional elements

solution stability has to be obtained from the diffusivity of the modelled system as

$$\Delta t = \frac{l^2}{4a} \quad (3)$$

where:  $l$  – smallest length of an element side in the mesh structure of the created finite element model  
 $a$  – diffusivity coefficient

To facilitate the solution the virtual geometric structure was meshed into 1620 hexahedral elements (Fig. 2). Central part of the meshed bin is divided into elements of a different shape because it complies with the conditions of finite element solution accuracy (Spirakos, 1997). It caused neither material nor geometric discontinuity in the computer model. The data inputs were material properties of corn and the wooden floor (thermal conductivity, specific heat and mass density at given reference temperature), initial condition (initial grain temperature), boundary temperature loadings (ambient temperatures, and convective heat transfer coefficient) and solution controls (transient time steps of input loads through the storage period). Initial temperature of the grain at the beginning of the simulation was set at 7 °C. This value was the ambient temperature at the time of loading grain into bin and seems to give the best estimate of the grain temperature. The temperature sensors in stored grain were initialized two days after the bin was loaded and sealed air-tight. The storage event was simulated through the whole experimental storage period, it was from November 17, 1997 to June 24, 1998 (over seven months). A total of 1752 input temperature loadings was used in the simulation (three hours duration each). However, temperature recording in the physical experiment were done hourly. The use of three hour interval data saved computer processing time and did not affect the accuracy of the simulation. The input data of ambient temperatures were obtained from the ther-

1. Thermal and physical properties of the corn, bin wall and floor materials. \* – ASAE Standards (ASAE Standards, 1994)

Properties		Corn*	Steel	Wood
Density	(kg.m <sup>-3</sup> )	715	7 304	550
Specific heat	(kJ.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	2.1	0.23	2.8
Thermal conductivity	(W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	0.165	64	0.2

mograph recordings at the university's meteorological station about 2.5 km from where the storage bin was sited. The material parameters of the computer model are given in Tab. 1.

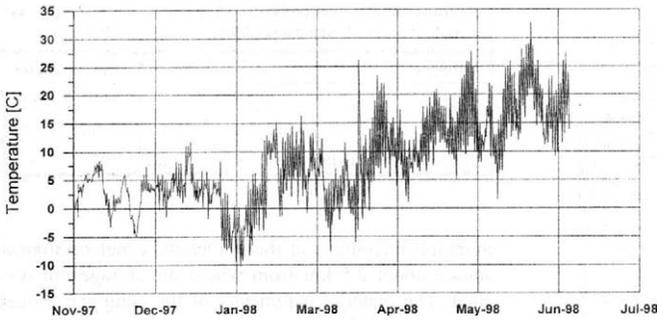
## RESULTS AND DISCUSSION

In order to explain and understand the processes of heat and mass transfer in the hermetic stored maize grain, the condition of the stored grain at the end of the seven months period was observed. The final condition of the stored maize grain in the experimental silo was good. No moulding was observed. Spatial and transient temperature distributions in the monitored locations showed a rotation symmetry of temperature pattern. There was virtually very little difference in temperature at the north and south locations (about 0.15 °C). For this reason the equal boundary conditions – ambient temperature course (Fig. 3) on whole bin shell were assigned in the computer model. An example of computed temperature distribution in the silo is shown in Fig. 4 where the isotherms performed thermal state in the silo on December 14, 1997 after relatively smooth ambient temperature fluctuations during several days (between y-axis and the first grid line in Fig. 3).

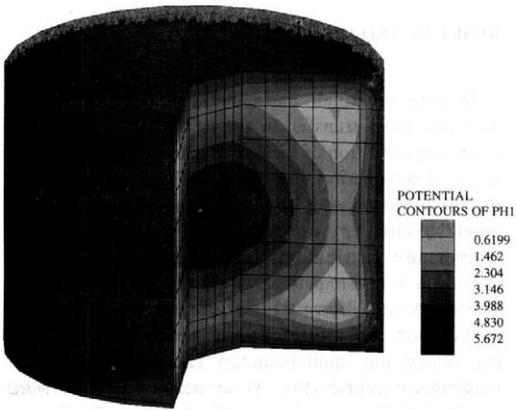
The effect of diurnal temperature fluctuations during the course of a day, i.e. daytime and nighttime temperatures was not observed in the stored grain mass. However, the trend in ambient temperature rises or falls through the period of several days, about five days, resulted in corresponding rise or fall of the stored grain temperature. Temperatures close to the bin wall was cooler than at the centre during the whole winter and the opposite occurred during spring, as expected in stored grain ecosystems.

Several simulation runs were done for different values of thermal properties of maize according to different references (ASAE Standard, 1994; Chang, 1986; Brozman, Ileleji, 1998).

To test for the accuracy of the computer simulated experiment, the transient temperature of nodes in the model, corresponding to points of location of the temperature sensor measurements in the stored corn mass was compared. Simulation with the thermal properties quoted in Tab. 1 gave the least value of standard error of estimate. The error was calculated using the root mean square error (Reicosky et al., 1989) to reflect the overall accuracy of the shape of the predicted curve,



3. Course of the ambient temperature for storage period at the university's meteorological station

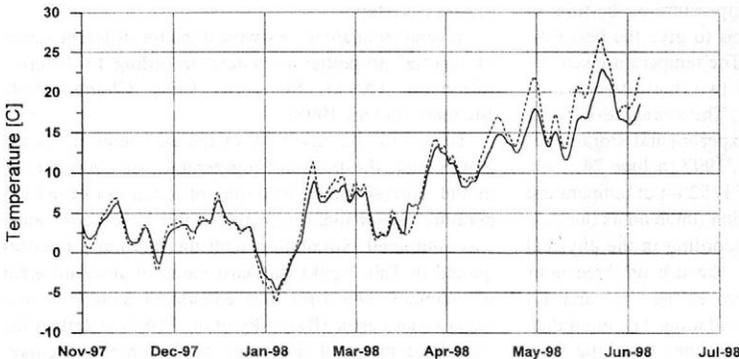


4. Temperature contours (°C) show thermal state in the silo after a weather changes (first two main peaks in Fig. 3) on December 14, 1997

with regards to estimated hourly air temperatures, defined by

$$\theta = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (T_{S_i} - T_M)}{n} \right]^{1/2} \quad (4)$$

where:  $n$  – number of observations  
 $T_S$  – simulated temperature at any time  
 $T_M$  – measured temperature at any time



5. Simulated (full line) and measured (dashed line) transient temperatures at the silo center during seven months storage period

The closer the simulated temperatures are to the measured temperatures, the smaller  $\theta$  is. An example of the measured and simulated transient temperature variations due to ambient temperature fluctuation, at the silo center in the hermetic stored corn mass is shown in Fig. 5. The simulated transient temperatures were in close agreement to the measured values and are quite representative of the measured values, considering the relative low values of the standard error of estimates. The largest errors occurred at the peaks and troughs of the transient temperature curves. It should also be mentioned that some error may have arisen due to the use of incorrect ambient temperature values which are not a true representative of the environment in which the experimental silo was located. This is because the bin was located on a roof top at about 8 m height and the ambient values were collected from the meteorological station at a level of 2 m height and 2.5 km from the silo location. But this being the most likely possibility to be encountered in a real situation where the meteorological station may be sited miles away from the storage building. In a more controlled experiment (temperature sensor on the silo wall) the simulated temperature values were much closer to those of the experiment (Brozman, Ileleji, 1998). Obvious error growth of the modelled values can be observed during last months of the storage period probably due to internal heat generation which was not considered in this modelling stage.

## CONCLUSION

Results of transient and spatial temperatures in the hermetic stored corn of the computer simulated experiment were in close agreement with those of the physical experiment for the storage period of over seven months.

In comparison with other approaches for modelling heat transfer in stored grain, the use of a commercial software such as LUSAS Finite Element System eliminates the rigors of formulating and solving the underlying mathematical models. This approach is much more flexible and less arduous and gives space to the researcher to test alternative simulation trials within a limited time. The graphical software accompanying these packages makes modelling and results analysis easier and clearer. The simulation can be used as a more cost effective, less laborious and a more exploitative method of monitoring heat transfer for stored grain management in large commercial stores.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the use of the digital data logger provided by Prof. Petrasky and the organization provided by Prof. Jech are appreciated. The work was solved as a part of the scientific research project No. 1/4406/97. Financial support for the project was provided by the VEGA (Slovak Scientific Grant Agency).

## REFERENCES

- Brozman D., Ileleji E. K. (1998): A finite element model of transient heat transfer in maize. *Agric. Engng.*, **44** (4), 135–139.
- Chang C. S. (1986): Thermal conductivity of wheat, corn and grain sorghum as affected by bulk density and moisture content. *Trans. ASAE*, **29** (5), 1447–1450.
- Chang C. S., Converse H. H., Steele J. L. (1993): Modelling of temperature of grain during storage with aeration. *Trans. ASAE*, **36** (2), 509–519.
- Converse H. H., Graves A. H., Chung D. S. (1973): Transient heat transfer within wheat stored in a cylindrical bin. *Trans. ASAE*, **16**, 129–133.
- Gough M. C. (1985): Physical changes in large scale hermetic grain storage. *J. agric. Engng Res.*, **31**, 55–65.
- Ileleji E. K., Jech J., Brozman D. (1998): A computer simulation of heat transfer in hermetic stored corn. In: *ASAE International Meeting*, July 12–15, Orlando, USA.
- Reicosky D. C., Winkelman J. L., Baker J. M. (1989): Accuracy of Hourly Air Temperatures Calculated From Daily Minima and Maxima. *Agric. For. Meteorol.*, **46**, 193–209.
- Spirakos A. (1993): *Finite Element Modelling in Engineering Practise*. New York, J. Wiley & Sons.
- Spirakos A. (1997): *Finite Element Analysis in Engineering Practise*. New York, J. Wiley & Sons.
- ASAE Standards 1994: *ASAE Data: ASAE D243.3*, Amer. Soc. agric. Engins.
- FEA, Ltd. (1997): *LUSAS Finite Element System*. FEA Ltd., Kingston Upon Thames, UK.

Received on April 4, 1999

---

### Contact Address:

Doc. RNDr. Dušan Brozman, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel.: +421 87 65 08 878, fax: +421 87 74 17 003, e-mail: brozman@afnet.uniag.sk

---

# KINEMATICKÝ A SILOVÝ VÝPOČET PROJEKTU KONDICIONÉRA TRÁVNÝCH PORASTOV

## KINEMATIC AND FORCE ANALYSIS OF A GRASS SWATH CONDITIONER PROJECT

J. Šesták, J. Gaduš, J. Rédl, R. Beller

*Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*

**ABSTRACT:** Treatment of mown grassy mass is a principal operation which increases the effect of grass drying. A mechanical treater of swath is then one of the machines included into the technology of fodder harvesting. In this contribution we present a development phase of the mechanical treater of swath which consists of a classical disk mower, with a drum cutter of swath placed above it. There were completed kinematic analyses of mechanism for taking up of the aggregate and its operational load-removing in a less bearing grassy terrain. Accomplished force analyses are set for allocation of final load vector of main parts of the mower – drum adapter of conditioner. Specification of unit pressure of mower bracket has been experimentally made directly on the mower. Quasi-static calculations of reactions in basic joint parts are based on equilibrium equations. To calculate the relief spring there were used kinematic joints and equilibrium of subgroups. The results were implemented in the design of a conditioner, the model of which has been successfully tested in field conditions.

mechanical treatment of grassy swath; project of a conditioner; kinematic and force analysis

**ABSTRAKT:** Úprava pokosenej trávnej hmoty je určujúcou operáciou, ktorá zvyšuje efekt jej vysušovania. Mechanický upravovač pokosu je potom jedným zo strojov zaradených do technológie zberu krmovín. V príspevku prezentujeme vývojovú etapu projektu mechanického upravovača pokosu zloženého z klasickej diskovej kosačky, nad ktorou je namontovaný bubnový lámač hmoty pokosu. Uskutočnené sú kinematické analýzy mechanizmu zdvíhania agregátu, jeho odľahčovanie pri práci na menej únosných trávnych povrchoch. Vykonané silové rozborov sú určené na stanovenie výsledného vektora zaťaženia hlavných skupín zostavy kosačka – upravovací bubon kondicionéra. Špecifikácia merného tlaku nosníka kosačky je urobená experimentálne na samotnej kosačke. Kvázistatické výpočty reakcií vo väzbách hlavných skupín vychádzajú z rovnovážnych rovníc. Na výpočet amortizačnej pružiny boli využité kinematické väzby a rovnováha podskupín. Zistené výsledky boli uplatnené v konštrukcii kondicionéra, ktorého prototyp bol v poľných skúškach úspešný.

mechanická úprava trávnych pokosov; projekt kondicionéra; kinematické a statické rozborov

### ÚVOD

Mechanická úprava pokosenej trávnej hmoty bola cieľom vývojových prác, ktoré robil Klinner (1975). Ním navrhnutý bubnový lámač je základom doteraz používaných upravovačov pokosov. Do našej technologickej linky pre zber trávnych porastov bol zaradený bubnový upravovač pokosov krmovín, ktorý popisali Šesták a i. (1992). Vykonané experimenty a ich vyhodnotenie preukázali jeho praktické uplatnenie. Schuning (1980) svojou výskumnou prácou potvrdil, že rýchlosť vodného deficitu v pokose trávy, ktorý je mechanicky upravený, je v porovnaní s neupraveným pokosom 1,5 až 2krát vyššia. Všetky závery doteraz vykonaných prác jednoznačne potvrdzujú, že vývoj projektov nových typov mechanických upravovačov je v praxi žiadaný.

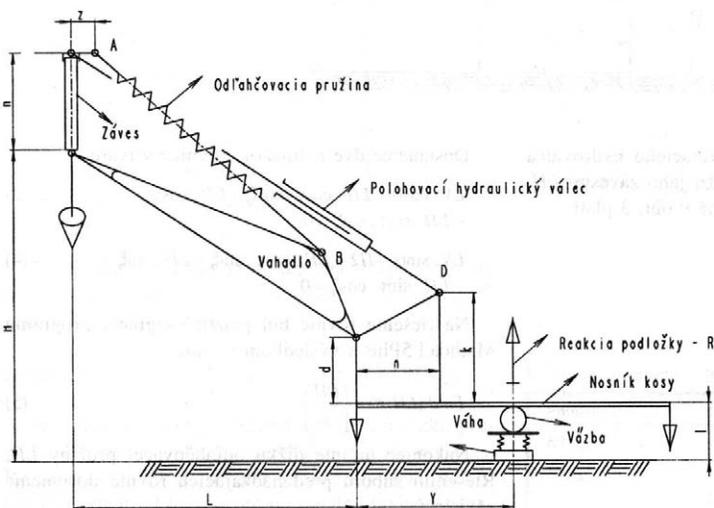
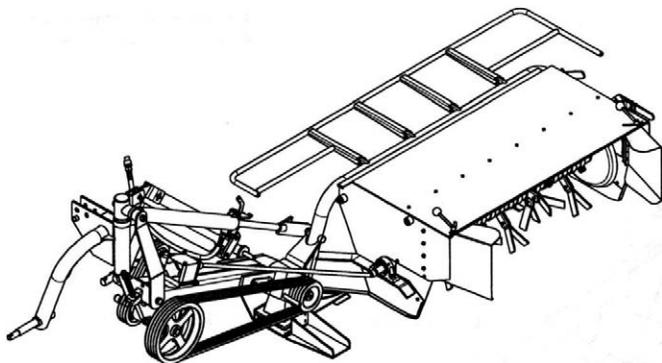
### MATERIÁL A METÓDY

Kompletnú zostavu kondicionéra v agregácii s diskovou kosačkou uvádzame na obr. 1.

#### STANOVENIE REAKCIE NOSNÍKA KOSY NA PODLOŽKU

Pre každú výšku  $H$ , ktorú sme menili polohou trojbodového závesu traktora, bola vážením zistená hodnota reakcie  $R$  a jej poloha  $Y$ , pričom nosník kosačky mal vodorovnú polohu (obr. 2). Medzi nosník kosačky a váhu bola vložená trubica, ktorá simulovala plošnú väzbu. Hodnoty namerané u diskovej kosačky MARAGON MD5, na ktorú bol montovaný kondicionér na úpravu pokosov, sú uvedené v tab. I a potvrdili opodstatnenosť

1. Zostava kondicionéra s diskovou kosačkou – Conditioning set with disk mower



2. Určenie reakcie podložky pre kosačku MARAGON MD5 – Establishing the base reaction force for the MARAGON MD5 mower

- odľahčovacia pružina – relief spring
- záves – hitch
- polohovací hydraulický valec – positioning hydraulic cylinder
- vahadlo – balance beam
- reakcia podložky – base reaction force
- nosník kosi – cutter bar bracket
- váha – balance
- väzba – joint

experimentu. Pri najväčšom predĺžení „odľahčovacej pružiny“ s rozmermi  $\overline{AB} = 860$  mm a  $\overline{AB} = 867$  mm je reakcia podložky 1000 N. Zmenšováním predĺženia odľahčovacej pružiny reakcia podložky stúpa. Analogicky v projekte kosačky MD5-K s adaptovaným kondicionérom rešpektujeme, že reakcia podložky v maximálnom predĺžení odľahčovacej pružiny neprekročí hodnotu 1000 N.

KINEMATIKA MECHANIZMU

Systémová schéma projektu kosačky s namontovaným kondicionérom je zobrazená na obr. 3.

Tu predpokladáme:

- držiak kondicionéra © je vždy vertikálny,
- nosník kosi je v každej polohe vodorovný.

