



ÚZPI

ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ

ZEMĚDĚLSKÁ TECHNIKA

Agricultural Engineering

ČESKÁ AKADEMIE ZEMĚDĚLSKÝCH VĚD

1

VOLUME 42 (LXIX)
PRAHA 1996
CS ISSN 0044-3883

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

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

Redakční rada – Editorial Board

Předseda – Chairman

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

Členové – Members

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

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

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

Prof. Ing. Ján Jech, CSc. (Vysoká škola poľnohospodárskych a lesníckych strojov, Nitra, SR)

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

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

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

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

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

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

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

Vedoucí redaktorka – Editor-in-Chief

Ing. Jovanka Václavíčková

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

Periodicita: Časopis vychází čtvrtletně (4x ročně), ročník 42 vychází v roce 1996.

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.: 02/25 75 41–9, fax: 02/25 70 90, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. Den doručení rukopisu do redakce je publikován jako datum přijetí k publikaci.

Informace o předplatném: Objednávky na předplatné jsou přijímány pouze na celý rok (leden–prosinec) a měly by být zaslány na adresu: Ústav zemědělských a potravinářských informací, vydavatelské oddělení, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Cena předplatného pro rok 1996 je 176 Kč.

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

Periodicity: The journal is published quarterly (4 issues per year), Volume 42 appearing in 1996.

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.: 02/25 75 41–9, fax: 02/25 70 90, e-mail: braun@uzpi.agrec.cz. The day the manuscript reaches the editor for the first time is given upon publication as the date of reception.

Subscription information: Subscription orders can be entered only by calendar year (January–December) and should be sent to: Institute of Agricultural and Food Information, Slezská 7, 120 56 Praha 2. Subscription price for 1996 is 44 USD (Europe), 46 USD (overseas).

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

MODELOVÁNÍ LETU ČÁSTIC A OPTIMALIZACE TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ PŘI MECHANIZACI ZEMĚDĚLSTVÍ: SIMULACE LETU

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

Technical University of Rousse, Bulgaria

ABSTRACT: This article presents a mathematical model of a macroparticle's free flight in a moving with constant velocity medium with turbulent resistance taking the Magnus effect into account. This model is convenient for investigating non-conventional problems for modelling and synthesis of path processes of different particles. The capabilities of the model for analysing the influence of wind and of the rotation of a spherical particle upon the flight range are illustrated with numerical examples.

particle's flight; aerodynamic influence; mathematical model

ABSTRAKT: Práce se zabývá matematickým modelem volného letu částic v prostředí a konstantní rychlosti. Vliv aerodynamiky na částice je modelován kvadratickým odporem zákona proměnlivosti a působením boční síly podle Magnusova jevu. Model je vhodný pro výzkum chování částic při některých rozptylových, dopravních a oddělovacích postupech v zemědělství. Těžkosti spojené s dostatečně přesným stanovením koeficientu aerodynamických sil a počáteční rychlost částic znesnadňují matematické vyjádření pokusů. Tyto otázky vyvolávají zájem o optimální syntézu problémů s rozptylovými částicemi. Předkládaná práce objasňuje hlavní možnosti interpretace modelu jako parametricky ovládaného dynamického předmětu, který navozuje optimalizaci problémů se značným praktickým významem. Schopnost modelu analyzovat vliv větru na rozptyl granulovaných minerálních hnojiv a vliv rotace kulových částic na velikost rozptylu po nárazu na nakloněnou rovinu je doložena četnými numerickými příklady.

let částic; vliv aerodynamiky; matematický model

INTRODUCTION

Various technological processes in mechanised agriculture deal with the free flight of particles of different materials. The investigations through natural experiments are quite complicated due to the multifactor dependence as well as the complexity of the paths of particles projected together. Therefore it is very often necessary to acquire additional results through theoretic modelling of the behaviour of a particle separated from the stream at appropriate simulation problems. The reliability of the results thus acquired depends on the accepted model of aerodynamic influence on the particle.

Although the ballistic problem is a classic one it is not very well investigated for the case of a projected body due to lack of universal models of the air medium forces. The majority of the investigations are aimed at constructing adequate models of these forces upon bodies of regular shape (Tsuji et al., 1985; Hofstee,

Huisman, 1990; Hofstee, 1992). The constructed mathematical models are mainly used for predicting the flight range or for analysing the projectile motion at different values of the model parameters (Galili et al., 1982; Hart, Croft, 1988; Kaselovic et al., 1988).

The present work introduces a generalised particle flight model which could be used in some non-traditional ballistic problems with projectiles.

MODEL OF THE ACTING FORCES

For a more generalised investigation let us consider that the projected particle moves parallel to a fixed vertical plane Σ and is acted upon by a homogenous air medium moving with translational motion also parallel to Σ and having definite constant velocity $\vec{W}$.

The particle path depends substantially upon three forces: the resultant $\vec{Q}$ of the weight and the buoyancy

force; the resistance force F_D^* , and the Magnus force F_L^* (Fig.1).

When the densities of the particle and the air medium are close (as is the case with some seeds) the force $\vec{Q}$ is defined from the dependence

$$\vec{Q} = m \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_p} \right) \vec{g} \approx m \vec{g} \quad (1)$$

Otherwise $\vec{Q}$ coincides with particle's weight $m \vec{g}$.

The aerodynamic resistance exerted on the particle at turbulent flow-around is modelled by the law (Hoffste, 1992):

$$F_D^* = -m K_D V_r V_r^2 \quad (2)$$

where K_D is evaluated from the expression

$$K_D = \frac{1}{2m} C_D \rho_a S \quad (3)$$

or from

$$K_D = \frac{q}{V_r^2} \quad (4)$$

Defining K_D from equation (3) is not an easy task, because the coefficient C_D is complexly dependent on Reynolds number $Re = dV_r/\eta$, which describes the flow-around (Massey, 1989). The dependence $C_D(Re) \approx \text{const}$ is approximately true only for a few bodies of regular shape and at a limited interval of variation of Re . In fact the dependence (4) is much more often used after defining experimentally the value of the terminal velocity V_r .

Defining the aerodynamic resistance of particles of arbitrary shape is a very difficult task. It could be satisfactorily solved only through series of special experiments with moving particles. The existing methods for coefficient K_D identification and the problems arising at their utilisation are discussed in the work of Hoffste (1992).

The influence of rotation of a spherical particle upon its path could be modelled with the Magnus force (Tsujii et al., 1985):

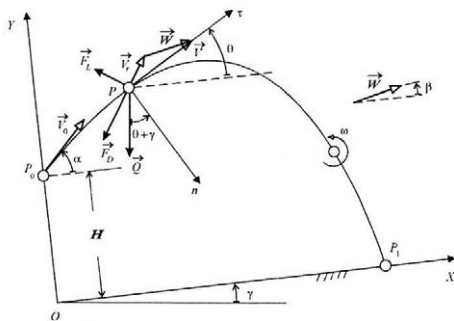
$$F_L^* = -m K_L \left(\vec{V}_r \times \frac{\vec{\omega}}{|\vec{\omega}|} \right) \quad (5)$$

where

$$K_L = \frac{1}{2m} d \rho_a \omega S$$

The Magnus effect is represented by an upward or a downward force, the direction being dependent on the direction of rotation of the particle. The positive direction of ω is shown in Fig. 1 with an arrowhead arc and sign ($K_L \equiv \text{sign}(\omega)$).

The investigations of Tsujii et al. (1985) on experimental identification of K_L for a spherical particle show that its angular velocity varies insignificantly at flow-around for $Re = 500 \div 1600$. Within this interval $K_L \approx \text{const}$ is acceptable during the whole flight of the particle.



1. Ballistic path and forces on a flying and rotating spherical particle in moving air medium at constant velocity

FLIGHT MODEL

Let us assume that the particle centre of mass P moves acted upon by forces (1), (2), (5) in the plane Σ in which we introduce the intrinsic (τPn) and the Cartesian coordinate system (XOY) (Fig. 1).

After projecting Newton's equation $m \vec{a} = \vec{Q} + \vec{F}_D^* + \vec{F}_L^*$ along Pt and Pn axes, and the vector $\vec{V}$ along OX and OY axes we acquire the following system of differential equations:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= -K_D V_r [V - W \cos(\theta - \beta)] - K_L W \sin(\theta - \beta) - \\ &- q \sin(\theta + \gamma), \quad V(0) = V_0, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= -\frac{1}{V} \{ K_D V_r W \sin(\theta - \beta) - \\ &- K_L [V - W \cos(\theta - \beta)] + q \cos(\theta + \gamma) \}, \quad \theta(0) = \alpha, \end{aligned}$$

$$\dot{Y} = V \sin \theta, \quad Y(0) = H, \quad Y(T_1) = 0, \quad \dot{X} = V \cos \theta, \quad X(0) = 0$$

where:

$$V_r = \sqrt{V^2 - 2VW \cos(\theta - \beta) + W^2}; \quad (\cdot) \equiv \frac{d}{dT}; \quad T \in [0, T_1]$$

Using a standard calculating technique (Hairer et al., 1987) the model (6) simulates the path process of a projected particle centre of mass P at different values of the parameters V_0 , α , H , γ , K_D , K_L , W , β .

PARAMETRIC CONTROL INTERPRETATION OF THE MODEL

The angle α could be interpreted as a control parameter η of the dynamic object (6). Formally, the same interpretation could be laid upon another parameter of the model, such as the coefficients K_D or K_L . At this interpretation for each value of η there corresponds a certain path process of the dynamic system (6) which could be estimated by a quality criterion J .

The control parameter η should be defined from the condition of optimising the criterion J upon the set of

path processes of the model (6). Through the thus emerged optimal one-parametric control problem some path processes of optimal by the J criterion properties can be synthesised (Vincent, Grantham, 1981). In spite of its evident practical significance this problem has not been yet sufficiently investigated. Some probable reasons for this could be its difficult calculating compared to the problem of path processes analysis and the necessity of special calculating technique utilisation for its solving.

NUMERICAL EXAMPLES

The capabilities of the model (6) for simulating a projected particle behaviour will be shown through a couple of typical examples. All numeric experiments have been carried out with the PHASER animator/simulator software (K o ç a k, 1989).