Praktickým cieľom je stanoviť závislosť medzi dĺžkou odľahčovacej pružiny  $LP$  a výškou závesu

I. Namerané hodnoty – Measured values

Pokus číslo <sup>1</sup>	$\overline{AB}$	$H$	$\overline{CD}$	$h$	$z$	$L$	$Y$	$d$	$n$	$k$	$l$	$R$
	(mm)											N
1	831	815	974	455	95	827	687	200	14	545	255	1 420
2	821	850	971	455	95	846	660	200	14	545	329	1 620
3	860	868	976	455	95	795	915	200	14	545	245	1 060
4	800	820	970	455	95	865	623	200	14	545	353	1 812
5	867	880	977	455	95	800	1 024	200	14	545	245	920

<sup>1</sup>experiment No.



Riešením rovníc (7) dostaneme výsledok v tvare:

$$\text{Minner} \begin{pmatrix} XD \\ YD \\ PF \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} XD \\ YD \\ PF \end{pmatrix} \quad (8)$$

Ak podľa obr. 4 označíme konštanty:

$$\begin{aligned} W &= GL + GK, \\ U &= GL.LL1 + GK.LL3, \\ W4 &= PV.\cos(\alpha - \delta).\sin\beta, \\ W6 &= LH.\cos\gamma.\sin\gamma, \\ V &= -GL.(LL1 - LV.\cos\alpha) - GK.(LL3 + LV.\cos\alpha) - \\ & - GV.LT.\cos\alpha, \\ W5 &= (H1 - H6).\sin\gamma, W1 = (H6 - H5).\sin\gamma, W2 = LA.\cos\gamma, \\ W3 &= PV.\sin(\alpha - \gamma).\cos\beta, \\ Z &= GV + GL + GK \end{aligned}$$

a dostaneme rovnovážne rovnice celej sústavy v tvare:

$$\left. \begin{aligned} OX - FH.\sin\gamma &= 0 \\ R + OY + FH.\cos\gamma &= W \\ (W2 + W1).FH + R.LL2 &= U \\ DX - FH.\sin\gamma - FP.\cos\beta &= 0 \\ DY + FP.\sin\beta + FH.\cos\gamma &= Z - R \\ (W5 - W6).FH + (W3 - W4).FP - \\ - R.(LL2 + LV.\cos\alpha) &= V \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Ich riešením dostaneme reakcie  $OX$ ,  $OY$ ,  $R$ ,  $DX$ ,  $DY$  a silu v hydrovalci  $FH$  pre definovanú silu v odľahčovacej pružine  $FP$ .

#### HRANIČNÉ HODNOTY V ODLAHOVACEJ PRUŽINE

Pre stanovené  $H1_{\min}$  určíme minimálnu dĺžku pružiny  $LP_{\min}$  a z rovníc (7) minimálnu silu  $PF = PF_{\min}$ . Pre stanovené  $H1_{\max}$  určíme minimálnu dĺžku odľahčovacej pružiny  $LP_{\max}$  a pre minimálnu hodnotu reakcie medzi nosníkom kosa a podložkou  $R_{\min}$  veľkosť sily v odľahčovacej pružine  $PF_{\max}$ , zo sústavy rovníc (9). Potom konštanta pružiny bude:

$$k = \frac{FP_{\max} - FP_{\min}}{LP_{\max} - LP_{\min}} \quad (10)$$

Počiatočná dĺžka pružiny vo voľnom stave bude:

$$LP(0) = LP_{\min} - \frac{FP_{\min}}{k} \quad (11)$$

Korigovaná konštanta (tabuľkový štandard) s označením  $k^*$  definuje dĺžku odľahčovacej pružiny zo vzťahu:

$$LP(0) = LP_{\min} - \frac{FP_{\min}}{k^*} \quad (12)$$

Nakoniec stanovíme reakcie závesu adaptéra. Podľa obr. 4 platí:

$$\left. \begin{aligned} AX - B - DX + FP.\cos\beta + FH.\sin\gamma &= 0 \\ AY - DY - FH.\cos\gamma - FP.\sin\beta &= 0 \\ DY.LS + B.H3 - FH.LS.\cos\gamma - FH.H2.\sin\gamma - \\ - FP.(P + LS).\sin\beta - FP.(H2 + H4).\cos\beta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Riešením dostaneme  $AX$ ,  $AY$ ,  $B$ .

#### VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vstupné konštanty vyznačujeme v tab. II a okrajové podmienky pre odľahčovaciu pružinu sú uvedené v tab. III.

Potom podľa vzťahu (10) bude konštanta odľahčovacej pružiny:

$$k = 36,09 \text{ N.mm}^{-1}$$

voľná dĺžka:

$$LP(0) = 980,58 \text{ mm}$$

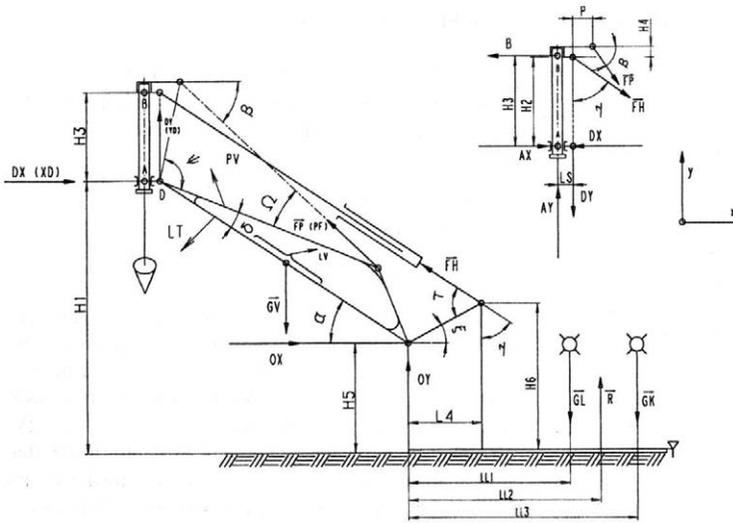
Vybráním štandardu pre  $k^* = 40 \text{ N.mm}^{-1}$  bude voľná dĺžka  $LP(0) = 983 \text{ mm}$ . V projekte aplikujeme dve paralelné pružiny s konštantou  $k = 20 \text{ N.mm}^{-1}$ . Táto zostava je zobrazená na obr. 5. Výsledky silových a reakčných parametrov súborne dokumentujeme v tab. IV. Vizualizácia vypočítaných hodnôt je na obr. 6. Zdvíhacím adaptérom od podložky klesá reakcia medzi nosníkom a podložkou a je aktívnu funkciou odľahčovacej pružiny. Je preukazné, že táto požiadavka praxe je splnená. Rovnocoene je splnená konštrukčná požiadavka, aby maximálne predĺženie odľahčovacej pružiny bolo 75 mm, čo je vyznačené na obr. 7.

#### II. Vstupné parametre – Input parameters

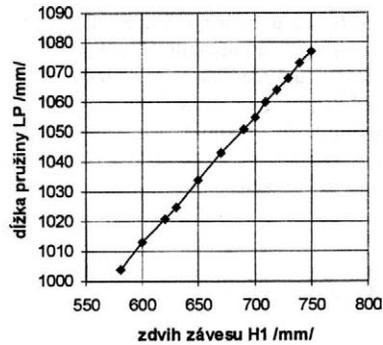
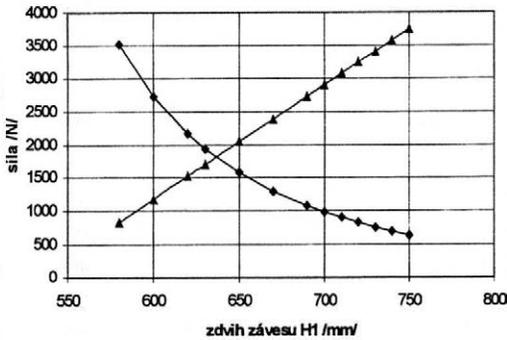
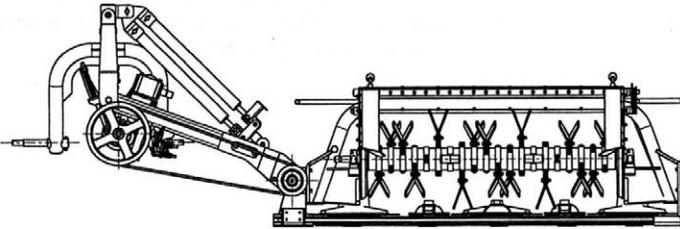
Premenná <sup>1</sup>	Hodnota <sup>2</sup>	Jednotka <sup>3</sup>
$H1_{\min}$	580	mm
$H1_{\max}$	750	mm
Intervaly zmien <sup>4</sup> $H1$	600, 620, 630, 650, 670, 690, 700, 710, 720, 730	mm
$H5$	250	mm
$LV$	1 100	mm
$LA$	250	mm
$H2$	480	mm
$H6$	415	mm
$H4$	20	mm
$P$	100	mm
$PV$	890	mm
$HV$	260	mm
$LL1$	770	mm
$LL2$	960	mm
$LL3$	1 150	mm
$LS$	120	mm
$H3$	490	mm
$LT$	400	mm
$GK$	1 750	N
$GL$	1 750	N
$GV$	1 000	N

<sup>1</sup>variable, <sup>2</sup>value, <sup>3</sup>unit, <sup>4</sup>interval of changes

4. Schéma silového rozboru – Force analysis scheme



5. Zostava odťahovacích pružín – Relief spring set



6. Priebeh reakcie R a sily FP v pružine – Reaction R and force FP courses in the spring

sila – force

zdvih závesu – hitch stroke

—•— reakcia podložky R – base reaction force

—■— sila v amortizačnej pružine – force in amortization spring

7. Predĺženie odťahovacej pružiny v závislosti od zdvihu – Relief spring stretching in dependence of the stroke

dĺžka pružiny – spring length

zdvih závesu – hitch stroke

—●— predĺženie odťahovacej pružiny – relief spring stretching

### III. Okrajové podmienky – Marginal conditions

H1 mm	LH mm	$\tau$ rad	$D_x$	$D_y$	FP	$O_x$	$O_y$	FH
580	1 451	1,044	532,5	343,67	845,184	0	0	0
750	1 475	1,169	7 486	-5 544	3 480	5 078	-4 033	8 353

Pre H1 = 750 mm je reakcia podložky R = 900 N – base reaction force R = 900 N for H1 = 750 mm

## IV. Výsledková zostava – Resulting set

H1	O <sub>X</sub>	O <sub>Y</sub>	FH	R	D <sub>X</sub>	D <sub>Y</sub>	FP	A <sub>X</sub>	A <sub>Y</sub>	B
(mm)	N									
580	-28,2	22,4	-46,4	3 514	624,1	493,12	840	987,4	985,6	987,4
600	1 529	-1 214	2 515	2 717	2 437	-973	1 184	3 016	1 783	3 016
620	2 619	-2 080	4 308	2 159	3 776	-2 076	1 527	4 523	2 341	4 523
630	3 049	-2 421	5 015	1 939	4 328	-2 539	1 699	5 147	2 561	5 147
650	2 748	-2 977	6 166	1 581	5 266	-3 342	2 042	6 214	2 919	6 214
670	4 291	-3 408	7 059	1 303	6 040	-4 029	2 384	7 102	3 197	7 102
690	4 723	-3 751	7 770	1 081	6 696	-4 633	2 726	7 861	3 419	7 861
700	4 907	-3 898	8 073	987,14	6 989	-4 913	2 897	8 203	3 515	8 203
710	5 074	-4 030	8 347	901	7 262	-5 180	3 068	8 523	3 598	8 523
720	5 225	-4 150	8 596	824,6	7 518	-5 437	3 239	8 825	3 675	8 825
730	5 363	-4 259	8 822	754,1	7 759	-5 685	3 410	9 111	3 746	9 111
740	5 488	-4 359	9 028	689,8	7 986	-5 925	3 581	9 381	3 810	9 381
750	5 603	-4 450	9 218	631	8 200	-6 158	3 752	9 639	3 869	96 389

## LITERATÚRA

Klinner W. E. (1975): Design and performance characteristics of an experimental crop conditioning system for difficult climates. *J. Agric. Engng. Res.*, 20, 149–165.

Schuning M. (1980): Grass kann schneller und besser trocken. *Prakt. Landtechn.*, 8, 228–230.

Šesták J., Sklenka P., Škulavík L., Ryban G. (1992): Bubnový upravovač krmovín. *Acta technol. agric. Univ. agric. Nitra*, XXXIII, 15–28.

Došlo 20. 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 73 36 073, e-mail: jozo.sestak@post.sk

# POROVNÁNÍ STRUKOVÝCH NÁVLEČEK NA ZÁKLADĚ TEPLOTNÍCH STAVŮ STRUKŮ\*

## COMPARISON OF RUBBER LINERS BY MEANS OF TEMPERATURE STATES OF TEATS

P. Kunc<sup>1</sup>, I. Knížková<sup>1</sup>, M. Koubková<sup>2</sup>, J. Flusser<sup>3</sup>, O. Doležal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Animal Production, Praha-Uhřetěves, Czech Republic

<sup>2</sup>Czech University of Agriculture, Faculty of Agronomy, Praha, Czech Republic

<sup>3</sup>Institute of Information Theory and Automation, Academy of Sciences, Praha, Czech Republic

**ABSTRACT:** The objective of this study was to compare rubber liners from producer A and producer B by means of changes of surface teat temperature. Thermographic measurements were conducted in milking parlour 2 x 10 (rapid exit herringbone, vacuum 42.6 kPa) in 64 dairy cows. Rubber liners of producer A were placed on left side, rubber liners of producer B were placed on right side in milking parlour. Scheme of measurement was following: 1st day: evening milking – old liners, 2nd day: morning milking – old liners ⇒ 2nd day: evening milking – new liners, 3rd day: morning evening – new liners. Thermal responses of teats were recorded: before milking, after milking immediately, 1 min after milking, 2 min after milking and 3 minute after milking. Irwin 5.3.1. computer program was used for data and thermogram analyses. The results showed that milking increased the temperature of teats. The highest values were obtained after milking immediately. This trend was recorded in liners of producer A as well as in those of producer B. New liners increased temperature of teats more then old liners, but the differences were not significant. The highest decline in teat surface temperature was obtained to 1 minute after milking then the decline was gradual (2nd and 3rd minute). But surface teat temperature was not reverted to the starting value before milking. The regress time to starting temperature of teats will be longer than 3 minutes after milking. The course of the temperature changes of teats is shown in graphs 1 and 2. The differences in the temperature states of teats were not significant between rubber liners of producer A and producer B (Tab. I). Significant injuring influence of tested liners on teats were not recorded. Thermography can produce important information where conventional diagnostic techniques have exhausted their possibilities.

milking; rubber liners; teat surface temperature; thermography

**ABSTRAKT:** Cílem práce bylo termografickou metodou porovnat intenzitu traumatizace struků dojnic strukovými návlečkami dvou výrobců na základě změn povrchové teploty struků. V rybinové dojárně byly u 64 dojnic sledovány teplotní reakce na strukové návlečky výrobce A a výrobce B před výměnou a po výměně. Termogramy byly pořizovány před dojením, po dojení, 1 minutu, 2 minutu a 3 minutu po dojení. Z výsledků vyplynulo, že při strojním dojení dochází ke zvýšení teploty struků; nejvyšších hodnot bylo dosaženo bezprostředně po dojení. Nové strukové návlečky zatěžovaly struky nesignifikantně více než staré. Nejvyšší pokles v teplotách struků byl zjištěn do jedné minuty po dojení, v dalších minutách po dojení byl zaznamenáván pokles pozvolnější, avšak do tří minut po dojení se povrchová teplota struků nevrátila na svou výchozí hodnotu před dojením. Lze se domnívat, že doba návratu na původní teplotní úroveň je delší. Mezi návlečkami výrobce A a B byly zjištěny statisticky nevýznamné rozdíly a nebyl zaznamenán výrazně traumatizující vliv na struky. Užití termografie pro posouzení strukových návleček se ukázalo být vhodné, neboť sleduje bezprostřední odezvu mléčné žlázy na proces dojení.

dojení; strukové návlečky; povrchová teplota struků; termografie

### ÚVOD

Dojící zařízení ovlivňuje svou funkcí zdravotní stav mléčné žlázy, neboť se během dojení dostává s mléčnou žlázou do přímého kontaktu. Strukové návlečky mají pak bezprostřední kontakt s tímto velmi senzitivním orgánem. Ryšánek, Babák (1996) poukazují na výskyt příznaků mikrotraumatizace struků (lokální anemizace

hrotu struků, cyanózy struků, strangulace základny atd.), zjištěných aspektů bezprostředně po sejmutí strukových násadců. Avšak během dojení dochází i ke vzniku traumatizačních zón, které se projevují pouze zvýšenou teplotou zejména na strucích. Tyto projevy traumatizace nelze detekovat zrakem a nejsou postihnutelné ani měřením kontaktním teploměrem (Hamann, 1985; Mašková, 1991). Tyto zóny se vyskytují i v př-

\* Rešení bylo uskutečněno v rámci projektu Grantové agentury ČR 523/99/1489 a projektu NAZV č. EP 0960006313 a MSM 412100003.

padech, kdy technické charakteristiky dojení jsou v souladu s doporučeními výrobců. Pro účely detekce změn teploty povrchu struků je proto vhodné použít termografii, která plošně zaznamenává změny teplot sledovaných objektů.

Termografickým měřením procesu dojení se zabýval Hamann (1985), který zjistil, že běžné dojíací systémy zvyšují teplotu struků o 2 °C. Kejík, Mašková (1989) a Malík et al. (1989) vyhodnocovali na základě termografických snímků povrchových teplot vemen traumatizační zóny v závislosti na kvalitě strukové gummy. Mašková (1991) pomocí termografie hodnotila nový tvar strukové gummy a zjistila, že hrot struku není novým tvarem významně namáhán. Kunc, Knižková (1997) sledovali teplotní reakce vemen na výměnu strukových návleček. Na základě zhodnocení teplotních reakcí mléčné žlázy konstatovali, že výměnou strukových návleček byla ovlivněna dynamika změn teplot vemen a struků. Po výměně strukových návleček bylo zaznamenáno delší přetrvávání vyšších teplot struků oproti teplotním stavům před výměnou. Kunc et al. (1999) sledovali vliv změny podtlaku na teplotní stavy mléčné žlázy a vliv návleček kruhového a trojúhelníkovitého průřezu na změny teploty mléčné žlázy. Termografické snímky prokázaly, že snížení podtlaku ze 45 na 40 kPa se projevilo pozitivně u návleček s kruhovým průřezem, ale u návleček s trojúhelníkovitým průřezem při snížení podtlaku nedošlo ke snížení traumatizace struků.

## MATERIÁL A METODA

Cílem práce bylo netradiční diagnostickou metodou porovnat intenzitu traumatizace struků dojnic strukovými návlečkami dvou výrobců na základě změn povrchové teploty struků dojení.

Termografická měření se uskutečnila v rybinové dojárně 2 x 10 (rychlý odchod, očista vemen vlhčenými jednorázovými utěrkami, počet dojených krav 400, podtlak 42,6 kPa), kde levá strana dojírny byla osazena strukovými návlečkami výrobce A a pravá strana strukovými návlečkami výrobce B. Schéma měření bylo následující:

- 1. den: večerní dojení – staré strukové návlečky,
- 2. den: ranní dojení – staré strukové návlečky;
- ⇒ výměna strukových návleček:
- 2. den: večerní dojení – nové strukové návlečky,
- 3. den: ranní dojení – nové strukové návlečky.

Ke sledování bylo náhodně vybráno celkem 64 dojnic (34 dojnic dojeno s návlečkami výrobce A, 34 dojnic s návlečkami B, plemeno holštýnské, průměrná roční užitkovost 8 200 l).

Termogramy (teplotní záznamy) struků byly pořizovány termovizní soupravou AGA 880, a to u každé vybrané dojnice v následujících intervalech:

- bezprostředně po nástupu dojnice na dojíací stání,
- bezprostředně po sejmutí dojíacího stroje,
- 1 minutu po dojení,

- 2 minuty po dojení,
- 3 minuty po dojení.

Z nasnímaných teplotních záznamů byly v každém intervalu stanoveny průměrné teploty jednotlivých struků pomocí vyhodnocovacího softwaru Irwin 5.3.1, byly vypočteny teplotní změny mezi jednotlivými intervaly měření a výsledky byly statisticky zpracovány.

Během každého dojení byly Milkotestem 2000 zjišťovány fyzikální parametry dojení, aby se vyloučil vliv případných technických nedostatků.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

U starých strukových návleček výrobce A byl zjištěn rozdíl v teplotách struků mezi stavem před dojením a po něm 1,91 °C, u nových návleček 2,02 °C, u výrobce B činil tento rozdíl u starých návleček 1,95 °C, u nových návleček 2,16 °C. Rozdíly nebyly statisticky významné jak v porovnání mezi výrobcí, tak v porovnání mezi starými a novými návlečkami v rámci jednotlivých výrobců.

Při porovnání teplotního stavu v první minutě po dojení se stavem bezprostředně po dojení je patrné, že u starých strukových návleček výrobce A došlo ke snížení teploty o 0,49 °C, u nových o 0,62 °C, u výrobce B bylo zjištěno snížení teploty o 0,58 °C u starých strukových návleček a o 0,72 °C u nových strukových návleček. Rozdíly opět nebyly statisticky významné.

Mezi první a druhou minutou již došlo k méně výraznému snížení teplot struků; u starých strukových návleček výrobce A byl zaznamenán pokles teploty struků o 0,15 °C, u nových návleček o 0,22 °C, teplota struků po použití starých strukových návleček výrobce B vykazovala pokles pouze o 0,04 °C, a 0,05 °C u nových návleček tohoto výrobce. Rozdíly byly opět statisticky nevýznamné.

Ani mezi druhou a třetí minutou nebylo zaznamenáno výraznější snížení teplot struků. U starých strukových návleček výrobce A činilo toto snížení 0,11 °C, u nových návleček 0,03 °C, u výrobce B činil tento rozdíl u starých návleček 0,08 °C u nových pak 0,16 °C. Zjištěné rozdíly nebyly statisticky významné.

Porovná-li se teplotní stav ve třetí minutě po dojení (poslední minuta sledování) s teplotním stavem zjištěným bezprostředně po dojení, je z rozdílů zřejmé, že v tomto případě do tří minut po dojení celkově klesla teplota struků po užití starých strukových návleček výrobce A o 0,75 °C, u nových návleček o 0,87 °C, u výrobce B činil tento rozdíl u starých strukových návleček 0,70 °C a u nových návleček 0,93 °C. Rozdíly nebyly opět statisticky významné.

Posledním zjišťovaným ukazatelem byl rozdíl mezi teplotním stavem před dojením a tři minuty po dojení. U starých strukových návleček výrobce A byl zjištěn tento rozdíl 1,16 °C, u nových 1,15 °C, u starých strukových návleček výrobce B pak 1,24 °C a u nových 1,23 °C. Rozdíly nebyly opět statisticky významné jak v porovnání mezi výrobcí, tak v porovnání mezi starými

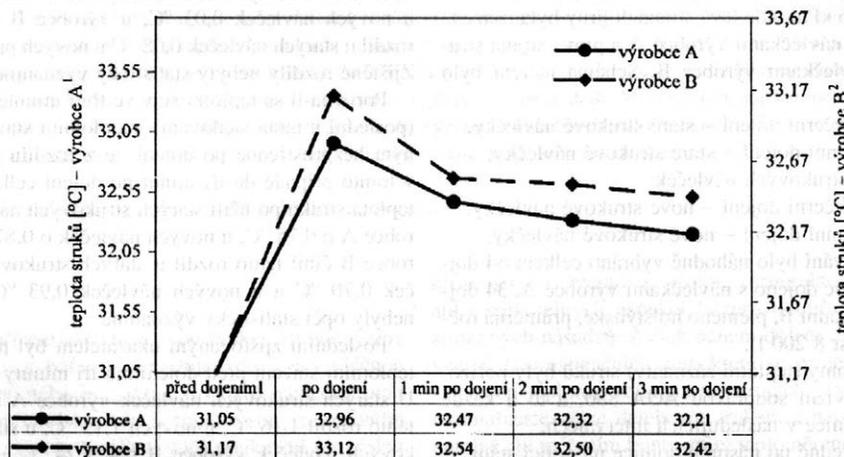
	Výrobce A <sup>1</sup>				Výrobce B <sup>2</sup>			
	staré návlečky <sup>3</sup>		nové návlečky <sup>4</sup>		staré návlečky <sup>3</sup>		nové návlečky <sup>4</sup>	
Teplotní stav (°C) <sup>5</sup>	X <sup>6</sup>	S <sup>7</sup>	X <sup>6</sup>	S <sup>7</sup>	X <sup>6</sup>	S <sup>7</sup>	X <sup>6</sup>	S <sup>7</sup>
po dojení <sup>8</sup>	32,96	3,40	32,83	3,31	33,12	3,48	32,81	3,34
před dojením <sup>9</sup>	31,05	4,30	30,81	4,21	31,17	4,43	30,65	4,58
Rozdíl <sup>10</sup>	1,91		2,02		1,95		2,16	
1 min po dojení <sup>11</sup>	32,47	3,40	32,21	3,56	32,54	3,47	32,09	3,34
po dojení <sup>8</sup>	32,96	3,40	32,83	3,31	33,12	3,48	32,81	3,34
Rozdíl <sup>10</sup>	-0,49		-0,62		-0,58		-0,72	
2 min po dojení <sup>12</sup>	32,32	3,39	31,99	3,57	32,50	3,45	32,04	3,69
1 min po dojení <sup>11</sup>	32,47	3,40	32,21	3,56	32,54	3,47	32,09	3,34
Rozdíl <sup>10</sup>	-0,15		-0,22		-0,04		-0,05	
3 min po dojení <sup>13</sup>	32,21	3,37	31,96	3,20	32,42	3,41	31,88	3,68
2 min po dojení <sup>12</sup>	32,32	3,39	31,99	3,57	32,50	3,45	32,04	3,69
Rozdíl <sup>10</sup>	-0,11		-0,03		-0,08		-0,16	
před dojením <sup>9</sup>	31,05	4,30	30,81	4,21	31,17	4,43	30,65	4,58
3 min po dojení <sup>13</sup>	32,21	3,37	31,96	3,20	32,42	3,41	31,88	3,68
Rozdíl <sup>10</sup>	-1,16		-1,15		-1,24		-1,23	
3 min po dojení <sup>13</sup>	32,21	3,37	31,96	3,20	32,42	3,41	31,88	3,68
po dojení <sup>8</sup>	32,96	3,40	32,83	3,31	33,12	3,48	32,81	3,34
Rozdíl <sup>10</sup>	-0,75		-0,87		-0,70		-0,93	

<sup>1</sup>producer A, <sup>2</sup>producer B, <sup>3</sup>old rubber liners, <sup>4</sup>new rubber liners, <sup>5</sup>temperature state (°C), <sup>6</sup>average <sup>7</sup>standard deviation, <sup>8</sup>after milking immediately, <sup>9</sup>before milking, <sup>10</sup>difference, <sup>11</sup>1 min after milking, <sup>12</sup>2 min after milking, <sup>13</sup>3 min after milking

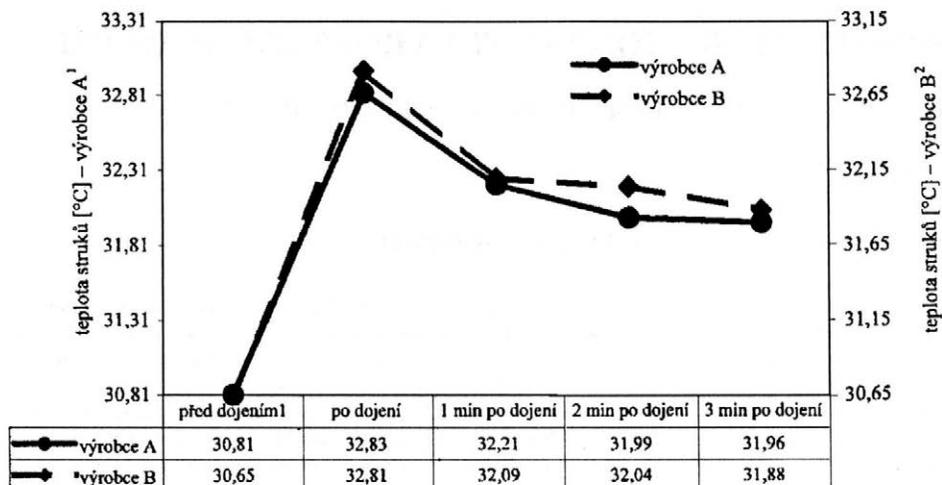
mi a novými návlečkami v rámci jednotlivých výrobců. Zjištěné teplotní stavy struků i jejich rozdíly ve sledovaných intervalech v závislosti na použitých návlečkách a na výrobcí dokládá tab. I. Obr. 1 a 2 pak znázorňují průběh teplotních změn u starých a nových návleček u jednotlivých výrobců.

Z výsledků je patrné, že dojení zvyšuje teplotu struků; nejvyšších hodnot bylo dosaženo bezprostředně po sejmutí strukových násadců. Tento trend byl zazname-

nán jak u návleček výrobce A, tak i u výrobce B. To koresponduje se zjištěním Hamanna (1985), který uvádí, že běžně užívané dojící systémy zvyšují teplotu struků po dojení v průměru o 2 °C. Tomu odpovídala i naše zjištění. Při porovnání starých a nových návleček je však zřejmé, že nové strukové návlečky zatěžovaly struku po dojení více než návlečky staré, i když rozdíly byly statisticky nevýznamné. To potvrzuje i termografickou studii Kuncce, Knížkové (1997), kteří po výměně



1. Průběh teplotních změn struků (staré návlečky) – Course of the temperature changes of teats (old rubber liners)



2. Průběh teplotních změn struků (nové návlečky) – Course of the temperature changes of teats (new rubber liners)

strukových návleček zaznamenali delší přetrvávání vyšších povrchových teplot struků.

Nejvyšší pokles v teplotách struků byl zjištěn do první minuty po dojení, poté už byl zaznamenáván jen pokles pozvolný (druhá a třetí minuta). Tento průběh byl shodný u návleček výrobce A i B i v porovnání návleček nových a starých. Jednoznačně však lze konstatovat, že do tří minut po dojení se povrchová teplota struků nevrátila na svou výchozí hodnotu před dojením. Při použití starých strukových návleček výrobce A byla teplota struků vyšší o 1,16 °C, resp. o 1,15 °C u nových oproti výchozímu teplotnímu stavu, u starých strukových návleček výrobce B pak o 1,24 °C u starých, resp. o 1,23 °C u nových návleček. Z práce Kunc et al. (1999) je patrné, že do dvou minut po dojení teplota struků neklesla na výchozí hodnotu před dojením. Na základě tohoto měření lze však konstatovat, že ani do tří minut po dojení nedochází k odeznění tepelného projevu traumatizace struků a lze se domnívat, že doba návratu na původní stav před dojením je delší.

Po zhodnocení všech rozdílů v teplotách struků a z průběhu teplotních změn struků vyplynulo, že mezi návlečkami výrobce A a výrobce B jsou rozdíly statisticky nevýznamné, zjištěné hodnoty se lišily jen velmi nepatrně a u žádných zkoumaných strukových návleček nebyl zaznamenán výrazný traumatizující vliv na struky dojníc. Užití termografické metody pro posouzení strukových návleček se ukázalo být vhodné, neboť sleduje bezprostřední odezvu organismu, resp. mléčné žlázy na pro-

ces dojení a přináší významné poznatky tam, kde běžné diagnostické prostředky vyčerpaly své možnosti.

#### LITERATURA

- Hamann J. (1985): Infection rate as affected by teat tissue reactions due to conventional and non-conventional milking systems. *Kiel. Milchwirtsch. Forschungsber.* 37, 426–430.
- Kejčík C., Mašková A. (1989): Termovizní měření povrchových teplot vemene v průběhu strojního dojení. *Živ. Vyr.*, 35, 225–230.
- Kunc P., Knížková I. (1997): Reakce vemene dojnice na úpravu dojícího stroje – termografická studie. In.: Aktuální otázky šlechtění, zdraví, růstu a produkce skotu. České Budějovice, 355.
- Kunc P., Knížková I., Koubková M. (1999): Vliv dojení s různým podtlakem a strukovými návlečkami různého tvaru na změnu teploty povrchu struku. *Czech J. Anim. Sci.*, 44, 131–134.
- Malík K., Mašková A., Vévoda J. (1989): A thermovision study of the rubber teat cup function. *Plastics and Rubber – Special Issue*, 49–51.
- Mašková A. (1991): Termovizní měření povrchových teplot vemene v průběhu dojení. [Technická zpráva.] Brno, VŠZ, 50.
- Ryšánek D., Babák V. (1996): Kontrola funkce dojících zařízení a zdravotní stav mléčné žlázy. In.: Nové poznatky v technologii výroby a zpracování mléka. České Budějovice, 116–120.

Došlo 5. 10. 1999

#### Kontakní adresa:

Ing. Petr Kunc, Výzkumný ústav živočišné výroby, 104 00 Praha 10-Uhřetíněves, Česká republika, tel.: +420 2 67 71 17 47, fax: +420 2 67 71 07 79, e-mail: kunc@vuzv.cz

# HODNOTENIE SPÔSOBILOSTI VÝROBNÉHO PROCESU

## VALUATION OF PRODUCTION PROCESS CAPABILITY

J. Hrubec, O. Švec

*Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovak Republic*

**ABSTRACT:** In this time producers are forced to introduce still more effective and operative quality control systems especially in accordance with ISO 9000 norms. One of major requests presented in these norms is the introduction of statistical methods into the production process. The paper deals with methodics of regulation diagrams by measuring, which goal is to submit the production process under statistical control. As far as the process is under statistical control, its quality is predictable and it is possible to proceed to discovering the capability of production process. Capability of production process was followed by drilling holes in tractor engine block Z 8602 for location of the camshaft. Capability of process was followed in accordance to average chart  $\bar{X}$  and range chart  $R$ . Reached results proved that production process of hole drilling in the engine block is not suitable and is even not getting near the capability because values of capability index  $c_p$  and  $c_{pk}$  are lower as is assessed value.

control chart; capability index; quality of production process

**ABSTRAKT:** Výrobné podniky sú v súčasnom období nútené zavádzať stále efektívnejšie a účinnejšie systémy riadenia kvality, najmä podľa noriem ISO radu 9000. Jednou z hlavných požiadaviek uvedených v týchto normách je zavedenie štatistických metód do výrobného procesu. V príspevku je rozpracovaná metodika regulačných diagramov, meraním ktorých cieľom je dostať výrobný proces pod štatistickú kontrolu. Pokiaľ je proces pod štatistickou kontrolou, je jeho kvalita predpovedateľná a môže sa pristúpiť k zisteniu spôsobilosti výrobného procesu. Spôsobilosť výrobného procesu bola sledovaná pri vyvrtávaní dier v bloku traktorového motora Z 8602 pre uloženie väčkového hriadeľa. Spôsobilosť procesu sa sledovala podľa regulačného diagramu pre priemer  $\bar{X}$  a diagramu pre rozpätie  $R$ . Dosiahnuté výsledky ukázali, že výrobný proces vyvrtávania dier v bloku motora nie je spôsobilý a k spôsobilosti sa ani nepribližuje, nakoľko hodnoty ukazovateľa spôsobilosti  $c_p$  a  $c_{pk}$  sú menšie než je stanovená hodnota 1.

regulačný diagram; ukazovateľ spôsobilosti procesu; kvalita výrobného procesu

### ÚVOD

Kvalita je v súčasnom konkurenčnom boji na trhu posudzovaná ako prioritná účinná zbraň na získanie, resp. udržanie si podielu na trhu. Aby boli podniky konkurencieschopné a udržali si hospodársku výkonnosť, sú nútené zavádzať stále efektívnejšie a účinnejšie systémy riadenia kvality, najmä podľa noriem ISO radu 9000, ktoré konkretizujú jednotlivé prvky systému riadenia kvality, a tým vytvárajú predpoklad k certifikácii (Husti, 1999).