Fig. 2(a) illustrates the results acquired by Hofstee and Huisman (1990) for some fixed values of K_D coefficient at modelling the spreading of mineral fertiliser spherical particles. In this example $V_0 = 24$ m/s, $\alpha = 0$, $H = 0.75$ m, $K_L = 0$, $\gamma = 0$, $W = 0$, $q \equiv g$.

The paths in Fig. 2(b) are defined with the same data but taking into account a tail wind ($\beta = 0$) of constant velocity $W = 3$ m/s. The results shown in Fig. 2(c) correspond to the case of a contrary wind ($\beta = \pi$).

Comparing the paths from these three cases we can draw the conclusion that the maximum flight range differs slightly while the distributed particles strip width is significantly dependent on the wind direction.

Fig. 3(a) shows the defined paths through the model (6) of a spherical particle after striking an inclined

plane. Different aerodynamic forces have been considered. The numerical experiment has been based on the following data as reported by Tsuji et al. (1985): $V_0 = 2.106$ m/s; $\alpha = 0.472$ rad; $H = 0$; $\gamma = -\pi/3$ rad; $K_D = 0.0776$ m⁻¹; $K_L = -0.0467$ s⁻¹; $d = 0.005$ m (diameter of the sphere); $\rho_p = 1040$ kg/m³; $Re = 747 + 1640$; $W = 0$; $q \equiv g$.

Fig. 3(b) shows that for the investigated case the downward action of the Magnus force and the influence of the resistant force affect the path in a similar way. The acquired results correspond to the experimental data for the flight range defined by Tsuji et al. (1985).

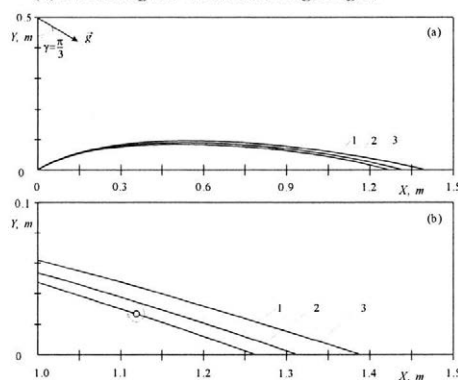
DISCUSSION

The model (6) considers the basic forces (1), (2) and (5) which affect significantly the free flight of particles of different form and density in a moving medium. Its generalised nature makes it suitable for investigating some spreading, transportation and separation technological processes in agricultural machines.

The numerical experiments with the proposed model provide the information necessary to estimate the influence of parameters variation on the path process. When carried out these experiments cause two major difficulties. The first one is identifying the coefficients K_D and K_L which needs data from special nature experiments (Hofstee, 1992). The other difficulty is to identify the vector $\vec{V}_0$ with sufficient precision.

Interpreting the model (6) as a controlled dynamic object provides, through identical optimisation approach, solutions to the following interesting problems of parametric optimisation and path processes identification with projected particles:

- (1) identifying the coefficient K_D for particles of arbitrary shape with the help of minimum experimental data;
- (2) modelling the maximum range flight;



2. Influence of aerodynamic resistance coefficient (K_D) and wind velocity ($\vec{W}$) on the particle path (1 - $K_D = 0.250$; 2 - $K_D = 0.150$; 3 - $K_D = 0.100$; 4 - $K_D = 0.075$; 5 - $K_D = 0.050$; 6 - $K_D = 0.025$)

3. Influence of aerodynamic resistance and Magnus effect on the particle path (1 - $K_D \neq 0$; $K_L = 0$; 2 - $K_L \neq 0$, $K_D = 0$; 3 - $K_D \neq 0$; $K_L = 0$ (ideal motion))

- (3) synthesis of robust (slightly sensitive to parameters variations) path processes.

These problems will be discussed at later stages of the work.

NOTATION

C_D	– drag coefficient (–)
α	– projection angle (rad)
θ	– angular co-ordinate (rad)
γ	– ground incline angle (rad)
β	– air flow incline angle (rad)
d	– characteristic particle dimension (m)
H	– initial height (m)
K_D	– coefficient at the drag force (m^{-1})
K_L	– coefficient at the Magnus force (s^{-1})
T	– time (s)
ω	– angular velocity (rad/s)
V_t, V_r, V, V_0	– terminal, relative, absolute and initial absolute velocities of the particle (m/s)
W	– air medium velocity (m/s)
S	– frontal area (m^2)
η	– air kinematic viscosity (m^2/s)
g	– gravitational acceleration (m/s^2)
m	– particle mass (kg)
ρ_a	– air density (kg/m^3)
ρ_p	– particle density (kg/m^3)

REFERENCES

- GALILI, N. – STEINGAUZ, G.: Wide-swath vertical spreader for granular material. Transactions of the ASAE, 25, 1982 (5): 1195–1203.
- HAIRER, E. – NØRSETT, S. P. – WANNER, G.: Solving ordinary differential equations. I: Nonstiff problems. Berlin, Springer 1987. 480 pp.
- HART, D. – CROFT, T.: Modelling with projectiles. Horwood, Chichester 1988. 152 pp.
- HOFSTEE, J. W.: Handling and spreading of fertilisers. Part 2: Physical properties of fertiliser, measuring methods and data. J. Agric. Engng Res., 53, 1992 (2): 141–162.
- HOFSTEE, J. W. – HUISMAN, W.: Handling and spreading of fertilisers. Part 1: Physical properties of fertiliser in relation to particle motion. J. Agric. Engng Res., 47, 1990 (4): 213–234.
- KASTELOVIČ, E. – SLOBODA, A. – VESELOVSKÁ, E.: An analysis of the particle path during manure application. Zeměd. Techn., 34, 1988 (5): 263–270 (in Czech).
- KOČAK, H.: Differential and difference equations through computer experiments. New York, Springer 1989. 224 pp.
- MASSEY, B. S.: Mechanics of fluids. London, Chapman and Hall 1989. 599 pp.
- TSUJI, Y. – MORIKAWA, Y. – MIZUNO, O.: Experimental measurement of the Magnus force on a rotating sphere at low Reynolds numbers. J. Fluids. Engng, 107, 1985 (4): 484–488.
- VINCENT, T. L. – GRANTHAM, W. J.: Optimality in parametric systems. New York, Wiley 1981. 243 pp.

Received on February 27, 1995

Contact Address:

Asst. Prof. Venko G. Vitliemov, Department of Mechanics 420A, Technical University of Rousse, BG-7017 Rousse, Bulgaria, Tel.: (359 82) 44 50 75 72, Fax: (359 82) 45 51 45, E-mail: mechanic@tu-rousse.bg

TŘÍDĚNÍ SMĚSI VE VZDUCHOVÉM PROUDU

SORTING OF THE MIXTURE OF AIR FLOW

J. Roh

Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Praha, Czech Republic

ABSTRACT: The paper presents a difference between action of forces on particles in vertical, horizontal, eventually oblique air flow. There are two globular particles of the same size but of different density. Force action on particles which are in air flow at rest or moving (Figs. 3, 5–9) is presented for individual cases. The velocity of particles was calculated at different velocity of air flow and the dependence of air consumption of light particles in air flow was confirmed. The calculation of performance of air flow and power exerted on transport of 1 kg of light particles (Tab. I). The attention has been devoted to the velocity of particles in vertical air flow and its connections to the air consumption and with demanded power (Tab. II). A greater attention has been paid to throwing of the mixture into air flow from a certain distance needed for significant braking of particles of smaller density. This solution results in greater distance between separating particles.

sorting; purification; air flow; particles in air flow

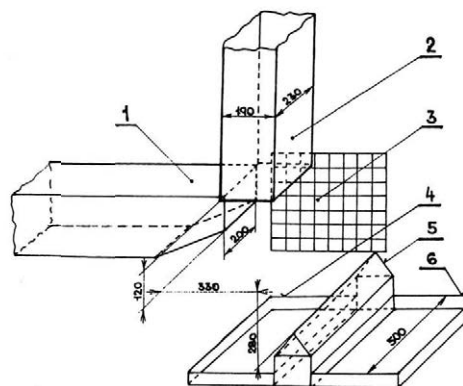
ABSTRAKT: V článku se názorně vysvětluje rozdíl v působení sil na částice ve vodorovném i svislém a popřípadě šikmém vzduchovém proudu. Jsou zvoleny dvě kulové částice o stejné velikosti, ale o rozdílné hustotě. V jednotlivých případech je znázorněno silové působení na částice, které jsou ve vzduchovém proudu v klidu nebo v pohybu (obr. 3, 5–9). Je vypočítána rychlost částic při různé rychlosti vzduchového proudu a také je prokázána závislost spotřeby vzduchu na rychlosti lehkých částic ve vzduchovém proudu. S tím souvisí i výpočet výkonnosti vzduchového proudu a příkonu na dopravu jednoho kilogramu lehkých částic (tab. I). Pozornost je věnována rychlosti částic ve vodorovném vzduchovém proudu a její souvislosti se spotřebou vzduchu a s požadovaným příkonem (tab. II). U vodorovného vzduchového proudu je zvýšená pozornost věnována vrhání směsi do vzduchového proudu z určité vzdálenosti nutné pro významné přibrzdění částic o menší hustotě. Tímto řešením se dosahuje větší vzdálenosti mezi oddělovanými částicemi.

třídění; čištění; vzduchový proud; částice ve vzduchovém proudu

ÚVOD

Čištění a třídění jsou operace naprosto nezbytné v zemědělské výrobě. Čistí se a třídí zrniny, chmel, zelenina aj. ihned po sklizni, nebo po vysušení. Čištění je chápáno jako oddělování příměsí od základního produktu, třídění znamená vytvoření určitých frakcí základního produktu podle požadavku spotřebitele. Obě zmíněné operace často probíhají současně ve stejném stroji. Nejčastěji se využívá dvou vlastností směsi, tj. hustoty, včetně aerodynamických vlastností pro třídění ve vzduchovém proudu, a rozměrů pro třídění na sítích a trierech.