Certifikáciou systému kvality, prostredníctvom nezávislej certifikačnej organizácie, potvrdí podnik navonok konformitu s normami ISO 9000. Jednou z hlavných požiadaviek uvedených v týchto normách je zavedenie štatistických metód do výrobného procesu.

V štruktúre výrobného podniku je veľa procesov, ktoré sú štatisticky nestabilné. Normy ISO radu 9000 kladú dôraz na štatistickú reguláciu procesu známu pod skratkou SPC (Statistical Process Control) ako metódu ku pre odstránenie príčin nestability výrobného procesu.

Skúsenosti podnikov poukazujú na to, že správna aplikácia štatistickej regulácie stabilizuje priebeh výrobného procesu a zvyšuje kvalitu a produktivitu práce.

### MATERIÁL A METÓDY

Štatistické metódy možno rozdeliť podľa náročnosti do troch kategórií:

- jednoduché štatistické metódy,
- stredne náročné štatistické metódy,
- náročné štatistické metódy.

Do prvej kategórie patrí sedem nástrojov: Pareto diagram, diagram príčin a efektu, postupový diagram, kontrolne lístky, histogram, korelačný diagram a regulačné diagramy (Shewhartove).

V praxi sa najčastejšie používajú regulačné diagramy, ktorých cieľom je dostať výrobný proces pod štatistickú kontrolu. Proces pod štatistickou kontrolou je proces, u ktorého sú jedinou príčinou rozptylu náhodné príčiny. Tento stav je cieľom, ktorý možno dosiahnuť

vylúčením všetkých vymedziteľných (systematických) príčin rozptylu. Pokiaľ je proces pod štatistickou kontrolou, je jeho kvalita predpovedateľná a možno posúdiť, do akej miery budú splnené požiadavky zákazníka (Chajdiak, 1995).

Pre analýzu variabilných a atributívnych znakov boli vyvinuté rôzne typy regulačných diagramov. Klasifikáciou regulačných diagramov sa zaoberá norma STN ISO 8258.

Pomocou regulačného diagramu meraním – základné hodnoty nie sú stanovené – bolo treba zistiť spôsobilosť výrobného procesu vyvrtávania dier pre uloženie vačkového hriadeľa v bloku traktorového motora Z 8602 (traktor ZTS 16145).

Na získanie spôsobilosti výrobného procesu bol vybraný regulačný diagram pre priemer ( $\bar{X}$ ) a diagram pre rozpätie ( $R$ ).

### ZOSTROJENIE REGULAČNÝCH DIAGRAMOV

Pred meraním je treba nastaviť stroj na menovitý rozmer a počas kontroly toto nastavenie nemeniť.

Z výrobného procesu v konštantných časových intervaloch je nutné odobrať minimálne 20 podskupín o rozsahu  $n = 7$ , t.j. celkový počet meraní  $N = 140$ .

Z nameraných hodnôt je treba vypočítať priemernú hodnotu znaku v podskupine:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

pre  $i = 1, 2 \dots m$  a pre  $j = 1, 2 \dots n$

a rozpätie v podskupine:

$$R_i = \text{MAX}(X_{ij}) - \text{MIN}(X_{ij}) \quad (2)$$

pre  $i = 1, 2 \dots m$

Vypočítané výberové charakteristiky  $\bar{X}_i$  a  $R_i$  sa zakreslia do príslušných diagramov.

Pre výpočet strednej hodnoty priemerov v podskupinách sa použije vzorec

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{X}_i \quad (3)$$

Stredná hodnota rozpätia v podskupinách:

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m R_i \quad (4)$$

$\bar{\bar{X}}$  a  $\bar{R}$  v diagrame tvoria centrálnu priamku.

Regulačné medze pre hodnotenie stability procesu sa vypočítajú takto:

– horná regulačná medza pre  $\bar{X}$ :

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (5)$$

– dolná regulačná medza pre  $\bar{X}$ :

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (6)$$

– horná regulačná medza pre  $R$ :

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad (7)$$

– dolná regulačná medza pre  $R$ :

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{R} \quad (8)$$

Hodnoty koeficientov  $A_2, D_3, D_4$  sú uvedené v tab. II v STN ISO 8258.

Ak sú všetky hodnoty výberových charakteristík  $\bar{X}_i$  a  $R_i$  vo vnútri pásma ohraničeného regulačnými medzami, daný proces je stabilný a môže sa pristúpiť k zisteniu spôsobilosti výrobného procesu.

Ak sa vyskytnú niektoré hodnoty mimo regulačných medzí, proces nie je stabilný a dané regulačné medze neplatia. Je potrebné nájsť a odstrániť príčiny nestability. Po odstránení príčin je potrebné postupovať od začiatku uvedeného postupu.

### SPÔSOBILOSŤ VÝROBNÉHO PROCESU

(1) Spôsobilosť výrobného procesu predstavuje chovanie vlastného výrobného procesu. Vyjadrujeme ho ukazovateľom (indexom) spôsobilosti procesu  $c_p$  a  $c_{pk}$ .

Ukazovateľ spôsobilosti procesu sa vypočíta:

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma_{\bar{R}}} \quad (9)$$

kde:  $USL$  a  $LSL$  – horná a dolná tolerančná medza (hranica).

Skutočná hodnota smerodajnej odchýlky vo vnútri podskupín sa určí:

$$\sigma_{\bar{R}} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (10)$$

kde: koeficient  $d_2$  – uvedený v tab. II STN ISO 8258.

Proces či je správne centrován udáva ukazovateľ spôsobilosti procesu korigovaný. Vypočíta sa podľa rovnice:

$$c_{pk} = \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \sigma_{\bar{R}}} \quad (11)$$

$$c_{pk} = \frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot \sigma_{\bar{R}}} \quad (12)$$

Pre vyhodnotenie procesu sa berie menšia hodnota  $c_{pk}$ .

Vyhodnotenie:

$C_p < 1$  – výrobný proces nie je spôsobilý,  
 $C_p = 1$  – výrobný proces je blízky spôsobilosti,  
 $C_p \geq 1,33$  – výrobný proces je spôsobilý, je schopný  
 produkovať výrobky požadovanej kvality.

To isté vyhodnotenie platí pre  $c_{pk}$ .

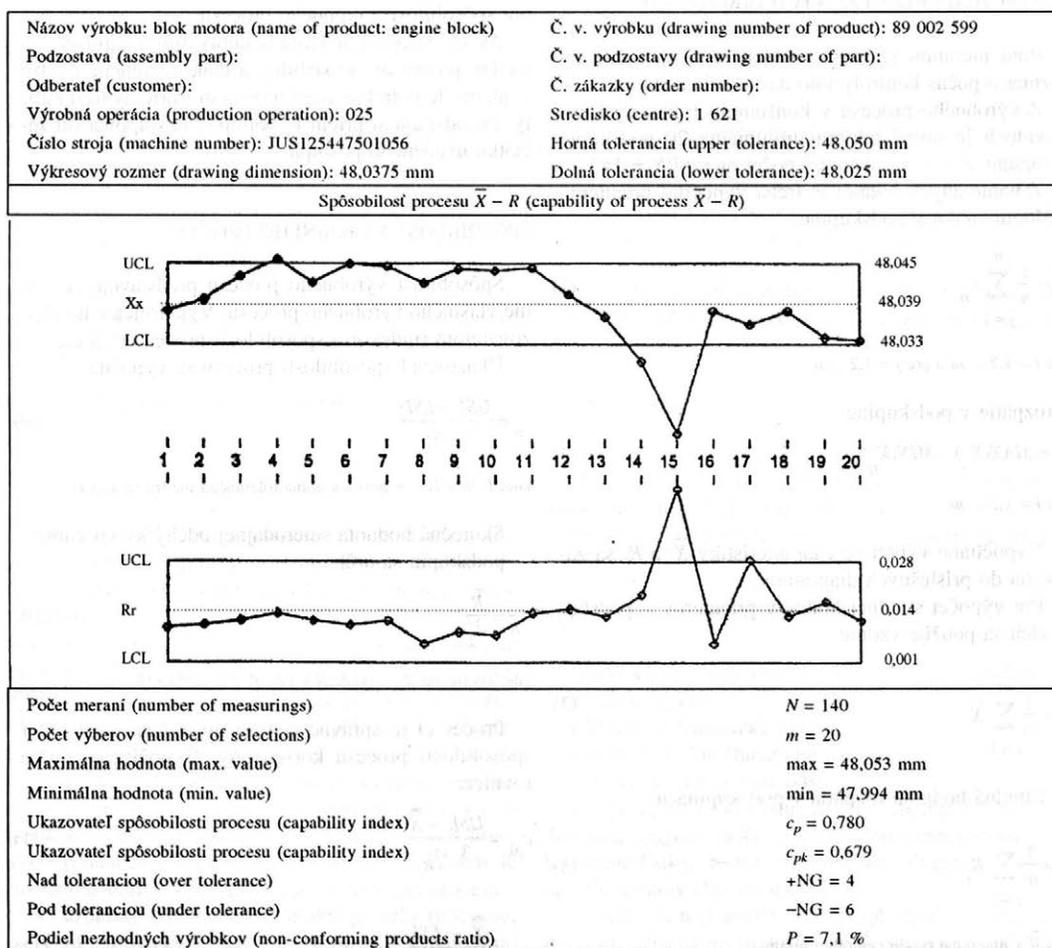
## VÝSLEDKY

U bloku traktorového motora Z 8602 sa sledovala technologická operácia priemerov vyvrtaných dier pre uloženie vačkového hriadeľa. Výkresový rozmer sledovaných dier je  $48,0375 \pm 0,0125$  mm. Vyvrtávanie dier sa robilo na horizontálnej vyvrtávačke. Priemery vyvrtaných dier sa merali pomocou trojosového súradnicového prístroja KOMEG.

Z výrobného procesu bolo premeraných 20 blokov motora. Na každom bloku sa premeralo 7 dier, t.j. celkový počet meraní bol 140. Štyri namerané hodnoty mali väčší priemer ako je stanovená horná tolerančná medza  $USL = 48,050$  mm a šesť hodnôt malo nameraný priemer menší ako je dolná tolerančná medza  $USL = 48,025$  mm. V dôsledku toho podiel nezhodných výrobkov bol 7,1 %.

Z regulačného diagramu pre priemer ( $\bar{X}$ ) ako aj z diagramu pre rozpätie ( $R$ ) je vidieť, že body výberových priemerov  $X_{m4}$ ,  $X_{m14}$ ,  $X_{m15}$  a jeden bod výberového rozpätia  $R_{m15}$  ležia mimo regulačných medzí (obr. 1). V dôsledku toho môžeme konštatovať, že výrobný proces nie je pod štatistickou kontrolou. Treba zistiť príčiny tohoto stavu a pokračovať v ich odstránení.

Ukazovateľ spôsobilosti procesu dosiahol hodnotu iba  $c_p = 0,780$  a  $c_{pk} = 0,679$ . Dosiahnuté ukazovatele



### 1. Regulačné diagramy – Regulation diagrams

jednoznačne potvrdzujú, že výrobný proces nie je spôsobilý, a ani sa k spôsobilosti nepribližuje, nakoľko hodnoty  $c_p$  a  $c_{pk}$  sú menšie než je stanovená hodnota 1.

## ZÁVER

Na traktorovom motore Z 8602 bola sledovaná spôsobilosť výrobného procesu vyvrtávania dier v bloku motora pre uloženie vačkového hriadeľa. Spôsobilosť procesu sa sledovala podľa regulačného diagramu pre priemer ( $\bar{X}$ ) a diagramu pre rozpätie ( $R$ ). Dosiagnuté výsledky ukázali, že výrobný proces vyvrtávania dier v bloku traktorového motora nie je pod štatistickou kontrolou.

Ukazovatele spôsobilosti procesu  $c_p$  a  $c_{pk}$  jednoznačne potvrdili, že výrobný proces nie je ani spôsobi-

lý, ani sa k spôsobilosti nepribližuje, nakoľko ukazovatele  $c_p$  a  $c_{pk}$  sú menšie než je stanovená hodnota 1.

## LITERATÚRA

- Husti I. (1999): Lépésről lépésre a TQM felé. Kutatási és fejlesztési tanácskozás. Magyar Tudományos Akadémia, Gödöllő.
- Chajdiak J. (1995): Štatistika a riadenie kvality. STATIS, Bratislava.
- STN ISO 8258 (01 0271) (1995): Shewhartove regulačné diagramy.

Došlo 12. 11. 1999

---

### Kontaktná adresa:

Doc. Ing. Jozef H r u b e c, CSc., Slovenská poľnohospodárska univerzita, Mechanizačná fakulta, Kalvária 3, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel.: +421 87 77 22 187, fax: +421 87 74 17 003, e-mail: hrubec@hotmail.com

---

# RŮSTOVÁ KŘIVKA MODELOVANÁ DVOJICÍ EXPONENCIÁLNÍCH FUNKCÍ, ŘEŠENÍ V MAPLE

## PATTERN OF GROWTH AND ITS MODELLING BY TWO EXPONENTIAL FUNCTIONS, MAPLE SOLUTION

S. Bartoň, I. Křivánek

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

**ABSTRACT:** The aim of the work is a mathematical formulation of algorithms of computation of coefficients of new form of growth pattern in form of two different exponential functions, applicable in definite interval only. Thus,  $F_1(t) = a_1 + b_1 e^{t/c_1}$  for  $-\infty \leq t \leq \xi$  and  $F_2(t) = a_2 + b_2 e^{-t/c_2}$  for  $\xi \leq t \leq \infty$ . The first function is describing the increasing weight of animal, starting at natal weight. The second function is describing decrease of weight growth until the constant weight of adult animal. The functions are continuous, including the first derivative in time  $\xi$  and including general time interval change of function validity  $\xi$ , containing 7 free coefficients, 3 of them non-linear. Two linear coefficients are given by conditions of continuity. The rest of coefficients, 2 linear and 3 non-linear  $c_1$ ,  $c_2$  and  $\xi$  is determined by combination of least square method and Newton's iterative method. Considering the high mathematical difficulty of given problem, the solution of algorithm is derived in symbolic algebra programme Maple V.5.1.

growing curve; exponential function; Heaviside function; non-linear coefficients; Newton's iterative method; symbolic algebra; Maple

**ABSTRAKT:** Cílem práce je matematická formulace a algoritmus výpočtu koeficientů nového tvaru růstové křivky ve tvaru dvou rozdílných exponenciálních funkcí platných pouze v určitém intervalu, tedy:  $F_1(t) = a_1 + b_1 e^{t/c_1}$  pro  $-\infty \leq t \leq \xi$  a  $F_2(t) = a_2 + b_2 e^{-t/c_2}$  pro  $\xi \leq t \leq \infty$ . První funkce popisuje zrychlující se zvyšování hmotnosti zvířete postupně od jeho porodní hmotnosti, druhá funkce popisuje pokles přírůstků hmotnosti až po ustálenou hmotnost dospělého zvířete. Funkce na sebe spojitě navazují, i s první derivací, v čase  $\xi$ , a včetně obecného časového intervalu změny platnosti funkcí  $\xi$ , obsahují sedm volných koeficientů, z toho tři nelineární. Podmínky spojitosti určí dva lineární koeficienty. Zbývající dva lineární koeficienty a tři nelineární  $c_1$ ,  $c_2$  a  $\xi$  se určí pomocí kombinace metody nejmenších čtverců a Newtonovy iterační metody. Vzhledem k vysoké matematické náročnosti problému je algoritmus řešení odvozen v prostředí programu symbolické algebr Maple V.5.1.

růstová křivka; exponenciální funkce; Heavisidova funkce; nelineární koeficienty; Newtonova iterační metoda; symbolická algebra; Maple

### ÚVOD

Růstové křivky jsou široce používaným pojmem a byly již popsány celou řadou matematických funkcí. Pokud pomineme aproximaci růstové křivky polynomy, připadají v úvahu růstové křivky, které odvodili Brody  $F(t) = A(1 - Be^{-kt})$ , Bertalanffy  $F(t) = A(1 - Be^{-kt})^3$ , Gompertz  $F(t) = Ae^{-Be^{-kt}}$ , Richards  $F(t) = A(1 - Be^{-kt})^M$ , nebo logistická křivka  $F(t) = A(1 - Be^{-kt})^{-1}$ . Vlastnosti těchto křivek jsou podrobně diskutovány např. v práci autorů Robelin, Tulloch (1992), ve které je i detailně zpracována bibliografie tohoto problému. Tyto křivky více nebo méně přesně popisují závislost hmotnosti zvířete na čase, ale většinou jde o uměle odvozené funkční závislosti, bez přímého vztahu k přírodním zákonům. Hlavním hlediskem pro volbu tvaru růstových křivek nebylo ani tak respektování přírod-

ních zákonů, ale pokud možno snadná vyčíslitelnost potřebných koeficientů. Většinu matematických vztahů popisujících uvedené křivky lze buď alespoň přibližně linearizovat, nebo jsou předem stanovovány hodnoty vybraných nelineárních koeficientů. V krajně obtížném případě zbývá určit pouze jeden nelineární koeficient, což není z hlediska numerické matematiky příliš obtížný úkol. Nově navrhovaná funkční závislost respektuje exponenciální nárůst hmotnosti zvířete v období jeho mládí – i v prenatalním stadiu – a postupně snižování přírůstků jeho hmotnosti v období dospívání – až po ustálenou hmotnost dospělého zvířete. Nový tvar růstové křivky podporují ve svých pracích i Chládek et al. (1997, 1998). Práce, které uveřejnili Jeřábek, Máchal (1983) a Jeřábek et al. (1987) zase naznačují, že navrhovaná funkční závislost by mohla popsat snáškové křivky slepic.

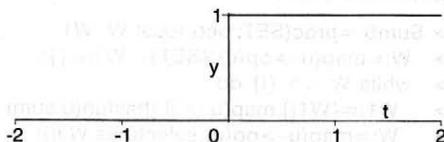
Nový tvar funkční závislosti růstové křivky by neměl praktický význam, pokud by zároveň nebyl doplněn spolehlivou metodou pro nalezení potřebných koeficientů. Vzhledem k nutnosti určit dva lineární a tři nelineární koeficienty jde o matematicky náročný problém. Proto bylo matematické řešení provedeno v prostředí programu Maple. Velkou výhodou tohoto postupu je možnost snadné kombinace analytických a numerických metod a přehlednost řešení. Hotový algoritmus je možné v programu Maple snadno spouštět jako aplikaci nebo exportovat ve tvaru zdrojového kódu pro jednorázový uživatelský počítačový program. Podrobnosti o programu Maple a jeho ovládání lze nalézt např. u autorů Buchar, Hřebíček (1993), Heal et al. (1998), Monagan et al. (1998), Bartoň et al. (1999).

## METODA

### MATEMATICKÉ ZÁKLADY

Řešení problému si výrazně usnadníme, pokud použijeme Heavisidovu funkci (obr. 1), pomocí které dokážeme pracovat s funkcí definovanou po částech jako s jedinou funkcí.

Vzhledem k náročnosti výpočtu budeme při odvozování používat jak standardní matematickou notaci, tak příkazy Maple. Kombinace obou metod ozřejmí jak matematický postup výpočtu, tak odpovídající příkazy programu Maple. Vyčlenění příkazů programu Maple do samostatné části bez komentářů a výstupů z programu by výrazně snížilo přehlednost této části.



1. Heavisidova funkce – Heaviside function

Nejprve zadáme základní tvar první a druhé funkce:

```
> restart; with(linalg): f1:=t->a1+b1*exp(t/c1); f2:=t->a2-b2*exp(-t/c2);
```

$$f1: = t \rightarrow a1 + b1 e^{\frac{t}{c1}}$$

$$f2: = t \rightarrow a2 + b2 e^{-\frac{t}{c2}}$$

Předpokládejme změnu platností funkcí v zatím neznámém čase  $t = \xi$ , pak je možné z podmínky spojitosti  $f1(\xi) = f2(\xi)$  a  $[\delta f1(t)/\delta t]_{t=\xi} = [\delta f2(t)/\delta t]_{t=\xi}$  určit koeficienty  $a_2$  a  $b_2$ .

```
> e1:=f1(xi)=f2(xi): e2:=diff(f1(xi),xi)=diff(f2(xi),xi): sol:=solve({e1,e2},{a2,b2});
```

$$sol: = \left\{ a2 = \frac{a1c1 + b1c1e^{\frac{\xi}{c1}} + b2c2e^{\frac{\xi}{c2}}}{c1}, b2 = \frac{b1c1e^{\frac{\xi}{c1}}}{c1e^{\frac{\xi}{c2}}} \right\}$$

Koeficienty dosadíme a vytvoříme finální funkci  $F(t) = f1(t)H(\xi-t) + f2(t)(1-H(\xi-t))$ , kde  $H$  je Heavisidova funkce. Pro  $t < \xi$  tak  $F(t)$  nabývá hodnoty  $f1(t)$ , pro  $t > \xi$  nabývá  $F(t)$  hodnoty  $f2(t)$ . Vzhledem k tomu, že budeme později provádět řadu derivací podle proměnné  $\xi$ , použijeme prozatím pro Heavisidovu funkci označení  $G(i)$ , protože  $i$  bude index označující itou hodnotu času  $T_i$  a odpovídající hodnotnosti  $Y_i$ . Sčítací index  $i$  ve funkci  $G(i)$  tak bude určovat, zda tato hodnota bude mít význam pro první  $f1(t)$  nebo druhou funkci  $f2(t)$ .

## VÝPOČTY

### VÝPOČET LINEÁRNÍCH KOEFICIENTŮ

Po dosažení vytvoříme vztah pro výpočet kvadrátu reziduí  $s$ .

```
> assign(sol); a2:=collect(a2,[exp,b1]): b2:=combine(b2,exp):
> F:=unapply(f1(t)*G(i)+f2(t)*(1-G(i)),t): s:=(Y[i]-F(T[i]))^2;
```

$$s: = \left( Y_i - \left( a1 + b1 e^{\frac{T_i}{c1}} \right) G(i) - \left( \frac{(c1 + c2) b1 e^{\frac{\xi}{c1}}}{c1} + a1 + \frac{b1 c2 e^{\left( \frac{\xi}{c1} + \frac{\xi}{c2} \right) T_i}}{c2} \right) (1 - G(i)) \right)^2$$

Nyní je naším úkolem nalézt takové koeficienty  $a_1, b_1, c_1, c_2$  a  $\xi$ , které budou minimalizovat  $\sum_{i=1}^N s$ . Výraz  $s$

roznásobíme a budeme sčítat jeho jednotlivé členy. Vzhledem k tomu, že výrazy s kterými budeme dále pracovat, jsou značně rozsáhlé a nepřehledné, nebudeme již vypisovat všechny odpovědi programu Maple.

> **se:=subs(Y[i]^2=K\*Y[i]^2,a1^2=K\*a1^2,expand(s)); Se:=map(u->sum(u,i=1..N),se):**

Lineární koeficienty  $a_1$  a  $b_1$  se vypočtou klasickým postupem. Jejich tvar, který bude funkcí zbývajících nelineárních koeficientů  $c_1, c_2$  a  $\xi$ , uložíme do proměnné  $AB$ .

> **Sa1:=diff(Se,a1): Sb1:=diff(Se,b1): sol1:=solve({Sa1,Sb1},{a1,b1}):**

> **AB:=subs(a1=A(c1,c2,xi),b1=B(c1,c2,xi),G(i)^2=G(i),sol1):**

V proměnné  $AB$  se nachází velmi mnoho rozličných sumací – jejich celkový počet je okolo tří set; proto je vhodné napsat proceduru, která jednotlivé sumace prověří z hlediska jejich opakování tak, aby se každá sumace provedla jen jednou.

> **SumS:=proc(SET::set) local W, W1**

> **W:=map(u->op(u),{SET}): W1:={};**

> **while W <> {} do**

> **W1:={W1[],map(u->'if'(hasfun(u,sum) and type(u,function),u,NULL),W)};**

> **W:=map(u->op(u),select(has,W,i));**

> **od:**

> **[W1[]];**

> **end:**

Proceduru  $SumS$  použijeme k nalezení nezávislých sumací v proměnné  $AB$ . Nalezené sumace očíslovíme a uložíme do proměnné  $Su$ .

> **sigma:=SumS(AB): Ns:=nops(sigma): N1:=Ns: Su:=[seq(sigma[j]=Sigma.j,j=1..Ns)]:**

Skutečně nezávislých sumací při výpočtu  $AB$  je 12. Znamená to, že když nejprve vyčíslíme proměnnou  $Su$  a pak budeme do  $AB$  dosazovat hotové součty, urychlí se výpočet  $AB$  více než 25krát!

## VÝPOČET NELINEÁRNÍCH KOEFICIENTŮ

Dalším úkolem je nalézt hodnoty  $c_1, c_2$  a  $\xi$ , minimalizující součet čtverců reziduí; v našem výpočtu jde o proměnnou  $se$ . Odtud plyne logická podmínka pro existenci minima. Koeficienty musí být řešením systému nelineárních rovnic

$$\frac{\partial se}{\partial c_1} = 0; \quad \frac{\partial se}{\partial c_2} = 0; \quad \frac{\partial se}{\partial \xi} = 0 \quad (1)$$

které vyřešíme numericky za pomoci Newtonovy iterační metody, (Ralston, 1973). Základem této metody je linearizace funkce v okolí zvolené hodnoty = nahrazení funkce Taylorovým polynomem 1. řádu a následný výpočet opravy k této zvolené hodnotě. Zde je nutné připomenout, že i koeficienty  $a_1$  a  $b_1$  jsou funkcemi koeficientů  $c_1, c_2$  a  $\xi$ . Proto byla při tvorbě proměnné  $AB$  provedena substituce  $a_1 = A(c_1, c_2, \xi)$ ,  $b_1 = B(c_1, c_2, \xi)$ , která nám umožní elegantně počítat první derivace:

$$\left[ \begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial a_1}{\partial c_1} & \frac{\partial a_1}{\partial c_2} & \frac{\partial a_1}{\partial \xi} & \frac{\partial b_1}{\partial c_1} & \frac{\partial b_1}{\partial c_2} & \frac{\partial b_1}{\partial \xi} \end{array} \right] \quad (2)$$

Jde vlastně o gradient  $Se$ , tedy  $grad(Se)$ .

> **ABc1:=map(u->diff(u,c1),AB): ABc2:=map(u->diff(u,c2),AB): ABxi:=map(u->diff(u,xi),AB):**

Následně i druhé derivace

$$\left[ \begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_1^2} & \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_1 \partial \xi} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_1^2} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_1 \partial \xi} \\ \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_2^2} & \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_2 \partial \xi} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_2^2} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_2 \partial \xi} \\ \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_1 \partial \xi} & \frac{\partial^2 a_1}{\partial c_2 \partial \xi} & \frac{\partial^2 a_1}{\partial \xi^2} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_1 \partial \xi} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial c_2 \partial \xi} & \frac{\partial^2 b_1}{\partial \xi^2} \end{array} \right] \quad (3)$$

>  $ABc1c1 := \text{subs}(Su, \text{map}(u \rightarrow \text{diff}(u, c1), ABc1))$ ;  $ABc1c2 := \text{subs}(Su, \text{map}(u \rightarrow \text{diff}(u, c2), ABc1))$ ;  
 >  $ABc1xi := \text{subs}(Su, \text{map}(u \rightarrow \text{diff}(u, xi), ABc1))$ ;  $ABc2c2 := \text{subs}(Su, \text{map}(u \rightarrow \text{diff}(u, c2), ABc2))$ ;  
 >  $ABc2xi := \text{subs}(Su, \text{map}(u \rightarrow \text{diff}(u, xi), ABc2))$ ;  $ABxixi := \text{subs}(Su, \text{map}(u \rightarrow \text{diff}(u, xi), ABxi))$ ;

Prvky  $ABc1c1, \dots, AB\xi\xi$  jsou prvky Hessovy matice –  $Hess(AB)$ . Jak při výpočtu gradientu, tak i hessianu je možné použít Maple, my však potřebujeme provést substituce za často se opakující sumace a nalézt v členech hessianu i gradientu případné nové sumace. Ty budeme počítat zvlášť a do výpočtu budeme dosazovat finální numerické hodnoty.

>  $ABc1 := \text{subs}(Su, ABc1)$ ;  $ABc2 := \text{subs}(Su, ABc2)$ ;  $ABxi := \text{subs}(Su, ABxi)$ ;  
 >  $\text{sigma} := \text{SumS}(\{ABc1, ABc2, ABxi, ABc1c1, ABc1c2, ABc1xi, ABc2c2, ABc2xi, ABxixi\})$ ;  
 >  $Ns := \text{nops}(\text{sigma})$ ;  $Su := [Su[], \text{seq}(\text{sigma}[j]) = \text{Sigma}.(j + N1), j = 1..Ns)$ ;  
 >  $N1 := N1 + Ns$ ;  $ABc1 := \text{subs}(Su, ABc1)$ ;  $ABc2 := \text{subs}(Su, ABc2)$ ;  $ABxi := \text{subs}(Su, ABxi)$ ;

Procedura *SumS* propátrala prvky gradientu i hessianu a našla 18 nových sumací, celkem tedy jde o 30 různých sumací. Vzhledem k tomu, že jsme sumace hledali v několika na sobě nezávislých krocích, prověříme následující procedurou, zda se některé sumace mezi sebou neliší pouze tvarem zápisu jednotlivých členů nebo násobením konstantou. V případě, že by tomu tak bylo, procedura by vypsalala, které dvě sumace se dají nahradit sumací jedinou a jaký je mezi nimi vzájemný vztah.

> for j to N1 do; for jj from j+1 to N1 do;  
 >  $\text{podil} := \text{simplify}(\text{op}(1, \text{lhs}(Su[j])) / \text{op}(1, \text{lhs}(Su[jj])))$ ;  
 > if not has( $\text{podil}$ , i) then print('j' = j, 'jj' = jj, 'podil' =  $\text{podil}$ ); fi;  
 > od: od;

Všech 30 sumací je na sobě nezávislých. Zde je nutné podotknout, že bez procedury *SumS* by bylo nutné provést celkem 437 různých sumací. Procedura *SumS* vede tedy ke 14násobnému zrychlení výpočtu. Nyní vytvoříme proměnnou, která po vyčíslení zajistí zpětné dosazení numerických hodnot sumací do všech potřebných proměnných.

>  $BSU := [\text{seq}(\text{rhs}(Su[j])) = \text{factor}(\text{lhs}(Su[j])), j = 1..N1)]$ ;

$$BSU := \left[ \sum_{i=1}^N G(i) e^{-\frac{T_i}{c^2}}, \sum_{i=1}^N G(i) Y_i e^{c^1}, \sum_{i=1}^N G(i) e^{-2\frac{T_i}{c^2}}, \sum_{i=1}^N Y_i, \sum_{i=1}^N G(i) e^{2\frac{T_i}{c^1}}, \sum_{i=1}^N G(i) e^{c^1}, \right.$$

$$\sum_{i=1}^N Y_i e^{c^2}, \sum_{i=1}^N e^{-\frac{T_i}{c^2}}, \sum_{i=1}^N e^{-2\frac{T_i}{c^1}}, \sum_{i=1}^N G(i) Y_i, \sum_{i=1}^N G(i) Y_i e^{-\frac{T_i}{c^2}}, \sum_{i=1}^N G(i),$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i e^{-2\frac{T_i}{c^2}}}{c^2}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^2}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i Y_i e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^2}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i e^{c^1}}{c^1}, \sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^2},$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{T_i e^{-\frac{T_i}{c^2}}}{c^2}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i Y_i e^{c^1}}{c^1}, \sum_{i=1}^N \frac{T_i e^{-2\frac{T_i}{c^2}}}{c^2}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i e^{2\frac{T_i}{c^1}}}{c^1},$$

$$\sum_{i=1}^N -4 \frac{T_i (c^2 - T_i) e^{-2\frac{T_i}{c^2}}}{c^4}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i (2c^1 + T_i) e^{c^1}}{c^4}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i Y_i (2c^1 + T_i) e^{\frac{T_i}{c^1}}}{c^4},$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i (2c^2 - T_i) e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^4}, \sum_{i=1}^N 4 \frac{G(i) T_i (c^1 + T_i) e^{2\frac{T_i}{c^1}}}{c^4}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i Y_i (2c^2 - T_i) e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^4},$$

$$\sum_{i=1}^N \frac{T_i Y_i (2c^2 - T_i) e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^4}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i (2c^2 - T_i) e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^4}, \sum_{i=1}^N \frac{G(i) T_i (2c^2 - T_i) e^{\frac{T_i}{c^2}}}{c^4} ]$$

#### NEWTONOVA ITERAČNÍ METODA

Na závěr je ještě nutné připravit zpětnou substituci derivací (2) a (3), které jsou nutné pro Newtonovu iterační metodu. V soulase s Ralstonem (1973) je možné zkráceně zapsat iterační postup numericky řešící (1)

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial Se}{\partial c1} \\ \frac{\partial Se}{\partial c2} \\ \frac{\partial Se}{\partial \xi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 Se}{\partial c1^2} & \frac{\partial^2 Se}{\partial c1 \partial c2} & \frac{\partial^2 Se}{\partial c1 \partial \xi} \\ \frac{\partial^2 Se}{\partial c1 \partial c2} & \frac{\partial^2 Se}{\partial c2^2} & \frac{\partial^2 Se}{\partial c2 \partial \xi} \\ \frac{\partial^2 Se}{\partial c1 \partial \xi} & \frac{\partial^2 Se}{\partial c2 \partial \xi} & \frac{\partial^2 Se}{\partial \xi^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dc1 \\ dc2 \\ d\xi \end{bmatrix} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} c1 = c1i \\ c2 = c2i \\ \xi = \xi i \end{bmatrix}$$