Na katedře zemědělských strojů Technické fakulty České zemědělské univerzity Praha jsme se po několik let zabývali čištěním chmelových hlávek od ostatních příměsí. Pokoušeli jsme se přidat k současně používaným způsobům čištění chmelle něco, co se jinde již používá bez zvláštního popisu a zdůvodnění. Jde o volný pád, nebo vrhání směsi do vodorovného, popřípadě šikmého vzduchového proudu, což se úspěšně používá u sklízecích mlátiček při spadu směsi ze stupňovité dopravní desky na úhrabečné síto. U sklízecí mlátičky La-



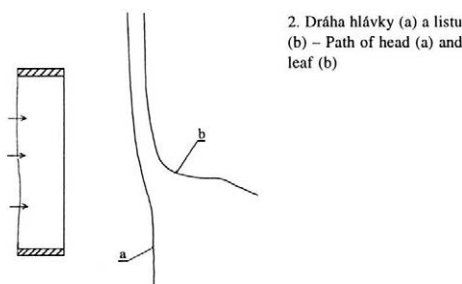
1. Měřicí zařízení – Measuring equipment

1 – kanál pro přívod vzduchu – channel for air supply, 2 – kanál pro přívod tříděného materiálu – channel for supply of sorted material, 3 – čtverečková deska – squared plate, 4 – nádoba na hlávky – vessel for heads, 5 – dělicí stříška – separating shelter, 6 – nádoba na listy – vessel for leaves

verda MX 240 je směs vrhána do šikmého vzduchového proudu. Vysvětlení silového působení na částice pouze v tomto případě by však nedalo ucelený přehled, o jaký se pokouší předložený článek.

MATERIÁL A METODA

Měřicí zařízení (obr. 1) se skládalo z horizontálního vzduchového kanálu (1), svislého kanálu (2) pro přívod tříděného materiálu, čtverečkové desky (3) o velikosti čtverečků 2 x 2 cm. Materiál rozdělený stříškou (5) padal do nádob (4 a 6). Videokamerou byla zaznamenána dráha letu jednotlivých částic. Dráhy hlávek (a) a listů (b) při rychlosti vzduchu 7 m.s^{-1} jsou zaznamenány na obr. 2.



2. Dráha hlávky (a) a listu (b) – Path of head (a) and leaf (b)

VÝSLEDKY

Síla vzduchového proudu působící na částici se vypočítá z Newtonova vztahu:

$$F_p = k_1 \cdot \rho_v \cdot S \cdot \frac{v^2}{2}$$

Prakticky se v této rovnici uvádí poloviční hodnota součinitele (k_1) a od rychlosti vzduchového proudu se odečítá rychlost částice ve směru vzduchového proudu:

$$F_p = k \cdot \rho_v \cdot S \cdot (v_v - v_c)^2 \quad (1)$$

kde: k – bezrozměrný součinitel odporu částice

ρ_v – hustota vzduchu (kg.m^{-3})

S – plocha průmětu částice do roviny kolmé na směr proudění vzduchu (m^2)

v_v – rychlost vzduchu (m.s^{-1})

v_c – rychlost částice ve směru proudění vzduchu (m.s^{-1})

Vzduchový proud může být podle směru: 1. svislý vzhůru, 2. vodorovný, 3. šikmý.

Částice může být ve vzduchovém proudu: 1. v klidu, 2. v pohybu.

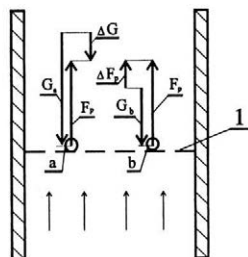
Porovnejme síly působící na dvojici zvolených částic stejně velkých a stejných aerodynamických vlastností (kuličky), přičemž hustota částice (a) je dvakrát větší než hustota částice (b).

1. SVISLÝ VZDUCHOVÝ PROUD A OBĚ ČÁSTICE JSOU V KLIDU, NAPŘ. NA SÍTĚ (obr. 3)

Z obrázku je zřejmé, že síla vzduchového proudu (F_p) nepřekoná tíhu částice (a) o část $\Delta G = 1/3 F_p$. Naproti tomu síla (F_p) je o $\Delta F_p = 1/3 F_p$ větší než tíha (G_b) částice (b). Prakticky zůstane částice (a) ležet na síti, kdežto částice (b) se bude pohybovat vzhůru silou:

$$\Delta F_p = m \cdot a \quad (2)$$

Ze zrychlení lze sice vypočítat rychlost částice na určité dráze nebo v určitém čase, ale nelze opomenout, že tažná síla (ΔF_p) postupně klesne na nulu.



3. Svislý vzduchový proud a obě částice jsou v klidu – Vertical air flow and both particles are at rest

a – částice o větší hustotě – particle of greater density, b – částice o menší hustotě – particle of smaller density, G_a , G_b – tíhy částic v měřítce – weights of particles on a scale, F_p – síla vzduchového proudu – force of air flow, 1 sítko – sieve

V rovnici (1) zůstávají některé hodnoty konstantní: $K = k \cdot \rho_v \cdot S$, proto lze napsat:

$$K = \frac{F_p}{(v_v - v_c)^2} \quad (3)$$

Rychlost částice lze vypočítat:

$$(v_v - v_c)^2 = \frac{F_p}{K} \quad (4)$$

Pro názornost uvedme orientační výpočet s hodnotami uvedenými na obr. 3: $G_a = 0,04 \text{ N}$, $G_b = 0,02 \text{ N}$, $F_p = 0,03 \text{ N}$, $\Delta F_p = -\Delta G = 0,01 \text{ N}$, $v_v = 7 \text{ m.s}^{-1}$.

Podle rovnice (3):

$$K = \frac{0,03}{(7 - 0)^2} = 0,000612$$

Maximální a ustálená rychlost částice (b) nastane při zanedbání jejího tření o stěny kanálu a víření vzduchu při síle $F_p = -G_b$, tj. $F_{pb} = 0,02 \text{ N}$.

Podle rovnice (4):

$$v_{cb} = 7 - \sqrt{\frac{0,02}{0,000612}} = 1,3 \text{ m.s}^{-1}$$

Vyjme-li se síto, začne částice (a) padat a dosáhne maximální rovnoměrné rychlosti při $F_{pa} = -G_a = 0,04$ N.

$$v_{ca} = 7 - \sqrt{\frac{0,04}{0,000612}} = 7 - 8,08 = -1,08 \text{ m.s}^{-1}$$

Všimněme si blíže částice (b), kterou bude proud vzduchu odnášet vzhůru.

Čas na dosažení maximální rovnoměrné rychlosti se vypočítá:

$$t = \frac{v_x}{a} \quad (5)$$

Při vypočítané tažné síle (ΔF_p) a známé hmotnosti částice (m) lze vypočítat zrychlení:

$$a = \frac{0,5 \cdot \Delta F_p}{m} \quad (6)$$

Sílu (ΔF_p) nutno uvažovat pouze poloviční, protože ze své maximální hodnoty rovnoměrně klesá na nulu.

Maximální rychlost získá částice na dráze:

$$L = 0,5 \cdot a \cdot t^2 \quad (7)$$

V našem případě částice (b) o přibližné hmotnosti $m \approx 0,002$ kg a $\Delta F_p = 0,01$ N má zrychlení:

$$a_b = \frac{0,5 \cdot 0,01}{0,002} = 2,5 \text{ m.s}^{-2}$$

Rovnoměrné rychlosti $v_{cb} = 1,3 \text{ m.s}^{-1}$ dosáhne částice (b) v čase:

$$t_b = \frac{1,3}{2,5} = 0,52 \text{ s}$$

na dráze:

$$L_b = 0,5 \cdot 2,5 \cdot 0,52^2 = 0,39 \text{ m}$$

Pro částici (a) platí:

$$a_a = \frac{0,5 \cdot 0,01}{0,004} = 1,25 \text{ m.s}^{-2}$$

$$t_a = \frac{1,08}{1,25} = 0,864 \text{ s}$$

$$L_a = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 0,864^2 = 0,47 \text{ m}$$

Výkonnost vzduchového proudy

Ze známých konstant (K), vypočítané podle rovnice (3), lze vypočítat průřez a průměr kulové částice vynášené vzhůru:

$$K = k \cdot p_v \cdot S$$

$$S = \frac{K}{k \cdot p_v} = \frac{0,000612}{0,185 \cdot 1,1} = 0,003 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = 6,2 \text{ cm}$$

Jak uvádějí Horák et al. (1954), je pro kouli součinitel $k_1 = 0,37$. S ohledem na rovnici (1) bude: $k = 0,5 \cdot k_1 = 0,5 \cdot 0,37 = 0,185$, $p_v = 1,1 \text{ kg.m}^{-3}$.

Má-li na místo jedné částice přijít částice jiná, musí se první částice (b) zvednout nejméně o svůj průměr (d). Víme-li, že na dráze 39 cm dlouhé dosáhne částice (b) rychlosti $1,3 \text{ m.s}^{-1}$, potom na konci prvních 6,2 cm dráhy bude mít rychlost:

$$v_{6,2} = \frac{1,3}{39} \cdot 6,2 = 0,21 \text{ m.s}^{-1}$$

při střední rychlosti $\frac{0,21}{2} = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$ tato částice urazí dráhu 6,2 cm za čas $t = 0,62$ s,

vteřinová výkonnost bude $\frac{1}{0,62} = 1,61$ částic za sekundu,

při hmotnosti částice 2 g je výkonnost (hmotnost dopravovaných částic): $W = 2 \cdot 1,61 = 3,22 \text{ g.s}^{-1}$,

objem jedné částice $V_c = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = 0,000387 \text{ m}^3$,

objemová průchodnost $Q_c = 1,61 \cdot 0,000387 = 0,000623 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Předpokládáme, že vzduch prochází při rychlosti 7 m.s^{-1} průřezem stejným, jako je průřez kulové částice, tj. $0,003 \text{ m}^2$:

průtok vzduchu: $Q_v = 0,003 \cdot 7 = 0,021 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

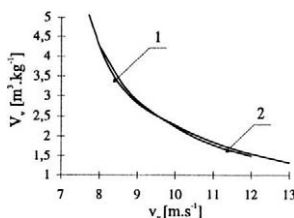
poměr objemu vzduchu k hmotnosti dopravovaných

částic činí: $i = \frac{0,021}{0,00322} = 6,5 \text{ m}^3 \text{ vzduchu na } 1 \text{ kg částic}$

Jeřáb (1983) uvádí, že spotřeba vzduchu na 1 kg směsi žita a plev při obsahu plev 55 % je asi od 1,5 do 5 m^3 na 1 kg směsi (obr. 4). Při přepočtu na vynášené lehké příměsi (plevy) je spotřeba asi dvojnásobná, což odpovídá přibližně našemu předpokladu, že i v nejkritičtější oblasti při rozběhu částic je vzduchový kanál v průřezu zaplněn asi z jedné poloviny.