Podstata (4) je následující:

1. odhadnou se přibližné hodnoty koeficientů  $c1i$ ,  $c2i$  a  $\xi i$ , vyhovující systému rovnic (1),
2. vypočte se  $grad(Se)$  a  $Hess(Se)$ ,
3. dosadí se  $c1 = c1i$ ,  $c2 = c2i$  a  $\xi = \xi i$ . Vektorová rovnice (4) se tak stane systémem tří lineárních rovnic pro  $dc1$ ,  $dc2$  a  $d\xi$ ,
4. systém rovnic (4) vyřešíme pro  $dc1$ ,  $dc2$  a  $d\xi$ , což jsou numerické opravy pro  $c1i$ ,  $c2i$  a  $\xi i$ ,
5. provedeme výpočet nových hodnot  $c1i = c1i + dc1$ ,  $c2i = c2i + dc2$  a  $\xi i = \xi i + d\xi$ ,
6. pokud nejsme s výsledkem právě provedeného iteračního kroku spokojeni, zopakujeme celý postup podle bodů 1 až 6 znovu.

```
> As:=A(c1,c2,xi); Bs:=B(c1,c2,xi);
> DSu:=[diff(As,c1,c1), diff(As,c1,c2)=Ac1c2, diff(As,c1,xi)=Ac1xi, diff(As,c2,c2)=Ac2c2,
diff(As,c2,xi)=Ac2xi, diff(As,xi,xi)=Axixi, diff(Bs,c1,c1)=Bc1c1, diff(Bs,c1,c2)=Bc1c2,
diff(Bs,c1,xi)=Bc1xi, diff(Bs,c2,c2)=Bc2c2, diff(Bs,c2,xi)=Bc2xi, diff(Bs,xi,xi)=Bxixi,
diff(As,c1)=Ac1, diff(As,c2)=Ac2, diff(As,xi)=Axi, diff(Bs,c1)=Bc1,diff(Bs,c2)=Bc2,
diff(Bs,xi)=Bxi, As=A, Bs=B, Su[]];
```

Derivace obsažené v (4) vypočteme snadno při použití zpětných substitucí

```
> Se:=subs(a1=A(c1,c2,xi),b1=B(c1,c2,xi), map(u->remove(has,u,i)*sum(select(has,u,i),i=1..N),se));
> Sec1:=diff(Se,c1); Sec1c1:=subs(DSu,diff(Sec1,c1)); Sec1c2:=subs(DSu,diff(Sec1,c2));
> Sec1xi:=subs(DSu,diff(Sec1,xi)); Sec2:=diff(Se,c2); Sec2c2:=subs(DSu,diff(Sec2,c2));
> Sec2xi:=subs(DSu,diff(Sec2,xi)); Sexi:=diff(Se,xi); Sexixi:=subs(DSu,diff(Sexi,xi));
> Sec1:=subs(DSu,Sec1); Sec2:=subs(DSu,Sec2); Sexi:=subs(DSu,Sexi);
> ABC1c1:=subs(DSu,ABC1c1); ABC1c2:=subs(DSu,ABC1c2); ABC1xi:=subs(DSu,ABC1xi);
> ABC2c2:=subs(DSu,ABC2c2); ABC2xi:=subs(DSu,ABC2xi); ABxixi:=subs(DSu,ABxixi);
> ABC1:=subs(DSu,ABC1); ABC2:=subs(DSu,ABC2); ABxi:=subs(DSu,ABxi); AB:=subs(DSu,AB);
```

## NUMERICKÁ ITERACE

Pomocnou proměnnou  $K$ , jejímž posláním je vytvořit součin v sumaci typu  $\sum_{i=1}^N Y_i \rightarrow \sum_{i=1}^N KY_i$ , položíme  $K = 1$

a dosadíme  $G(i) = Heaviside(\xi - Ti)$ . V případě, že by v průběhu výpočtu nastalo  $\xi = Ti$ , položíme  $Heaviside(0) = 0.5$ . Data, kterými budeme prokládat navrhovanou růstovou křivku, vytvoříme pomocí Gompertzovy růstové křivky  $y$  a funkce generující náhodné chyby. Přesnost výpočtů zvolíme na 20 platných číslic. Počáteční hodnoty vyhovující (1) odhadneme  $c1 = 180$ ,  $c2 = 450$  a  $\xi = 350$ . Pomocí proměnné  $Start$  budeme sledovat spotřebu strojního času a proměnná  $n$  bude počítat jednotlivé iterační kroky.

```
> K:=1: G(i):=Heaviside(xi-T[i]): err:=evalf(rand(-500..500)/50): y:=45+650*exp(-exp(-t/250)*6):
> T:=[seq(j*2.,j=0..200),seq(j*5.,j=81..200)]: Y:=[seq(evalf(subs(t=T[j],y+err()),4),j=1..nops(T))]:
> Digits:=20: Heaviside(0):=0.5: c1:=180: c2:=450: xi:=350.; N:=nops(T):
> dc1i:=c1: dc2i:=c2: dxii:=xi: Start:=time(): n:=0:
```

Vše je již připraveno pro spuštění iterační procedury. Poběží, dokud relativní změna proměnných  $c1$ ,  $c2$  a  $\xi$  neklesne v absolutní hodnotě pod  $10^{-12}$ .

```
> while max(abs(dc1i/c1),abs(dc2i/c2),abs(dxii/xi)) 10^(-12) do;
> n:=n+1: Bsuf:=evalf(BSU): ABf:=subs(Bsuf,AB): ABfc1:=subs(Bsuf,ABC1):
> ABfc2:=subs(Bsuf,ABC2): ABfxi:=subs(Bsuf,ABxi): ABfc1c1:=subs(Bsuf,ABC1c1):
```

```

> ABfc1c2:=subs(Bsuf,ABc1c2):ABfc1xi:=subs(Bsuf,ABc1xi): ABfc2c2:=subs(Bsuf,ABc2c2):
> ABfc2xi:=subs(Bsuf,ABc2xi): ABfxixi:=subs(Bsuf,ABxixi): Sefc1:=subs(Bsuf,ABf,ABfc1,Sec1):
> Sefc2:=subs(Bsuf,ABf,ABfc2,Sec2): Sefxixi:=subs(Bsuf,ABf,ABfxi,Sexi):
> Sefc1c1:=subs(Bsuf,ABf,ABfc1,ABfc1c1,Sec1c1):
> Sefc1c2:=subs(Bsuf,ABf,ABfc1,ABfc2,ABfc1c2,Sec1c2):
> Sefc2c2:=subs(Bsuf,ABf,ABfc2,ABfc2c2,Sec2c2):
> Sefc2xi:=subs(Bsuf,ABf,ABfc2,ABfxi,ABfc2xi,Sec2xi):
> Sefxixi:=subs(Bsuf,ABf,ABfxi,ABfxixi,Sexixi):
> Ec1:=Sefc1+Sefc1c1*dc1+Sefc1c2*dc2+Sefc1xi*dcxi:
> Ec2:=Sefc2+Sefc1c2*dc1+Sefc2c2*dc2+Sefc2xi*dcxi:
> Exi:=Sefxixi+Sefc1xi*dc1+Sefc2xi*dc2+Sefxixi*dcxi:
> sol:=solve({Ec1,Ec2,Exi},{dc1,dc2,dxi}): xi:=xi+subs(sol,dxi): dxii:=subs(sol,dxi):
> c1:=c1+subs(sol,dc1): dc1i:=subs(sol,dc1): c2:=c2+subs(sol,dc2): dc2i:=subs(sol,dc2):
> od:

```

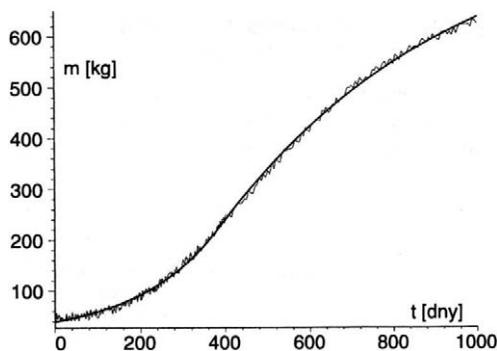
Nejprve zjistíme, kolik strojního času a kolik iteračních kroků bylo zapotřebí

```
> Krok[n]:=(time()-Start)*sekund;
```

Krok8:=137,891 s

Na závěr vypíšeme finální funkci a vykreslíme její průběh společně se zadanými hodnotami (obr. 2). Výsledky budeme zaokrouhlovat již jen na šest platných číslic. Jméno funkce *Heaviside* zkrátíme na *H*.

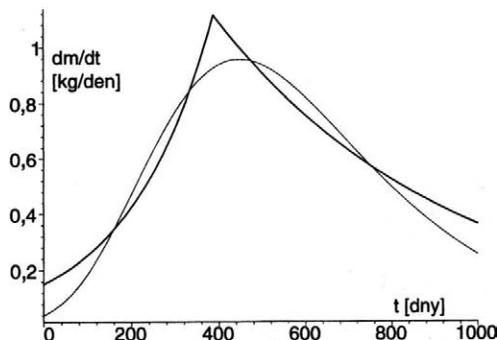
```
> Digits:=6: alias(H=Heaviside): Ft:=subs(a1=A,b1=B,ABf,f1(t)*H(xi-t)+f2(t)*(1-H(xi-t)));
```

$$Fr = (9,657861 + 29,4023e^{0,005157858t}) H(386,917 - t) + (837,434 - 1238,74e^{-0,00182767t}) (1 - H(386,917 - t))$$


2. Růstová křivka skotu – Growth curve of cattle

```
> plot({Ft,[seq([T[i],Y[i]],i=1..N)]},t=0..T[N]);
```

Rozdíl mezi oběma funkcemi je patrný až z grafu prvních derivací (obr. 3).



3. Derivace Gompertzovy funkce (slabě) a růstové křivky z obr. 2 (silně) – Derivation of the Gompertz curve (thin) and of the growth curve from Fig. 2 (thick)

```
> plot({diff(Ft,t),diff(y,t)},t=T[1]..T[N]);
```

Kvalitu aproximace dat zadaných novou křivkou ohodnotíme pomocí výpočtu korelačního koeficientu. Tento výpočet je velmi snadný. Nejprve vypočteme funkční hodnoty  $Y_d$ , funkce  $F_t$  pro časy, které byly použity pro vytvoření vektoru funkčních hodnot  $Y$  Gompertzovy funkce  $y$ . Korelační koeficient vypočteme za pomoci knihovny statistických funkcí programu Maple.

>  $Y_d := \text{map}(u \rightarrow \text{evalf}(\text{subs}(x=u, F_x), 4), X): \text{with}(\text{stats}): \text{Korelace} := \text{describe}[\text{linearcorrelation}](Y_d, Y);$

Korelace: = 0,99939067902221379617

Jak vidíme, je korelační koeficient po zaokrouhlení roven 0,99940, což je možné považovat za důkaz velmi dobré shody mezi zadanými daty a jejich aproximací pomocí funkce  $F_t$ . Korelační koeficient počítaný podle Anděla (1985) má stejnou velikost.

## PRAKTICKÉ APLIKACE

### VÝKRM VEPŘŮ – POROVNÁNÍ S RICHARDSOVOU KŘIVKOU

Aplikujme uvedený postup na konkrétní data. Skvělých výsledků s aplikací Richardsovy růstové křivky při sledování chovu vepřů plemene Hampshire dosáhl kolektiv vedený Václavovským. Použijme data, která publikovali Václavovský et al. (1995), včetně růstové křivky, jejíž koeficienty byly v citované práci uvedeny.

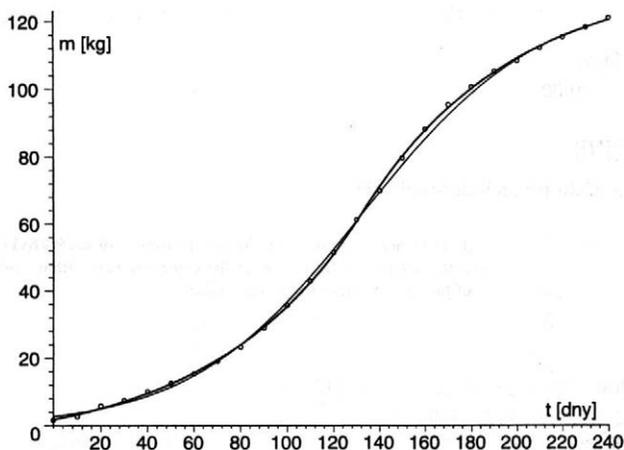
$$y = 128,12 \frac{1}{(1 + 21,540e^{-0,025t})^{1,22850}} \quad (5)$$

>  $T := [\text{seq}(i^*10, i=0..24)]:$

>  $Y := [1.64, 2.68, 5.81, 7.45, 9.98, 12.51, 15.34, 19.07, 23.24, 28.90, 35.60, 42.90, 51.39, 61.07, 69.71, 79.54, 88.03, 95.18, 100.42, 105.01, 108.07, 111.87, 115.12, 118.01, 120.67]:$

Vektory dat  $T$  a  $Y$  byly získány digitální analýzou grafu uvedeného v citované práci. Koeficienty křivky  $F_t$  vypočítáme zcela stejným způsobem, jaký je uveden v části Numerická iterace. Odhadneme počáteční hodnoty koeficientů  $c_1 = 50,0$ ,  $c_2 = 120,0$  a  $\xi = 120,0$ . Po deseti iteračních krocích a 40 sekundách trvání výpočtu obdržíme výslednou funkci

$$F_t = (-7,12794 + 8,93589 e^{0,015581t}) H(132,355 - t) + (133,240 - 553,848 e^{-0,015617t}) (1 - H(132,355 - t)) \quad (6)$$



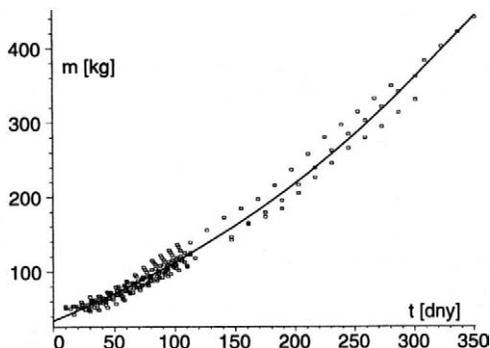
4. Výkrm vepřů plemene Hampshire, data a Richardsova růstová křivka (Václavovský et al., 1995) – (slabě) a navrhovaná křivka – (silně) – Fattening of Hampshire pigs, data and Richards growth curve (Václavovský et al., 1995) – (thin) and the proposed curve – (thick)

Vykreslíme-li do společného grafu (obr. 4) vypočtenou růstovou křivku (6) – silně a data uvedená autory Václavovským et al. (1995) i jimi proloženou Richardsovu růstovou křivku (5) – slabě, vidíme, že vypočtená křivka (6) aproximuje růst vepřů lépe než Richardsova růstová křivka  $y$ , kterou uvádějí Václavovský et al. (1995). Této skutečnosti odpovídají i vypočtené korelační koeficienty. Pro vypočtenou funkci (6) je korelační koeficient odpovídající datovým vektorům  $T$  a  $Y$  roven 0,999921, pro Richardsovu funkci (5) je korelační koeficient roven

0,999610. Znamená to tedy, že navrhovaná funkce vyhovuje lépe než Richardsova křivka. Podle těchto autorů má korelační koeficient mezi datovými vektory  $T$ ,  $Y$  a Richardsovou křivkou hodnotu pouze 0,9993, z čehož vyplývá, že chyby datových vektorů  $T$  a  $Y$  vzniklé při digitálním sejmutí dat z grafu uvedeného v citované práci lze zanedbat. Ze šesti datových souborů uvedených v citované práci byla použita růstová křivka veprů plemene Hampshire právě proto, že měla nejvyšší korelační koeficient.

#### VÝKRM SKOTU – JINÝ TVAR RŮSTOVÉ KŘÍVKY

Uvedené postupy lze použít i pro případy dalších po částech definovaných funkcí. Například pro proložení růstové křivky daty, která získali Zeman a Hodboď, není růstová křivka ve tvaru dvojice exponenciálních funkcí vhodná, neboť nedochází k poklesu přírůstků (obr. 5). V průběhu iterace by se to projevovalo tím, že výpočet by pro hodnotu  $c2$  nekonvergoval a hodnota  $c2$  by se v absolutní hodnotě stále zvětšovala.



5. Výkrm skotu – růstová křivka – Cattle fattening – growth curve

Po vyhlazení grafu, např. klouzavým průměrem, by se přírůstky hmotnosti pro vyšší časy  $t$  mohly projevat jako konstantní, druhá část růstové křivky by tedy mohla být přímkou. Proložení růstové křivky ve tvaru

$$\left( a1 + b1e^{\frac{t}{c1}} \right) H(\xi - t) + (a2 + b2t) [1 - H(\xi - t)] \quad (7)$$

nečiní žádné problémy. Vzhledem k tomu, že v křivce (7) ubyl jeden nelineární parametr –  $c2$ , je nutné ve výpočetním postupu nahradit všude derivace podle  $c2$  nulou. Snížení počtu nelineárních proměnných pochopitelně zjednodušuje a zrychluje výpočet. Po výpočtu vyžadujícím 44,1 s strojního času a devět iteračních kroků získáme výsledek ve tvaru

$$(197,8 + 226,0 e^{0,002976 t}) H(298,7 - t) + (-130,8 + 1,636 t) [1 - H(298,7 - t)]$$

Odpovídající korelační koeficient je 0,99212.