Z grafu na obr. 4 je zřejmý pokles spotřeby vzduchu při zvýšené rychlosti vzduchu. Lze předpokládat, že tato změna odpovídá změně rychlosti částic ve vzduchovém proudě. Má-li se tato závislost prokázat, není nezbytné znát konkrétní hodnotu (K) pro výpočet rychlosti částice podle rovnice (4).

Lze vyjít z naměřeného bodu, např. $v_v = 8 \text{ m.s}^{-1}$, a vypočítat poměr rychlosti částice mezi touto a jinou



4. Závislost spotřeby vzduchu pro dopravu směsi žita s 55 % plev na rychlosti vzduchu – Dependence of air consumption for transport of rye mixture containing 55% of husks on air velocity

1 – vypočtené hodnoty – calculated values, 2 – naměřené hodnoty – measured values

I. Spotřeba vzduchu na dopravu 1 kg částic při různé rychlosti vzduchu – Air consumption for transport of 1 kg of particles at different air velocity

Rychlost vzduchu ¹ (m.s ⁻¹)	Rychlost částic ² (m.s ⁻¹)	Spotřeba vzduchu ³	
		vypočtená ⁴	naměřená ⁵
		(m ³ .kg ⁻¹)	
7	1,3	7,52	–
8	2,3	4,25	4,25
9	3,3	2,96	2,96
10	4,3	2,27	2,25
11	5,3	1,85	1,80
12	6,3	1,55	1,50
13	7,3	1,32	–

¹velocity of air flow, ²velocity of particles, ³air consumption, ⁴calculated, ⁵measured

zvolenou rychlostí. Při rychlosti vzduchu 8 m.s⁻¹ je rychlost částice 2,3 m.s⁻¹ a spotřeba vzduchu 4,25 m³ na 1 kg. Při rychlosti vzduchu 9 m.s⁻¹ je rychlost částice 3,3 m.s⁻¹. Spotřeba vzduchu (V_v) pak bude:

$$V_{v9} = \frac{v_{c8}}{v_{c9}} \cdot V_{v8} = \frac{2,3}{3,3} \cdot 4,25 = 2,96 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

Hodnoty takto vypočtené a naměřené jsou uvedeny v tab. I. Z grafu na obr. 4 je zřejmé, že vypočtené hodnoty (křivka 1) jsou téměř shodné s hodnotami naměřenými (křivka 2).

Příkon vzduchového proudu bude

$$P = Q \cdot p_c \quad (8)$$

$$p_c = p_{st} + p_d \quad (9)$$

kde: P – výkon (příkon) (kW)
 Q – průtok vzduchu (m.s⁻¹)
 p_c – celkový tlak (MPa)
 p_{st} – statický tlak (MPa)
 p_d – dynamický tlak (MPa)

Statický tlak ovlivňuje délka vedení (l), průměr vedení (d), hustota vzduchu (ρ_v) a místní odpory ve vedení, s nimiž nebudeme počítat. Součinitel tlakových ztrát v průměru vedení (λ) se stoupající rychlostí většinou mírně klesá, což lze v malém rozsahu zanedbat.

$$p_{st} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_v}{2} \cdot v^2 \quad (10)$$

Pro zjištění závislosti na rychlosti proudu vzduchu lze napsat:

$$p_{st} = a \cdot v^2 \quad (11)$$

kde: konstanta $a = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_v}{2}$

Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tab. II a v grafu na obr. 5.

Dynamický tlak v závislosti na rychlosti vzduchu lze vypočítat ze vzorce:

II. Příkon na dopravu 1 kg částic za sekundu při různé rychlosti vzduchového proudu – Power for transport of 1 kg of particles per second at different velocity of air flow

Rychlost vzduchu ¹ v_v	Průtok vzduchu ² Q	Tlak ³		Příkon ⁶ P
		statický ⁴ p_{st}	dynamický ⁵ p_d	
		(Pa)		
(m.s ⁻¹)	(m ³ .s ⁻¹)			(W)
7	7,52	49	28	578
8	4,25	64	37	429
9	2,96	81	47	379
10	2,27	100	58	359
11	1,85	121	70	354
12	1,55	144	84	353
13	1,32	169	98	352

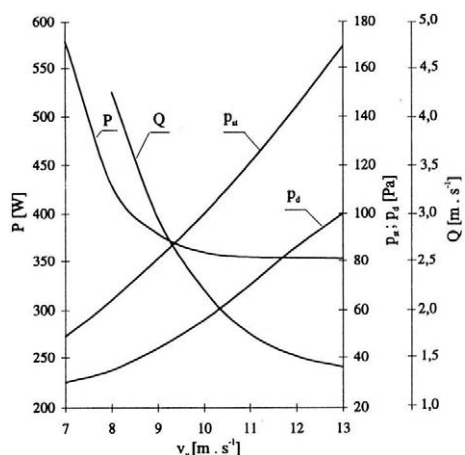
¹velocity of air flow, ²air flow, ³pressure, ⁴statically, ⁵dynamically, ⁶power

$$v_v = \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho_v}} \quad (12)$$

Po vyjádření (p_d) a dosazení hustoty vzduchu:

$$p_d = 0,58 \cdot v^2 \quad (13)$$

Hodnoty dynamického tlaku jsou uvedeny v tab. II a v grafu na obr. 5. Vyjeme-li z konstantní výkonnosti vzduchového proudu 1 kg.s⁻¹, lze uvést i průtok vzduchu včetně celkového příkonu. V důsledku klesajícího průtoku vzduchu je příkon v rozsahu rychlostí 10 až 13 m.s⁻¹ téměř konstantní, tj. 359 až 352 W.



5. Závislost výkonových parametrů svislého vzduchového proudu na jeho rychlosti při konstantním průtoku materiálu – Dependence of power parameters of vertical air flow on its velocity at the constant flow of material

P – výkon – power, Q – průtok – flow rate, p_{st} – statický tlak – static pressure, p_d – dynamický tlak – dynamic pressure, v_v – rychlost vzduchového proudu – rate flow velocity

2. SVISLÝ VZDUCHOVÝ PROUD A ČÁSTICE JSOU VRŽENY SVISLE SMĚREM DOLŮ

Tento způsob zlepšil poměry pro částici (a) (obr. 3), která se snadněji přizpůsobí rychlosti klesání. Pro částici (b) se poměry zhorší, protože se musí nejprve zabrzdit a pak teprve začne stoupat vzhůru. Uveďme pro názornost příklad, kdy částice (b) bude mít počáteční rychlost směrem dolů 2 m.s^{-1} : proud vzduchu bude mít pro částici rychlost $7 + 2 = 9 \text{ m.s}^{-1}$; síla působící na částici podle rovnice (1):

$$F_p = K \cdot v^2 = 0,000612 \cdot 9^2 = 0,0496 \text{ N}$$

zpoždění částice bude působit síla:

$$\Delta F_p = F_p - G_b = 0,0496 - 0,02 = 0,0296 \text{ N}$$

zpoždění:

$$a_b = \frac{0,5 \cdot F_p}{m} = \frac{0,5 \cdot 0,0296}{0,002} = 7,4 \text{ m.s}^{-2}$$

čas:

$$t_b = \frac{v_c}{a_b} = \frac{2}{7,4} = 0,270 \text{ s}$$

dráha:

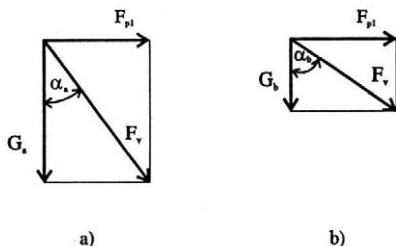
$$L_b = 0,5 \cdot a \cdot t^2 = 0,5 \cdot 7,4 \cdot 0,27^2 = 0,27 \text{ m}$$

Na dráze 27 cm dlouhé se částice pohybuje proti proudu nově přiváděného materiálu. Takový stav by neměl nikdy nastat.

3. VODOROVNÝ NEBO ŠIKMÝ VZDUCHOVÝ PROUD A ČÁSTICE JSOU V KLIDU

Vzduchový proud vodorovný nebo šikmý působí na částici přibližně stejně. Rozdíl je ve směru vektoru výsledné síly, a tím i po uvolnění částice ve směru výsledné rychlosti.

Na obr. 6 jsou znázorněny síly působící na částice se stejnými parametry jako v předchozím případě ve



6. Síly působící na částice zakotvené ve vodorovném vzduchovém proudu – Powers acting on particles anchored in horizontal air flow

a) částice s větší hustotou – particles of greater density, b) částice s menší hustotou – particles of smaller density, G_a, G_b – tíha částice těžší a lehčí – weight of heavier and lighter particles, F_{p1} – síla vzduchového proudu – force of air flow, α_a, α_b – odklon výsledné síly (F_v) od vodorovné – deviation of resulting force (F_v) from perpendicular

svislém vzduchovém proudu. Z obrázku je zřejmé, že úhel (α_b) je větší než úhel (α_a), a proto po uvolnění částice poletí částice (b) dále.