#### DISKUSE A ZÁVĚR

Jak je z vypočtených korelačních koeficientů zřejmé, vyhovuje nově navrhovaná funkční závislost ve srovnání s klasickými růstovými křivkami stejně dobře, popř. i lépe. Návrh na rozdělení období vývoje organismu na dvě části není nový. Je možné připomenout diskusi okolo hledání inflexního bodu Richardsovy křivky v práci autorů Hrouz, Gotthardová (1996).

Novým přístupem je přímé rozdělení růstové křivky na dvě relativně nezávislé části. Relativně nezávislé je nutné zdůraznit, protože podmínky spojitosti obou funkčních závislostí vytvářejí vzájemné vztahy mezi tvary obou funkcí. Je možné namítnout, že živý organismus se nemůže chovat tak, že najednou přepne z jednoho způsobu vývoje na druhý, tak jak to činí Heavisidova funkce. Zde lze argumentovat několika způsoby.

1. Obě funkční závislosti je možné volit ve tvaru jednoduchých funkcí, které dobře korespondují s chováním biologických systémů.
2. Je opět nutné zdůraznit spojitost obou funkcí i spojitost prvních derivací obou funkčních závislostí.
3. Ve skutečnosti v organismu dochází k pozvolnému poklesu významu první části růstové křivky a k nárůstu významu druhé části růstové křivky, obě části se prolínají. Matematický popis tohoto prolnutí pomocí Heavisidovy funkce je vlastně jeho základní aproximací a další zpřesnění bude následovat.
4. Bod návaznosti obou funkcí je hledaným inflexním bodem (Hrouz, Gotthardová, 1996). V čase  $t = \xi$  jsou přírůstky organismu maximální.
5. Výraznou výhodou algoritmu je *přímý a exaktní výpočet inflexního bodu* růstové křivky.
6. Algoritmus je možné podle potřeby modifikovat i na jiné tvary funkčních závislostí.

Všechny výpočty byly provedeny na počítači Autocont, Pentium II, 266 MHz, 64 MB RAM.

#### LITERATURA

- Anděl J. (1985): Matematická statistika. Praha, SNTL.
- Bartoň S., Bisták P., Budinský M., Skachová Z., Torok C. (1999): Maple V4. FLACE – TEMPUS – PHARE. Bratislava.
- Buchar J., Hřebíček J. (1993): Úvod do programového souboru Maple V – rel. 3. Brno, MZLU.
- Heal K. M., Hansen M. L., Rickard K. M. (1998): Maple V – Release 5, Learning guide. Springer. ISBN 0-387-98397-X.
- Hrouz J., Gotthardová J. (1996): Šlechtění hospodářských zvířat s využitím parametrů růstové křivky. In: Sborník abstraktů XVII. Genetické dny, 1.–3. července, 107–108. MZLU Brno.
- Chládek G., Soutor J., Ingr I., Krása A. (1997): Meat efficiency of bullock of the black pied breed fattened to 430–530 kg of body weight. Acta Univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., XLV (1), 13–18.

Chládek G., Soutor J., Ingr I., Krása A. (1998): Meat efficiency of bullock of the black pied breed finished to lower slaughter weight. *Czech anim. Sci.*, **43**, 537–540.

Jefábek S., Máchal L. (1983): Factors affecting performance of caged layers in the course of breeding. In: 5th International Symposium on Actual Problems of Avian Genetics. Piešťany, March 21–24, 113–117.

Jefábek S., Máchal L., Tošovský J. (1987): Analysis of systematic environmental effects influencing efficiency of caged hens during a two stage individual performance record. In: 7th International Symposium on Actual Problems of Avian Genetics. Smolenice, March 13–16, 78–81.

Monagan M. B., Geddes K. O., Heal K. M., Labahn B., Vorkoetter S. M. (1998): *Maple V – Release 5, Programming guide*. Springer. ISBN 0-387-98398-8.

Ralston A. (1973): *Základy numerické matematiky*. Praha, Academia.

Robelin J., Tulloh N. M. (1992): Patterns of growth of cattle. In: Jarrige R., Beranger C. (eds.): *World animal science. Volume C5, Beef-cattle production*. Elsevier. ISBN 0-444-8984-1. 111–129.

Václavovský J., Matoušek V., Kernerová N., Pitter P. (1995): Analysis of pure pigs population growth. In: 46. Meeting European Association for Animal Production. Prague, September 4–7.

Došlo 19. 5. 1999

---

**Kontaktní adresa:**

Doc. RNDr. Stanislav Bartoň, CSc., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, tel.: +420 5 45 13 21 27, e-mail: barton@mendelu.cz

---

# INFORMATION

## NEW COST-COMPETITIVE SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES

On the basis of the analysis of modern technologies, costs of manufacturing and marketing solar modules the nearest (2 USD/Wp) and long-term goal (1 USD/Wp) for decrease of the production cost of silicon solar modules are formulated. For realization of the specified objective the search of new ways and directions in technology, the development of new principles, ecologically pure methods and designs of installations are proposed allowing for lower expenses on manufacture of system components, for increasing efficiency of solar up to 20%, excluding pollution in production process, and for lowering the costs of solar grade silicon.

The total amount of solar energy supplied to the surface of Russia per week exceeds the energy of all Russian reserves of petroleum, gas, coal, and uranium together (Tab. I). Also the solar energy in Russia has the high gross potential, more than 1548 billion t o.e./ $64.7 \cdot 10^3$  billion GJ.

Therefore solar energy is likely to become the basic and primary source of energy for future sustainable development of Russia.

The potential resources of solar energy throughout Russia regions are shown in Tab. II. The most favor-

able areas of the Russian Federation for the installation of solar power plants, producing an annual 200 kWh per square meter of solar cells are: Astrakhan region, Kalmykija, Tuva, Burjatija, Chita Region, the Maritime area, the coast of the Caspian and the Black seas (Strebkov, 1994).

There is a widely spread opinion that the solar energy is an exotic one, and its practical utilization is a matter of the far future (after 2020). One of the goal of this paper to show that this is not so, and that the solar energy is a serious alternative to the traditional energy already nowadays.

Energy strategy should be based on world energy prices, even though a significant part of the social cost of energy production is not reflected in prices in most countries of the world.

If these hidden costs were to be included in energy prices, most renewable energy technologies would become competitive against current power-engineering methods and financing for projects involving ecologically safe power production would be found.

### THE NEW SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES

One of the most promising solar technologies involves the photovoltaic energy conversion with 12 to 15% efficiency. Laboratory models have achieved efficiency rates as high as 30%. The new photovoltaic technologies will be described as following:

I. Potential energy resources in Russia (mln.t o.e./GJ)

Renewable energy resources		Non renewable energy resources	
Solar	$1.55 \times 10^6/64.8 \times 10^6$	Coal	$(202...235.5) \times 10^3/(8443.6...9844) \times 10^3$
Wind	$1.75 \times 10^4/73.1 \times 10^4$	Petroleum	$(13.5...27) \times 10^3/(564.3...1128.6) \times 10^3$
Biomass	$0.67 \times 10^4/28 \times 10^4$	Gas, trillion cub. m	$13.5...27/564.3...1128.6$
Mini-hydro	242.3/10128	Primary, energy, production	1001/41842
Geothermal	$(77.4...13.5) \times 10^6/(323.53...564.3) \times 10^6$		

The main disadvantage of solar radiation is its instability and dependence on the condition of the atmosphere, the time of the day, and on the season. In practice, this means that for stand-alone operation solar power station must have an accumulator or a stand-by generator: and for grid-connected operation, the capacity of solar power stations there should not be greater than 15% of the capacity of the electric power system. Moreover, extensive use of solar power stations gives rise to problems of local thermal imbalance due to the local change in the albedo of the Earth.

able areas of the Russian Federation for the installation of solar power plants, producing an annual 200 kWh per square meter of solar cells are: Astrakhan region, Kalmykija, Tuva, Burjatija, Chita Region, the Maritime area, the coast of the Caspian and the Black seas (Strebkov, 1994).

II. Solar power potential resources over Russian regions (mill. t o.e./GJ)

Region	Wind (10 <sup>3</sup> )	Mini-hydro	Geothermal (10 <sup>6</sup> )
North	7.43/310.57	-	6/250.8
North-West	0.86/36	17.8/744	0.34/14.2
Central	1.72/72	1.8/75.2	-
Central-Chernozem	0.7/29.26	0.34/14.2	-
Volga-Vyatski	1.4/58.52	-	-
Volga Region	2.8/117.04	4.7/196.5	3.03/126.6
North Caucasus	1.72/72.02	8.2/342.8	21.2/886.1
Urals	3.28/137.27	7.54/315.2	1.2/50.2
West Siberia	8.7/362.32	16.3/681.3	33.3/1392
East Siberia	9.1/380.34	25.5/3574	1.48/61.9
Russian Far East	1.61/67.5	98.9/4134	54.5/2278.1
Russia total	53.8/2250.51	241.8/10107.2	124/5057.8

### New crystalline silicon technology for solar cells

- plasmic technology of monocharge manufacture from silicon dioxide and black, using natural methane and quartz;
- technology of manufacture of high purity silicon dioxide and carbon black monocharge from rice husk;
- chlorless technology for manufacture of high purity silicon;
- environmentally benign plasmothrone technology of solar grade silicon production;
- low cost carbothermic reduction process of high purity natural silica in the arc furnace.

### New photovoltaic technologies

- new ecologically clean technological processes for silicon solar cell technology;
- low cost monocrystalline and polycrystalline silicon solar cells;
- solar modules with new types of concentrators;
- long life non-organic material solar module encapsulation technology.

### New solar photovoltaic systems

- solar pump, using low potential solar radiation;
- portable solar stove and water heater with concentrators and photovoltaic receivers;
- PV-driven solar dryer and solar conditioner;
- solar greenhouse with Fresnel lenses and photovoltaic converters;
- hybrid solar systems for power supply of farmer's dwelling;
- solar-fuel power plants with new solar optical concentration system;
- solar-hydrogen system on a basis of electrolyses and electrochemical generators with solid polymer electrolyte;
- new solar desalination system.

Use of photovoltaic technology in Russia began in 1958 with the launch of the third satellite with solar arrays. Space programs stimulated development of photovoltaic technology for the terrestrial applications. At the moment Russia has a well developed photovoltaic industry, highly skilled staff of scientists and technologists (Strebkov, Koshkin, 1996).

Physical principles of photovoltaic conversion of concentrate solar radiation were developed. In this case, the concentration of carriers injected by the radiation is greater than the concentration of the majority of carriers, the traditional theory of linear photoresponse no longer works, and the following new physical effects arise (Lidorenko, Evdokimov, 1994):

- photoconductivity, which is likely to solve the problem of internal Joule losses;
- an increase in the life time of the minority charge carriers;
- the build-up of volumetric voltages;
- an increase in the collection efficiency of the generated charge carries;
- an increase in the voltage of the  $p-n$ -junction and the isotype  $p-p^+$ -junction up to the level of the potential barrier in the equilibrium state.

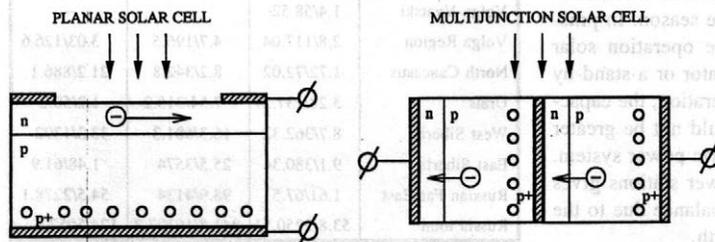
Experimental results of investigation of planar and multijunction solar cells at high light intensity are shown in Fig. 1 and Tab. III.

At the St. Petersburg Physicotechnical Institute, a team supervised by Zh. I. Alferov and V. M. Andreev developed a technology for making highly effective cascade heterojunction solar cells from GaAlAs-GaInAs that showed an efficiency of 30%. The property of heterojunction solar cells to retain their efficiency in the event of a rise in the concentration of solar radiation by one thousand times was used in developing high-performance solar modules having a capacity of 10–15 W and power units based on such modules with a capacity of up to 500 W.

A simple and highly efficient technique for producing solar cells has been worked out at the All-Russia Research Institute for the Electrification of Agriculture:

### Advantages of VIESH solar cell technology

- no usage of silver for the grid;
- no limitation for silicon resistivity and orientation;
- one step diffusion for  $N^+-P-P^+$  cell structure formation;
- tantalum pentoxide antireflection coating;
- no vacuum processes;
- low energy consumptions;
- opportunity to produce low concentration and bifacial solar cells.



1. Configuration of diode structure and electron flow in planar and multijunction solar cells

### III. Comparison of experimental parameters for silicon planar and multijunction solar cells

Experimental parameters	Planar solar cell	Multijunction solar cells
Voltage density (V/cm <sup>2</sup> )	0.1–1	10–100
Illumination intensity range for effective operation (W/cm <sup>2</sup> )	0–1 ordinary 1–100 special design	10 <sup>-1</sup> –10 <sup>4</sup>
Maximum electric output in the laboratory (W/cm <sup>2</sup> )	30	3600
Maximum efficiency in the laboratory	28 (solar radiation)	36 (laser radiation)

Russian plants facilities possess the technology and production facilities to turn out 10 MW of solar cells and solar modules annually. If several plants were to specialize in the production of solar cells, output could rise to over 200 MW by the year 2000, and to 2,000 MW per annum by the year 2010. For this to become reality, however, the investment for the support of emerging energy technologies, especially for solar silicon production technology, must be forthcoming.

In view of its much greater environmental safety, the enormous amount of renewable solar energy available, and 40 years of experience in the development of photovoltaic technologies, it is becoming more and more obvious that solar photovoltaic stations will play a strategic role in future energy production in the world.

Solar power plants can be used to solve both local and global power production problems. At 12% efficiency, Russia's entire energy needs could be met by solar power plants with an aggregate active area of 4,000 square kilometers (0.024% of the nation's territory).

Solar photovoltaic energy production costs are independent of the size or capacity of the generating unit, so that it is often advisable to build a modular system, placing units on the roofs of rural houses or farm buildings. Owners of solar power units can sell their energy to an electric network during the day and buy energy from a utilities company at night, using a second electric meter. Apart from encouraging small scale independent energy production, this technique has the advantages of saving on support structures and land, and combining the functions of roof and power source.

A modular solar power station with a one million kW capacity provide electricity for 500,000 rural dwellings.

#### PRODUCTION COST AND THE PV MARKET

Photovoltaic market today is about 80 MWp per year, increasing annually at 10–20%.

One of the application where PV electricity may already be cost competitive is the rural electrification. This application may have a tremendous social value.

On the basis of the analysis of production cost of technologies, market of solar cells and modules nearest (2 USD/Wp) and long-term goal (1 USD/Wp) are formulated on decrease of the production cost of solar modules, lowering the cost of solar electricity per

watt – hour to USD 0.12 (nearest goal) and to USD 0.6 (long-term goal). The solar world market is expected to be 5 GW to 50 GW per year, depending on the cost.

There are no restrictions for utilization of a solar energy in such scales, however it is necessary to solve many scientific, technological and economic problems to reach such of application of solar energy technologies.

In the reduction of the solar electricity cost two main options are competing: semiconductor material and concentration.

#### SEMICONDUCTOR SILICON TECHNOLOGY

Crystalline silicon has acquired a domineering role in the photovoltaic industry.

Considering that one kilogram of silicon in a solar cell will generate at one-sun irradiance 300 MWh of electricity in the course of 30 years, we can easily determine the oil equivalent of this silicon. Directly calculating the 300 MWh of electricity that can be produced by oil with a heating value of 43.7 MJ/kg, we find that 25 tons of oil is equivalent to one kilogram of silicon. Assuming the efficiency of an oil-fired thermal power station to be 33%, one kilogram of silicon in terms of generated electricity is equal is about 75 tons of oil.

For this reason, silicon is frequently referred to as the oil of 21-st century profitable as investment in the oil industry.

The principal limitation for high PV cost reduction is the high cost of the solar grade silicon – 90 to 120 USD/kg. Therefore, development of new technologies of silicon production, providing a radical reduction of its cost, is the problem number one in solar energy technologies.

The situation with solar grade silicon can be compared with the situation with aluminum after its discovery in 1825, when it costed like silver and was used for ornaments. Only after the development of the technology of electrolysis in 1886 aluminum became a cheap and practicable material.

The content of silicon in the earth-crust is 29.5% (8.10<sup>18</sup> t) and exceeds the content of aluminum by 3.35 times. Solar silicon with a purity of 99.99% costs like uranium for nuclear power plants, though the content of silicon in the earth-crust exceeds the content of uranium by 100,000 times.

The world trustworthy reserves of uranium are estimated as 2,763,000 t. The uranium fuel cycle, including the production of uranium hexafluoride, is considerably more complicated and dangerous as compared with the chloro-silane method of production of solar silicon. Taking into account the scattering and low content of uranium in the Earth – crust as compared with silicon, it is difficult to understand, why uranium fuel for nuclear reactors and silicon for solar power plants have the same cost. There are several reasons explaining such a situation. Billion sums are invested in the development of the technology and production of uranium, they were allocated mainly to military programs, and the outputs of uranium exceed to outputs of solar silicon by six times.

The chloro-silane technology of production of solar silicon developed about 40 years ago practically has not changed up to nowadays, preserving all the negative features of chemical technologies of the fifties: a high energy consumption a low yield of silicon, an ecological danger.