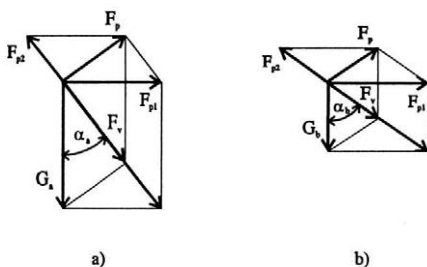
4. VODOROVNÝ NEBO ŠIKMÝ VZDUCHOVÝ PROUD A ČÁSTICE JSOU V POHYBU

Pokud se částice ve vzduchovém proudu pohybuje jinak než ve směru proudnic, působí na ni ještě síla vzduchového proudu proti směru jejího pohybu (F_{p2}) (obr. 7a, b). Tuto sílu lze vypočítat z rychlosti částice ve sledovaném bodě, např. při rychlosti 5 m.s^{-1} má hodnotu:

$$F_{p2} = K \cdot v^2 = 0,000612 \cdot 25 = 0,015 \text{ N}$$

$$G_a = 0,04 \text{ N}; G_b = 0,02 \text{ N}; F_{p1} = 0,03 \text{ N}$$

Vektor rychlosti lze získat vektorovým součtem tíhy částice a síly vzduchového proudu (F_{p1}). Síla (F_{p2}), představující odpor ve směru pohybu částice, neovlivní směr její rychlosti, nýbrž pouze její skutečnou rychlost a další zrychlení.



7. Síly působící na částice pohybující se ve vzduchovém proudu – Forces acting on the particles moving in the air flow

F_{p2} – síla proudu vzduchu proti směru rychlosti částice – force of air flow against direction of particle velocity, F_p – výsledná síla vzduchu – resulting air force, F_v – výsledná síla – resulting force

5. ČÁSTICE VRŽENÉ SVISLE DO VODOROVNÉHO NEBO ŠIKMÉHO VZDUCHOVÉHO PROUDU

Další případ představují částice vržené do vodorovného nebo šikmého vzduchového proudu určitou rychlostí. V našem případě, zvoleném a znázorněném na obr. 8a, b, je těžší částice (a) vržena rychlostí 10 m.s^{-1} a lehčí částice (b), která byla za letu přibrzděna, má rychlost 5 m.s^{-1} . Jsou-li částice vrženy svisle dolů, je třeba k jejich tíze přičíst sílu plynoucí z energie udělené jejich zrychlením.

Impuls se rovná hybnosti:

$$F \cdot t = m \cdot v \quad (14)$$

Pro $t = 1 \text{ s}$ bude:

$$F_a = m_a \cdot v_a = 0,004 \cdot 10 = 0,04 \text{ N}$$

$$F_b = 0,002 \cdot 5 = 0,01 \text{ N}$$

Síla potřebná k překonání odporu ve směru letu částice činí:

$$F_{p2} = K \cdot v^2$$

$$F_{p2a} = 0,000612 \cdot 100 = 0,0612 \text{ N}$$

$$F_{p2b} = 0,000612 \cdot 25 = 0,015 \text{ N}$$

Z obr. 8 je zřejmé, že výsledná síla (F_v) částice (a) je nad očekávání menší než výsledná síla částice (b). Tato situace vznikla tím, že odpor rychle letící částice je podstatně větší než odpor částice (b) letící pomalu.

Vržení směsí do vzduchového proudu má určitou výhodu, což lze prokázat větším rozdílem mezi velikostmi úhlů (α_a) a (α_b). Pokud je částice zavěšená nebo uvolněná (obr. 6 a 7), je úhel α :

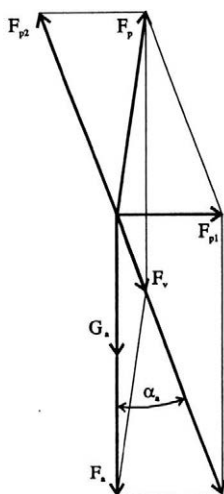
$$\operatorname{tg} \alpha_a = \frac{F_{p1}}{G_a} = \frac{0,03}{0,04} = 0,75 \quad \alpha_a \approx 37^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{F_{p1}}{G_b} = \frac{0,03}{0,02} = 1,5 \quad \alpha_b \approx 56^\circ$$

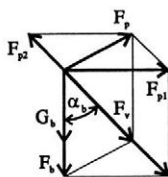
Úhel (α_b) je v našem případě větší, protože (G_a) je větší než (G_b).

Jsou-li částice do vzduchového proudu vrženy rozdílnou rychlostí díky přibrzdění lehčí částice, vzniká mezi úhly (α_a) a (α_b) větší rozdíl, neboť:

$$\operatorname{tg} \alpha_a = \frac{F_{p1}}{G_a + F_a} = \frac{0,03}{0,04 + 0,04} = 0,375 \quad \alpha_a \approx 21^\circ$$



a)



b)

8. Síly působící na částice svisle vržené do vzduchového proudu – Forces acting on the particles vertically thrown into air flow

F_a , F_b – síly plynoucí ze zrychlení částic – forces following from particles acceleration

$$\operatorname{tg} \alpha_b = \frac{F_{p1}}{G_b + F_b} = \frac{0,03}{0,02 + 0,01} = 1,0 \quad \alpha_b \approx 45^\circ$$

Rozdíl je dán tím, že síla (F_b) plynoucí ze zrychlení je menší než síla (F_a) a činí:

pro částice s nulovou počáteční rychlostí:

$$\alpha_b - \alpha_a = 56 - 37 = 19^\circ$$

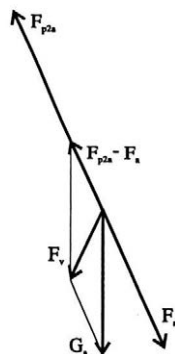
pro částice vržené a vstupující do proudu vzduchu rychlostí 10 m.s^{-1} – částice (a) a rychlostí 5 m.s^{-1} – částice (b)

$$\alpha_b - \alpha_a = 45 - 21 = 24^\circ$$

rozdíl činí: $24 - 19 = 5^\circ$, tj. 26 %.

6. ČÁSTICE PROŠLÉ VODOROVNÝM NEBO ŠIKMÝM VZDUCHOVÝM PROUDEM

Bude-li mít vzduchový proud malou tloušťku, lze předpokládat, že např. částice (a) si zachová rychlost 10 m.s^{-1} , a proto na ni budou působit síly uvedené na obr. 9. Je to tíha (G_a), síla plynoucí ze zrychlení (F_a) a odpor prostředí (F_{p2a}). Výsledná síla (F_v) evidentně směřuje doleva a tak převádí částici na dráhu svislou – jde o volný pád.

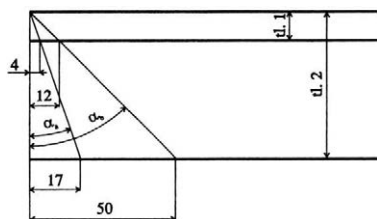


9. Síly působící na částici (a) po opuštění vzduchového proudu – Forces acting on the particle (a) after abandoning the air flow

G_a – tíha částice – weight of particle, F_{p2a} – síla proudu vzduchu proti směru rychlosti částice – force of air flow against direction of particle velocity, F_a – síla plynoucí ze zrychlení částice – force following from particle acceleration, F_v – výsledná síla – resulting force

7. TLOUŠŤKA VZDUCHOVÉHO PROUDU

Tloušťka vzduchového proudu ovlivní dolet částic, jak je naznačeno na obr. 10, za použití hodnot uvedených v obr. 8. Tloušťka vzduchového proudu $tl_1 = 10 \text{ cm}$, $tl_2 = 50 \text{ cm}$. Při malé tloušťce vzduchového proudu vzniká rozdíl mezi doletem částic: $l_1 = 12 - 4 = 8 \text{ cm}$



10. Schéma doletu částic prošlých vzduchovým proudem různé tloušťky – Diagram of particle flight range passing through the air of various thickness

l_1, l_2 – tloušťky vzduchového proudu – thickness of air flow, α_1, α_2 – odklon výsledných sil (F_v) a tím i drah částic od svislice – deviation of resulting forces (F_v) and thus, paths of particles from perpendicular

a při velké tloušťce $l_2 = 50 - 17 = 33$ cm. Toto je však příklad velmi zjednodušený, protože výsledná síla se bude snažit zrychlovat zejména lehčí a pomaleji letící částici. Odchylku způsobí také přímo vzduchový proud, protože zejména ve větší vzdálenosti od přívodního kanálu jsou krajní proudnice značně vychýlené do stran.

DISKUSE

Z předloženého rozboru působení sil a chování částic ve vzduchovém proudu je zřejmé, že při třídění ve svislém vzduchovém proudu je nezbytné dodržet nulovou svislou rychlost směsi při jejím vstupu do svislého vzduchového kanálu. Dále je zřejmé, že změna potřeby vzduchu na 1 kg oddělených lehkých částic odpovídá změně jejich rychlosti ve vzduchovém proudu.

Při vyšší rychlosti proudu vzduchu sice roste statický i dynamický tlak vzduchu, ale současně se zvyšuje rychlost lehkých částic, a tím klesá potřebný průtok vzduchu. Důsledkem je přibližně stejný výkon ventilátoru ve velkém rozsahu rychlostí vzduchu

$$P = Q \cdot p = \text{konst.}$$

kde: P – výkon (kW)
 Q – průtok ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
 p – celkový tlak (MPa)

Do vodorovného nebo šikmého vzduchového proudu je výhodné směřovat např. rotujícím lopatko-

vým bubnem umístěným v určité vzdálenosti od vzduchového proudu. Při letu do vzduchového proudu dojde vlivem odporu prostředí k přibřždění částic s malou hustotou, kdežto částice o velké hustotě odpor prostředí příliš neovlivní. Rozdílná rychlost částic vstupujících do vzduchového proudu se příznivě projeví větší vzdáleností mezi částicemi po jejich průletu vzduchovým proudem.

ZÁVĚR

Protože autor sledoval směs chmelových hlávek a listů vrhaných do vodorovného nebo šikmého vzduchového proudu, bylo nezbytné tento způsob přívodu směsi objasnit a zdůvodnit. Aby byl rozdíl v působení sil na částice a tím i jejich chování názorný, byly v článku popsány a znázorněny situace, které mohou nastat ve svislém i vodorovném, popřípadě šikmém vzduchovém proudu. Pro názornost byly zvoleny dvě částice kulové o stejném poloměru, ale rozdílné tíže: 0,04 N a 0,02 N. Znázorněny jsou síly působící na částice ve svislém vzduchovém proudu, které jsou na počátku v klidu, nebo jsou vrženy svisle směrem dolů. Je vypočítána rychlost částic při různých rychlostech vzduchového proudu. Současně je prokázána závislost spotřeby vzduchu na rychlosti lehkých částic. Také je vypočítán výkon vzduchového proudu a potřebný příkon na dopravu 1 kg lehkých částic při různých rychlostech vzduchu.

U vodorovného a šikmého vzduchového proudu jsou znázorněny a vypočítány situace, při kterých jsou částice v klidu, v pohybu, nebo jsou do vzduchového proudu vrženy různou rychlostí. Také je uveden vliv tloušťky vzduchového proudu na vzdálenost mezi rozdělenými částicemi.

LITERATURA

- HORÁK, Z. – KRUPKA, F. – ŠINDELÁŘ, V.: Základy technické fyziky. Práce, Praha 1954.
 JECH, J.: Stroje pro rostlinnou výrobu III. Bratislava 1983.
 KLENIN, N. A. – SAKUN, V. A.: Seľskohozjajstvennyje i meliorativnyje mašiny. Moskva 1980.
 NEUBAUER, K. a kol.: Stroje pro rostlinnou výrobu. SZN, Praha 1989.

Došlo 19. I. 1995

Kontaktní adresa:

Doc. ing. Jiří Roh, CSc., Česká zemědělská univerzita, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika, tel.: 02/338 31 33, fax: 02/39 37 03

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

Current Contents

na disketách

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

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

Přístup k informacím Current Contents je umožněn dvojím způsobem:

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

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

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

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

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

Ústřední zemědělská a lesnická knihovna
Dr. Bartošová
Slezská 7
120 56 Praha 2
Tel.: 02/25 75 41, l. 520, fax: 02/25 70 90

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

ÚBYTKY TRŽNÍ PRODUKCE CUKROVKY VE VAZBĚ NA POČETNÍ STAVY SKLIZEČŮ

LOSSES OF MARKET PRODUCTION OF SUGAR BEET ON CONNECTION WITH THE NUMBERS OF HARVESTERS

J. Kochan

ABSTRACT: The size of losses of market production of sugar beet during harvest depends, beside direct losses which can be influenced by the machinery and technology applied, in large extent on the moment and the time of harvest. The time of harvest associated with the total area of the harvest is affected particularly by numbers of involved harvesters and the use of their available performance during the whole harvest. The study deals with the problem of quantification of the loss of market production of sugar beet due to indirect, biological losses, bonds to optimal seasonal efficiency and numbers of harvest machines, by using the services and comparison of selected harvesters in view of direct operating expenses of harvest and costs following from losses of market production.

harvest of sugar beet; losses during harvest; time of harvest; optimal seasonal performance; technical preparedness

ABSTRAKT: Velikost úbytku tržní produkce cukrovky při sklizni závisí – vedle přímých ztrát ovlivnitelných především použitou technikou a technologií – výraznou měrou na okamžiku zahájení a na době sklizně. Délka sklizňového období je ve vazbě na celkovou výměru sklizené plodiny ovlivňována zejména početními stavy nasazených sklizečů a využitím jejich disponibilní výkonnosti v průběhu celé sklizně. Předložená práce se proto zabývá problematikou kvantifikace úbytku tržní produkce cukrovky, vlivem nepřímých, biologických ztrát, vazbami na optimální sezónní výkonnost a na početní stavy sklizňové techniky, využitím služeb a porovnáním vybraných sklizečů z hlediska přímých provozních nákladů na sklizeň a nákladů vyplývajících z úbytku tržní produkce.

sklizeň cukrovky; ztráty při sklizni; doba sklizně; optimální sezónní výkonnost; technická pohotovost

ÚVOD

Při sklizni cukrovky sehrávají vedle přímých ztrát výraznou roli ztráty nepřímé, ztráty výnosu biologického charakteru. Průběh těchto ztrát má v závislosti na okamžiku zahájení a době sklizně svůj specifický charakter. S časovým posunem okamžiku zahájení sklizně, tj. s prodlužováním vegetační doby v poslední fázi růstu na podzim, dochází k přírůstku hmotnosti i cukernatosti bŕev. Se snižováním denních teplot a s klesajícím slunečním osvitem se přírůstek snižuje a při denních teplotách v rozmezí +5 až +6 °C se růst zastavuje, což se v našich řepařských oblastech děje přibližně v poslední dekádě října. V první dekádě listopadu pak rychle roste pravděpodobnost ztrát veškeré ještě nesklizené úrody vlivem zhoršujících se sklizňových podmínek klimatického charakteru. Časový předstih okamžiku zahájení sklizně musí být tedy s ohledem na celkovou výměru sklizně korigován tak, aby disponibilní početní stavy sklizňové techniky, jejich inherentní výkonnost a technická pohotovost, zabezpečily sklizeň při minimálních nákladech na jednotku sklizené produkce.

MATERIÁL A METODA

Výchozími podklady pro vyjádření úbytku tržní produkce cukrovky byly údaje o vývoji výnosů a cukernatosti v časovém úseku těsně před sklizní za víceleté období, které pěstitelům zajišťují jednotlivé cukrovary kontrolními odběry (Zahradníček, 1988). Empiricky zjištěnými hodnotami výnosů a cukernatosti byly proloženy regresní závislosti ve funkci času a ohodnoceny nákupní cenou jednotky produkce. Optimální doba sklizně, sezónní výkonnost a početní stavy sklizečů byly stanoveny z podmínky sumy minimálních jednotkových nákladů na provoz sklizňových strojů a ztrát produkce v závislosti na době sklizně (tab. I).

I. Výnos a cukernatost měřené v časové posloupnosti před sklizni (průměrné hodnoty z víceletého sledování) – The yield and sugar content in time sequence before harvest (average values for several years' investigations)

Ukazatel ¹	Jednotka ²	Datum měření ³					
		29. 7.	12. 8.	26. 8.	17. 9.	29. 9.	14. 10.
Výnos ⁴	t.ha ⁻¹	17,31	25,01	35,56	40,10	44,10	45,88
Cukernatost ⁵	%	10,81	11,65	12,52	13,61	14,32	14,83

¹indicator, ²unit, ³date of measurement, ⁴yield, ⁵sugar content

VLASTNÍ PRÁCE

A. ÚBYTKY TRŽNÍ PRODUKCE CUKROVKY V ZÁVISLOSTI NA OKAMŽIKU ZAHÁJENÍ SKLIZNĚ

Průběh vývoje hektarového výnosu a cukernatosti v závislosti na čase byl matematicky popsán regresními funkcemi typu kvadratického trojčlenu (obr. 1). Při počátku 0 zvoleném na den 17. 9. nabývá regresní závislost pro výnos tvaru

$$h_t = 40,1 + 0,35 \cdot t - 4,71 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \quad (\text{t.ha}^{-1}) \quad (1)$$

(Grafem této funkce je parabola se svislou osou $t_1 = -b \cdot (2c)^{-1} = 37$ dnů, kde b a c jsou parametry uvedené funkce; $b = 0,35$; $c = -4,71 \cdot 10^{-3}$.)

Obdobně vývoj cukernatosti v závislosti na čase byl popsán regresní funkcí typu kvadratického trojčlenu; při počátku 0 zvoleném na den 17. 9. nabývají parametry těchto hodnot

$$C_t = 13,51 + 8,54 \cdot 10^{-2} \cdot t - 1,15 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \quad (\%) \quad (2)$$

Pro využití průběhů uvedených závislostí při rozdílných výchozích výnosech a cukernatosti v konkrétních podmínkách jednotlivých pěstitelů byly provedeny dvě matematické operace:

a) počátek obou funkcí (1) a (2) byl transformován do bodu $D_{i_{\max}}$ ($= 37$ dnů), tj. do okamžiku, kdy je v průměru dosahován maximální biologický výnos a kdy se další růst vlivem průměrných denních teplot kolem $+5$ a $+6$ °C zastavuje,

b) byly stanoveny poměrné závislosti, a to jak u ztrát hmotnosti, tak u cukernatosti, které vyjadřují úbytky z jednotkové plochy ve vztahu k maximu z téže plochy v závislosti na čase podle vztahů:

$$\Delta h_t = \frac{h_{\max} - h_t}{h_{\max}} = \frac{Z_p}{h_{\max}} \quad (3)$$

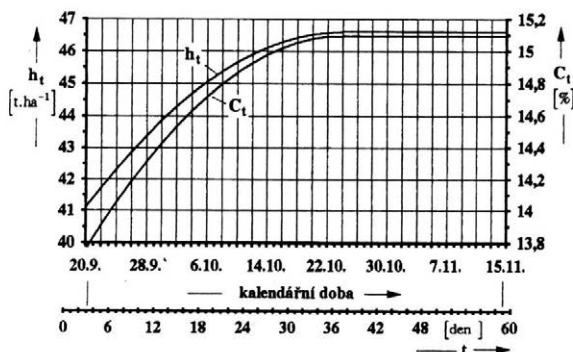
$$\Delta C_t = \frac{C_t}{C_{\max}} \quad (4)$$

Poměrné ztráty hmotnosti a poměrná cukernatost nabývají tak v závislosti na čase tvaru:

$$\Delta h_t = A \cdot t^2 = 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 \quad (5)$$

$$\Delta C_t = 1 - B \cdot t^2 = 1 - 7,62 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 \quad (6)$$

Známe-li průběhy poměrných ztrát výnosu i cukernatosti, lze při známých nákupních podmínkách stanovit okamžité ztráty v peněžním vyjádření na hektar v daném čase sklizně t . Nákupní cenu v současné době tvoří



1. Vývoj výnosu h_t a cukernatosti C_t v období před sklizní v závislosti na kalendářní době a době t (při zvoleném počátku 0 na den 17. 9.) – Development of the yield h_t and sugar content C_t in the time before harvest in dependence on the calendar time and time t (at chosen start 0 per day 17. 9.)

kalendářní doba – calendar time
den – day

základní cena za hmotnostní jednotku při stanovené základní cukrnatosti a příplatek za každé procento (ev. desetinu procenta) cukrnatosti navíc.