The conventional technology of semiconductor silicon production includes the transferring of metallurgical silicon into volatile compounds (usually chlorosilanes); the purification of chlorosilanes by rectification; the hydrogen reduction of purified compounds into silicon and the ingots growth. This scheme is similar for electronic quality and solar grade silicon, so the conventional technology of solar grade silicon uses the same processes as electronic quality silicon.

The principal material for production of silicon-silica in the form of quartzite or quartz sand makes up 12% of the lithosphere mass. Russian quartzite are among the purest in the world; their available deposits are sufficient for solar photovoltaic plants with a capacity of over 1,000 GW.

A high binding energy of Si-0-464 kJ/mole causes high expenditures of energy on the reducing reaction of silicon and its subsequent purification by chemical methods – 250 kWh/kg, and the silicon yield is 6 to 10%.

The specified goals PV module cost reduction can be realized at the cost of the crystalline silicon wafer 0.8–1 USD on peak watt (nearest goal) and 0.3–0.25 USD on peak watt (long-term goal) and the cost of polycrystalline solar grade silicon 25 USD/kg (nearest goal) and 10 USD/kg (long-term goal).

Since 1970 investigations were carried out in Russia, Germany, Japan, Norway and USA in creation of new technologies of production of silicon excluding the chloro-silane cycle.

Now three new chlorless technologies of solar grade silicon are ready for final development and commercialization.

#### **New technology for the production of solar grade silicon using high purity Russian quartz**

The proposed method of solar silicon production is based on the direct carbothermic reduction of high pure natural raw materials with employing specially de-

signed processing of raw material and equipment ensuring sufficient purity of the resulting product.

There are some rich deposits of the high pure quartz and graphite (a content of boron and phosphorous, for example, less than 0.1–1 ppm) in Russia. The analysis show that these materials can be used without additional chemical purification.

The solar silicon production is proposed to realize in new arc furnace by carbothermic reduction of natural high purity quartz. As a reduction material it is supposed to use: natural graphite or soot carbon (variant 1) or natural gas (variant 2). The closed reaction chamber ensures the high ecological parameters of the process and decreases the electrical energy consumption in 10 times per solar silicon mass unit. The lowering of labor-intensity and increasing the silicon output up to 80% will allow to decrease the solar silicon cost to 25 USD/kg.

The equipment was developed and the samples of solar grade silicon are manufactured which confirmed the correctness of the proposed technology.

The products and co-products available:

- 99.999% purity raw solar grade silicon for ingots growth;
- 0.2–0.4 Om.cm p-type polycrystalline solar grade silicon ingots;
- crushed high purity silicon dioxide for optical devices (optical fibers, optical glass) manufacturing;
- soot carbon with the 99.99% purity in powder or in grains for the needs of polygraphic, paint, electrochemistry and rubber industries.

The main advantages of this technology are:

- the low cost of solar silicon (2–3 times less than produced by conventional method);
- the reducing of energy consumption for solar silicon production (in several times);
- the use of patent-clear technologies;
- the ecological safety of technological process.

#### **Chlorless technology of high purity silicon feedstock**

The technical silicon of 96–98% purity will be used as starting material. The synthesis of silicon feedstock have to proceed in accordance with following scheme:

- a) purification of crushed (up to the particles of 20–60  $\mu\text{m}$  in size) metallurgical silicon with using of alkaline solution;
- b) preparation of the homogeneous mixture of silicon powder with a catalyst;
- c) alcosilicification of silicon by alcohol and picking of triethyl silane from the reaction mass;
- d) producing of monosilane by using of catalytic disproportionation of a triethyl silane;
- e) adsorption purification of monosilane with using of the hard sorbents;
- f) producing of raw silicon by pyrolysis of monosilane.

Each item will be tested in the terms of experimental production. Process (d) has a exceptional selectivity to

synthesis of monosilane and prevents the formation of the volatile compounds with the bad impurities in silicon. This situation makes easier the purification of the monosilane.

Process (a) connected with using of closed cycle of treatment with regeneration of the applied acids. All technologies are used the available large scale producing raw materials: metallurgical silicon and absolute alcohol.

#### Advantages:

The specific feature of the offered technologies is an using of the cheap initial materials, excluding of unhealthy chloride substances and producing of the non-expensive high quality raw silicon. The problem of a deficit of silicon will be solved possibility of foundation of a large scale production will be opened. The dependence of PV industry from production and use of an electronic grade silicon can be lowered.

#### Solar grade silicon technology, based on rice husk treatment

The rice husk is used as a initial raw material. In this case the process of producing of a raw silicon concludes the following basic stages:

- a) chemical treatment of the rice husk for separating of the organic impurities and producing of the food and medicine preparates (for example vanillin, csilit etc.);
- b) fast hydrolysis of the rice husk in a controlled ambient for producing of a mixture of amorphous  $\text{SiO}_2$  and carbon;
- c) preparation of a monocharge (granulation);
- d) carbothermal reducing of silicon in the arc discharge furnace.

The following problems will be solved:

- a) using of the rice wastes;
- b) pollution of the unhealthy substances during the non-chloride synthesis of monosilane can be reduced in many times in comparison with the standard chloride technology.

The annual world volume of production of the useless rice husk is the tens of million tons. So this product is an unlimited raw source for production of SGRS.

Plasma technologies are also offered for manufacturing raw silicon of solar purity at one tenth of the power consumption in the chlorosilane technology.

#### Crystalline silicon thin films and ribbons

In laboratory and under experimental-commercial conditions samples of solar cells were obtained from polycrystalline silicon-bearing ceramics and graphite fiber, and profiled ribbons of silicon drawn through dies of various shapes including thin-wall tubes and polyhedrons.

The efficiency of solar cells made from silicon ribbon reached 10–12%. The technology for creating films

and ribbons from polycrystalline silicon has been developed since 1967; however, these materials are not yet ready for commercial use.

In the future, the technologies for making ribbons, thin films, and spheres from polycrystalline silicon may be greatly developed and will be competitive to technologies for creating silicon ingots because methods of cutting ingots into blocks mechanically are entailed with losses of silicon and require a great amount of labor and power.

#### SOLAR CONCENTRATOR TECHNOLOGY

The total value of the traditional PV solar plants including the cost of installations, charge controller, inverter and chemical batteries is 10–15 USD/W.

A real way to lower the cost of solar power plants with high cost of solar cells is to use the solar concentration technology. It makes possible to increase the power output of one solar cell and to decrease the total cost of solar cells per watt. But the attempts to design the solar modules with concentrators, which were undertaken by different firms in reality could not go farther than experimental units. In the first place it is explained by the unsuccessful design of modules in the whole, where the concentrator (Fresnel lenses or paraboloid concentrators) have to be at a large distance (i.e. at distance of the optical focus) from the solar cell, this increases the dimension and material expenses. The solar cell must have an active or passive cooling system, that makes the module more expensive. More over these modules require precision systems for orientation on the Sun with the accuracy of about 5–20 angular minutes.

New types of solar concentrators were developed on the basis of technologies used in holography, and also prismatic and compound concentrators.

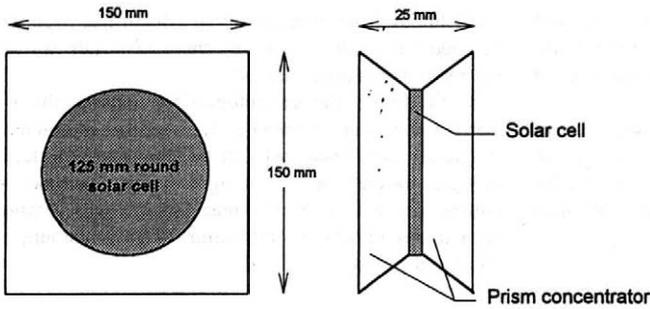
The following new optical schemes for solar stations using concentrators were proposed: a terrestrial station working together with a space-based heliostat, focusing heliostats combined with secondary concentrators, and stationary concentrators with follow-up receivers.

The new solar concentrator module uses the principle of operation of prism (Fig. 2; Bezrukih et al., 1997).

Another type of the module is devised as empty body with transparent front surface, filled by special liquid for passive solar cell cooling.

The advantage of the module are:

- real compactness;
- reliable protection of solar cell;
- the absence of special solar cell cooling system (the cells are cooled by the liquid which fills the empty concentrator and also used as light-guide material);
- the high concentration ratio (is up to 10) with the low orientation accuracy  $\pm 1$  degree;
- simplicity of manufacturing, assembling and installation.



Solar concentration system with new type „Sliding Beam“ concentrator is proposed by Dr. E. Tverjanovich. Solar power plant of enclosed type (ET) looks like a greenhouse. It has transparent roof, optical systems, tracking systems and support frames situated inside. Plant consists of identical modules, which can be delivered as units ready for use. In modules the tracking system is operated by a common hydraulic system. Cleanliness inside solar power plant is kept by cleaning inner air and creating a small positive pressure inside. Concentration ratio on receiver can reach 20–2,000. Taking into account the fact that all plant's mechanisms are protected from atmosphere the lifetime of plant can be 40–50 years.

Radiation injection device is developed in several modifications, for example based on Fresnel lenses. Concentric Fresnel lens, which turn around their focuses, have installed optical devices converting incoming radiation to the sliding beam. All incoming radiation is focusing on receiver or on the secondary concentrator.

We can note that ET plant will be more effective when it is necessary to transfer heat over a long distance. Then heat transfer efficiency will be more higher than in conventional solar plant and total efficiency will increase. As a receiver steam turbine, Stirling engine and PV array may be used.

The solar power station is proposed to fulfill in a modular performance. The electric rating of energy module is about 50 kW. The power station may consist of 1–10 such solar modules.

## CONCLUSIONS

1. Physical principles for the conversion of solar radiation were worked out and used in developing theoretical models and new designs for following types of solar cells: cells based on heterostructures; cells of varizone structure having an ultimate efficiency of 93%; cells of a  $n^-p-p^-$  structure from silicon having a theoretical efficiency of 44%; and multijunction high-voltage solar cells. The technology of bifacial low

concentration 100–125 mm round solar cells with efficiency of 12–13% for operating surface and 10–11% for real surface at solar irradiance  $1000 \text{ W/m}^2$ , AM 1.5 and temperature  $25^\circ \text{C}$  was developed.

2. A maximal efficiency of 30% was measured in cascade solar cells based on heterostructures that were developed at the St. Petersburg Physicotechnical Institute. In an experiment that involved the conversion concentrated radiation, the ultimate electrical capacity of the high-voltage multijunction solar cell was  $3.6 \text{ W/cm}^2$ , the voltage density was  $100 \text{ V/cm}^2$ , the maximal voltage of solar battery was 32 kV.

3. The problem of silicon shortage for large scale PV production can be solved if new chlorless technologies for low cost solar grade silicon manufacture would be commercialized.

4. Modified prism concentrating modules, using diffuse and direct radiation were designed with ratio concentration 1.8 for each surface of round bifacial solar cell. The square shape of concentrator improves the packaging factor of solar PV array, comparing with the round solar cell array. New classes of holographic, prismatic and parabolic concentrators were developed and optical schemes were designed for following systems: solar station with a space-based heliostat, focusing heliostats and stationary concentrators; solar station of the light-guide type with a sliding beam; and others. Constructing such station as a result of concerted international efforts will substantially reduce the cost of electricity and the energy pay back time.

5. On the basis of an analysis of existing technologies, production costs and the market for solar modules, the industry set the short-term (USD 2 per Watt) and long-term (USD 1 per Watt) targets for cutting down the production costs for solar modules made of silicon. To meet these objectives, the industry must seek new ways and directions in technology, and use new principles and environment friendly methods and designs for installations; this will serve to cut the cost of production and distribution of electricity and increase the efficiency of solar modules to 20%; it also will exclude emissions of harmful substances in the production of silicon and cut the cost of silicon.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author is pleased to acknowledge the contribution of Dr. V. Zadde, Dr. E. Tverjanovich (Russia) and Prof. A. Luque (Spain).

## REFERENCES

Bezrukih P., Irodionov A., Sokolski A., Strebkov D., Tarasov V. (1997): Solar photovoltaic plant for Valaam island. North

Sun '97, 7th International Conference on Solar Energy at High Latitudes, Espoo-Otaniemi, Finland, 1, 209-214.

Lidorenko N., Evdokimov V. (1994): Thermodynamic basis of solar energy conversion in photovoltaic systems. Solar Engng, (1), 3-10.

Strebkov D. (1994): Developing of solar energy in Russia. Therm. Engng, 41 (2), 128-135.

Strebkov D., Koshkin N. (1996): On development of photovoltaic power engineering in Russia. Therm. Engng, 43 (5), 381-384.

Received on October 23, 1998

---

### Contact Address:

Prof. D. S. S t r e b k o v, All-Russian Research Institute for Electrification of Agriculture, 1-st Vesnyakovsky proezd, 2, Moscow, 109456, Russia, phone: +7 95 171 19 20, fax: +7 95 170 51 01, e-mail: energy@viesh.msk.su

---

## INSTITUTE OF AGRICULTURAL AND FOOD INFORMATION

Slezská 7, 120 56 Prague 2, Czech Republic

Tel.: + 420 2 24 25 79 39, Fax: + 420 2 24 25 39 38, e-mail: redakce@uzpi.cz

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 abstracts in English or in English with abstracts in Czech or Slovak.

Journal	Number of issues per year	Yearly subscription in USD	
		Europe	overseas
Rostlinná výroba (Plant Production)	12	195,-	214,-
Czech Journal of Animal Science (Živočišná výroba)	12	195,-	214,-
Zemědělská ekonomika (Agricultural Economics)	12	195,-	214,-
Journal of Forest Science	12	195,-	214,-
Veterinární medicína (Veterinary Medicine – Czech)	12	159,-	167,-
Czech Journal of Food Sciences (Potravinařské vědy)	6	92,-	97,-
Plant Protection Science (Ochrana rostlin)	4	62,-	64,-
Czech Journal of Genetics and Plant Breeding (Genetika a šlechtění)	4	62,-	64,-
Zahradnictví (Horticultural Science)	4	62,-	64,-
Research in Agricultural Engineering	4	62,-	64,-

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

## INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Original scientific papers, short communications, and selectivity 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 dvojité 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 zkratky jakéhokoliv druhu, je nutné, aby byly alespoň jednou vysvětleny (vypsány), aby se předešlo omylům. V názvu práce a v souhrnu je vhodné zkratk nepoužívat.

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

**Krátký souhrn (Abstrakt)** je informačním výběrem obsahu a závěru článku, nikoliv však jeho pouhým popisem. Musí vyjádřit všechno podstatné, co je obsaženo ve vědecké práci, a má obsahovat základní číselné údaje včetně statistických hodnot. Musí obsahovat klíčová slova. Nemá překročit rozsah 170 slov. Je třeba, aby byl napsán celými věťami, 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 nedostatcích 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 PŠC, číslo telefonu a faxu, popř. e-mail.

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

## CONTENT

Blahovec J.: Indentor pressure test used for estimation of potato cooking quality without cooking.....	81
Hanousek B.: Theory and measurement of the origin of potato tuber damage due to the haulm conveyor	86
Brozman D., Ileleji K. E.: Transient heat transfer simulation of long term hermetic storage event .....	93
Šesták J., Gaduš J., Rédl J., Beller R.: Kinematic and force analysis of a grass swath conditioner project.....	98
Kunc P., Knížková I., Koubková M., Flusser J., Doležal O.: Comparison of rubber liners by means of temperature states of teats .....	104
Hrubec J., Švec O.: Valuation of production process capability .....	108
Bartoň S., Křivánek I.: Pattern of growth and its modelling by two exponential functions, Maple solution .....	112

### INFORMATION

Strebkov D. S.: New cost-competitive solar energy technologies .....	121
--	-----

## OBSAH

Blahovec J.: Vtlačovací test užitý k odhadu varné kvality brambor bez vaření.....	81
Hanousek B.: Teorie a měření vzniku poškození brambor vynášecím dopravníkem natě .....	86
Brozman D., Ileleji K. E.: Simulácia nestacionárneho prenosu tepla pri dlhodobom hermetickom skladovaní.....	93
Šesták J., Gaduš J., Rédl J., Beller R.: Kinematický a silový výpočet projektu kondicionéra trávnych porastov.....	98
Kunc P., Knížková I., Koubková M., Flusser J., Doležal O.: Porovnání strukových návleček na základě teplotních stavů struků.....	104
Hrubec J., Švec O.: Hodnotenie spôsobilosti výrobného procesu .....	108
Bartoň S., Křivánek I.: Růstová křivka modelovaná dvojicí exponenciálních funkcí, řešení v Maple ...	112

### INFORMACE

Strebkov D. S.: Nové technologie využívající sluneční energii s nižšími náklady .....	121
---	-----

---

Vědecký časopis RESEARCH IN AGRICULTURAL ENGINEERING (Zemědělská technika) ● Vydává Česká akademie zemědělských věd – Ústav zemědělských a potravinářských informací ● Redakce: Slezská 7, 120 56 Praha 2, tel.: 02/24 25 51 06, fax: 02/24 25 39 38, e-mail: forest@uzpi.cz ● Sazba a tisk: ÚZPI Praha ● © Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha 2000

Rozšiřuje Ústav zemědělských a potravinářských informací, referát odbytu, Slezská 7, 120 56 Praha 2  
 Podávání novinových zásilek povoleno Českou poštou, s. p., Odštěpný závod Střední Čechy, č. j. NOV 6599/00-P/1 dne 9. 5. 2000