Např. cukrovár Modřany stanovil pro rok 1993 tyto nákupní ceny:
 - základní cena (C_z 820 Kč.t⁻¹ při (základní) cukrnatosti (c_i) 16 %,
 - příplatek (c_p) 60 Kč.t⁻¹ za každé procento cukrnatosti navíc (nad c_i).

Okamžité úbytky tržní produkce z hektaru $jZ_{tp}(t)$ v závislosti na okamžiku sklizně lze pak při takto stanovených nákupních podmínkách vyjádřit následující závislostí:

$$jZ_{tp}(t) = h_{pl} \cdot \Delta h_t \cdot C_z + h_{pl} \cdot \Delta h_t \cdot c_p (C_{pl} \cdot \Delta C_t - c_i) = h_{pl} \cdot \Delta h_t [C_z + c_p (C_{pl} \cdot \Delta C_t - c_i)] \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (7)$$

Po dosažení vztahů (5) a (6) do závislosti (7) nabude při nákupních podmínkách stanovených cukrovarem Modřany závislost úbytků tržní produkce ve vazbě na okamžiku sklizně tvaru:

$$jZ_{tp}(t) = h_{pl} \cdot 1,01 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 \left[820 + 60 [C_{pl} (1 - 7,62 \cdot 10^{-5} \cdot t^2) - 16] \right] \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (8)$$

Zahájí-li se sklizeň např. 6. 10. s očekávaným biologickým výnosem $h_{pl} = 50 \text{ t.ha}^{-1}$, cukrnatostí $c_{pl} = 17,2 \%$ a s denní výkonností nasazených sklizňových souprav $W_d = 10 \text{ ha.den}^{-1}$, lze úbytek tržní produkce v prvním dnu sklizně očekávat ve výši:

$$Z_{tp,1} = jZ_{tp}(t=18) \cdot W_d = 14\,178,0 \text{ Kč}$$

Úbytek tržní produkce ve druhém dnu sklizně bude činit:

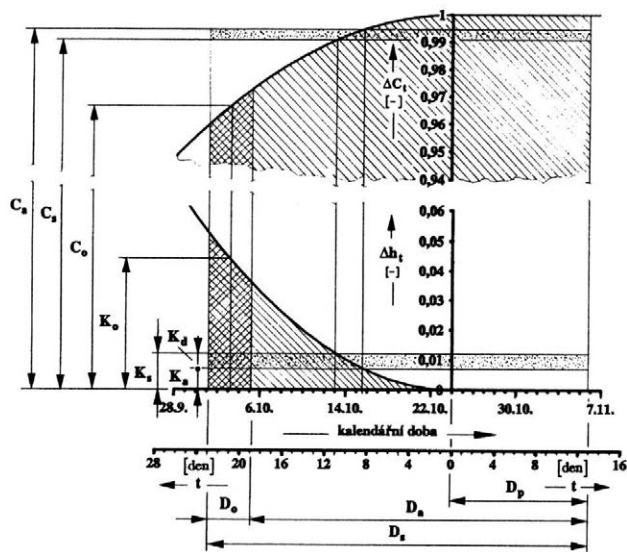
$$Z_{tp,2} = jZ_{tp}(t=17) \cdot W_d = 12\,686,6 \text{ Kč}$$

Úbytky tržní produkce v jednotlivých po sobě navazujících dnech sklizně tedy klesají do okamžiku, kdy se zastaví přírůstky hmotnosti a cukrnatosti bůlev.

B. ÚBYTKY TRŽNÍ PRODUKCE CUKROVKY V ZÁVISLOSTI NA DOBĚ SKLIZNĚ

Při propočtu úbytků tržní produkce za celé období sklizně se musí vycházet ze středních ztrát produkce a její dosažené cukrnatosti (obr. 2 a 3), která závisí jak na okamžiku zahájení sklizně, tak na její délce (době D_s). Významnou roli zde sehrává období D_p , tj. období, kdy k přírůstkům hmotnosti a cukrnatosti již nedochází (nepřímé ztráty tohoto charakteru jsou v tomto období považovány za nulové). Při kontinuálním průběhu sklizně během sklizňového období lze střední poměrné ztráty v závislosti na době sklizně stanovit takto:

$$K_s = \frac{\int_0^{D_s-D_p} \Delta h_t \cdot dt}{D_s} = \frac{\int_0^{D_s-D_p} A \cdot t^2 \cdot dt}{D_s} = \frac{A}{3} \cdot D_s^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_s} \right)^3 \quad (9)$$



2. Průběh poměrných ztrát hmotnosti produkce Δh_t a poměrné cukrnatosti ΔC_t v závislosti na kalendářní době a době t ; schéma k vyjádření středních poměrných ztrát produkce a střední cukrnatosti v závislosti na době sklizně a technické pohotovosti sklizňových strojů – The course of relative losses in weight of production Δh_t and relative sugar content ΔC_t in dependence on the calendar time and time t ; diagram to express mean relative losses in production and mean relative sugar content in dependence on the time of harvest and technical readiness of harvest machines

kalendářní doba – calendar time
 den – day

Obdobně lze vyjádřit střední poměrnou cukrnatost:

$$C_s = \frac{\int_0^{D_p-D_p} \Delta C_i \cdot dt + \int_0^{D_p} \int_0^{(1-B \cdot r^2)} \Delta C_i \cdot dt + \int_0^{D_p} dt}{D_s} = \frac{0}{D_s} = 1 - \frac{B}{3} \cdot D_s^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_s}\right)^3 \quad (10)$$

Úbytky tržní produkce z každého sklizeného hektaru v závislosti na okamžiku zahájení a době sklizně lze pak vyjádřit vztahem:

$$jZ_{ip} = h_{pl} \cdot K_s \left\{ C_z + c_p [C_{pl} \cdot C_s - c_i] \right\} = h_{pl} \cdot \frac{A}{3} \cdot D_s^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_s}\right)^3 \cdot \left\{ C_z + c_p \left[C_{pl} \left[1 - \frac{B}{3} \cdot D_s^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_s}\right)^3 \right] - c_i \right] \right\} \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (11)$$

Celkové úbytky tržní produkce za sezónu na sklizňový stroj budou pak rovny:

$$Z_{ip_s} = jZ_{ip} \cdot W_{sez} \quad (\text{Kč.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}) \quad (12)$$

C. ÚBYTKY TRŽNÍ PRODUKCE VLIVEM PROSTOJŮ SKLIZEČŮ Z TECHNICKÝCH PŘÍČIN

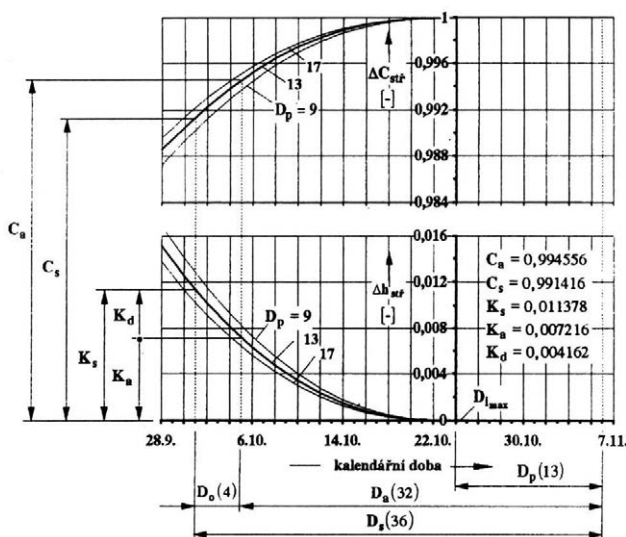
Ve vazbě na technickou pohotovost sklizňových strojů vyvstává otázka, jak velký podíl úbytku tržní produkce z úbytků celkových připadá na prostoje vlivem jejich provozních poruch. Při kvantifikaci tohoto podílu se vychází z úvahy, že v důsledku výskytu provozních poruch v průběhu sklizňového období se celková doba sklizně prodlouží o kumulovanou dobu prostojů D_o (obr. 2 a 3). V ideálním případě, při nulových prostojích z technických příčin, by bylo možné o tuto kumulovanou dobu D_o (ve dnech) zahájení sklizně oddálit, přičemž celková sezónní výkonnost sklizeče by zůstala zachována. Pro sezónní výkonnost tudíž platí:

$$W_{sez} = W_d \cdot D_s = W_d (D_a + D_o) \quad (\text{ha.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}) \quad (13)$$

Úbytky tržní produkce při nulových prostojích pak budou rovny:

$$Z_{ip} = \left\{ h_{pl} \cdot \frac{A}{3} \cdot D_a^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_a}\right)^3 \cdot \left[C_z + c_p \left\{ C_{pl} \left[1 - \frac{B}{3} \cdot D_a^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_a}\right)^3 \right] - c_i \right\} \right] \right\} \cdot W_{sez} \quad (\text{Kč.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}) \quad (14)$$

Ztráty tržní produkce připadající na vrub prostojů sklizňových strojů z technických příčin lze vyjádřit z rozdílů vztahů (12) a (14):



3. Střední poměrné ztráty produkce a střední poměrná cukrnatost v závislosti na okamžiku zahájení a době sklizně a změnách doby D_p – Mean relative losses in production and mean relative sugar content in dependence on the moment of start and time of harvest and changes in time D_p

kalendářní doba – calendar time

$$Z_{p_d} = Z_{p_i} - Z_{p_a} \quad (\text{Kč.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}) \quad (15)$$

Zahájí-li se sklizeň např. 1. 10. při $D_s = 36$ dnů, $D_p = 13$ dnů, $W_d = 5,0$ ha.den⁻¹, $h_{pi} = 50$ t.ha⁻¹ (součinitel středních poměrných ztrát – obr. 3, bude roven $K_s = 0,011378$) a kumulované době prostojů $D_o = 4$ dny (poměr doby D_o ku D_s bude roven $K_p = 0,89$), budou hmotnostní ztráty za sezónu na sklizeň činit:

$$Z_{p_i} = h_{pi} \cdot K_s \cdot W_d \cdot D_s = 50 \cdot 0,011378 \cdot 5,0 \cdot 36 = 102,48 \text{ t.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$$

Při $K_p = 1$ bude $K_s = K_a = 0,007216$ (obr. 3) budou hmotnostní ztráty za sezónu na sklizeň rovny:

$$Z_{p_a} = h_{pi} \cdot K_a \cdot W_d \cdot D_s = 50 \cdot 0,007216 \cdot 5,0 \cdot 36 = 64,94 \text{ t.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$$

Úbytky tržní produkce za dobu sklizně D_s při $C_{pi} = 17,2$ % (součinitel střední poměrné cukrnatosti – obr. 3 – je roven $C_s = 0,991416$) a při nákupních podmínkách stanovených cukrovarem Modřany (viz. oddíl A) pak budou rovny:

$$Z_{p_s} = Z_{p_i} \{C_z + c_p [C_{pi} \cdot C_s - c_i]\} = 102,48 \{820 + 60 [17,2 \cdot 0,991416 - 16]\} = 90\,504,32 \text{ Kč.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$$

Obdobné úbytky tržní produkce při nulových prostojích (za dobu D_o ; $C_a = 0,994556$ – obr. 3) budou činit:

$$Z_{p_a} = Z_{p_i} \{C_z + c_p [C_{pi} \cdot C_a - c_i]\} = 64,94 \{820 + 60 [17,2 \cdot 0,994556 - 16]\} = 57\,561,63 \text{ Kč.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$$

Ztráty tržní produkce připadající na vrub prostojů sklizňového stroje z technických příčin budou při těchto vstupních parametrech činit:

$$Z_{p_d} = Z_{p_i} - Z_{p_a} = 90\,504,32 - 57\,561,63 = 32\,942,69 \text{ Kč.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$$

což představuje 36,4 % z celkových nepřímých ztrát tržní produkce Z_{p_i} , přičemž prostoje představují 11,1 % z celkové doby sklizně D_s .

D. OPTIMÁLNÍ DOBA SKLIZNĚ, SEZÓNŇNÍ VÝKONNOST A POČETNÍ STAVY SKLIZEČŮ

Při stanovení optimální doby sklizně, sezónní výkonnosti a počtu sklizečů lze vycházet z obecně známé úvahy, podle níž za ekonomicky výhodnou dobu provedení jakékoliv polní operace lze považovat takovou dobu, při které sumární jednotkové náklady na provedení příslušné operace a ztráty z produkce související s dobou provádění budou minimální. Při sklizni cukrovky jsou rozhodujícími položkami konstantní a variabilní náklady plynoucí z provozu sklizňových strojů a úbytky tržní produkce související s dobou sklizně

$$jN_c = jN_k + jZ_p + jN_v \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (16)$$

Konstantní jednotkové náklady vyplývají z ročních konstantních nákladů, které obecně tvoří souhrn nákladů na amortizaci, náklady plynoucí z úroků kapitálu vloženého do pořízení příslušné techniky, pojištění a stále poplatky a náklady na uskladnění v průběhu roku

$$jN_k = rN_a + rN_{zu} + rN_p + rN_g + (rN_{ai} + rN_{zi} + rN_{pi} + rN_{gi}) \cdot \frac{W_{sez}}{hW_s \cdot rT} =$$

$$\frac{C_m}{T_o} + \frac{rS \cdot T_{spl} - V_c}{T_o} + \frac{C_m \cdot p}{100} + S_m \cdot N_m^2 + \left(\frac{C_{m_i}}{T_{o_i}} + \frac{rS_i \cdot T_{spl_i} - V_{c_i}}{T_{o_i}} + \frac{C_{m_i} \cdot p_i}{100} + S_{m_i} \cdot N_{m_i}^2 \right) \cdot \frac{W_{sez}}{hW_s \cdot rT} \quad (\text{Kč.r}^{-1}) \quad (17)$$

kde obecně: $rS = V_c \cdot a_n$ (Kč.rok⁻¹); $a_n = \frac{1}{v \cdot \frac{1-v^{T_{spl}}}{1-v}}$; $v = \frac{1}{r}$; $r = 1 + \frac{u}{100}$

Konstantní jednotkové náklady lze pak vyjádřit ve tvaru:

$$jN_k = \frac{rN_k}{D_s \cdot W_d} \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (18)$$

Variabilní jednotkové náklady tvoří náklady na energii, živou práci, opravy a údržby

$$jN_v = jN_{PHM} + jN_{zp} + jN_o + jN_{oi} = haQ \cdot C_{kn} + \frac{hM_{zp} \cdot n_o \cdot 1,36}{hW_s} + \frac{C_m \cdot k_o}{T_o \cdot rW_n} + \frac{C_{m_i} \cdot k_{oi}}{T_{o_i} \cdot rT_n \cdot hW_s} \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (19)$$

Souhrnné jednotkové náklady budou po dosažení do závislosti (16) rovny:

$$jN_c = \frac{rN_k}{D_s \cdot W_d} + haQ \cdot C_{kn} + \frac{hM_{zp} \cdot n_o \cdot 1,36}{hW_s} + \frac{C_m \cdot k_o}{T_o \cdot rW_n} + \frac{C_{m_i} \cdot k_{oi}}{T_{o_i} \cdot rT_n \cdot hW_s} +$$

$$+ h_{pi} \cdot \frac{A}{3} \cdot D_s^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_s} \right)^3 \cdot \left\{ C_z + c_p \left[C_{pi} \left[1 - \frac{B}{3} \cdot D_s^2 \left(1 - \frac{D_p}{D_s} \right)^3 \right] - c_i \right] \right\} \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (20)$$

Při propočtu nákladů pro samojízdný sklizeč budou položky týkající se traktoru rovny nule.

VÝSLEDKY

Ze závislosti (20) je patrné, že optimální doba sklizně, sezónní výkonnost, a tím i racionální počty sklizňových strojů, jsou závislé na konstantních nákladech a na úbytcích tržní produkce. Variabilní náklady se k těmto ukazatelům chovají indiferentně.

Na obr. 4 jsou zobrazeny průběhy úbytku tržní produkce z hektaru (jZ_{tp}) při změnách denní výkonnosti (W_d), konstantní a variabilní jednotkové náklady ($jN_{(k+v)}$) a souhrn těchto nákladů (jN_c) v závislosti na sezónní výkonnosti (W_{sez}), pro třířádkovou sklizňovou soupravu TIM při těchto vstupních parametrech:

$C_m = 2\,500\,000$ Kč; $T_o = 8$ let; $hW_s = 0.45$ ha.h⁻¹; $rW_n = 200$ ha.h⁻¹; $V_c = 100\%$ cizí kapitál; $T_{spl} = 4$ roky; $u = 17\%$; $p = 1.2\%$; $S_m = 50$ m²; $N_m^2 = 115$ Kč.m⁻².r⁻¹; $k_o = 0.4$

$C_{m_i} = 582\,000$ Kč; $T_{o_i} = 8$ let; $rT = 1\,200$ h.r⁻¹; $rT_n = 1\,000$ h.r⁻¹; $V_{c_i} = 100\%$ cizí kapitál; $T_{spl_i} = 4$ roky; $u_i = 17\%$; $p_i = 0.8\%$; $S_{m_i} = 30$ m²; $N_{m_i}^2 = 125$ Kč.m⁻².r⁻¹; $hM_{zp} = 40$ Kč.h⁻¹; $n_o = 1$; $haQ = 29$ l.ha⁻¹; $C_{kn} = 17.5$ Kč.l⁻¹; $k_{o_i} = 0.7$

$h_{pl} = 50$ t.ha⁻¹; $A = 1.01 \cdot 10^{-4}$; $B = 7.62 \cdot 10^{-5}$; $D_p = 12$ dnů; $C_e = 820$ Kč.t⁻¹; $c_p = 60$ Kč.t⁻¹; $C_{pl} = 17.2\%$; $c_i = 16\%$

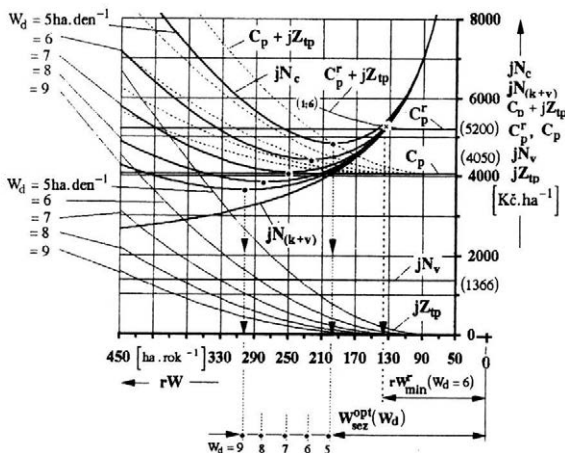
Při pořízení sklizňové soupravy se tedy počítá se 100% cizím kapitálem s roční úrokovou mírou 17 %. Po dosažení vstupních hodnot do závislosti (17), (18), (19) a (11) nabývají jednotkové náklady a úbytky tržní produkce v závislosti na denní a sezónní výkonnosti těchto parametrů:

$$jN_k = \frac{490\,916}{W_{sez}} + 211.5 \quad (\text{Kč.ha}^{-1}); \quad jN_v = 1\,366 \quad (\text{Kč.ha}^{-1})$$

$$jZ_{tp} = 50 \cdot \frac{1.01 \cdot 10^{-4}}{3} \cdot \left(\frac{W_{sez}}{W_d} \right)^2 \left(1 - \frac{12 \cdot W_d}{W_{sez}} \right)^3 \cdot \left\{ 820 + 60 \left[17.2 \left[1 - \frac{7.62 \cdot 10^{-5}}{3} \cdot \left(\frac{W_{sez}}{W_d} \right) \left(1 - \frac{12 \cdot W_d}{W_{sez}} \right)^3 \right] - 16 \right] \right\} \quad (\text{Kč.ha}^{-1})$$

Optimální sezónní výkonnost je ovlivňována ztrátami tržní produkce, které jsou závislé na denní výkonnosti soupravy. S růstem denní výkonnosti (s růstem rychlosti sklizně) roste optimální sezónní výkonnost na stroj, přičemž klesají celkové jednotkové náklady na sklizeň. V rozmezí 5 až 9 ha.den⁻¹ se optimální sezónní výkonnost pohybuje v intervalu 195 až 305 ha.sez⁻¹.stroj⁻¹. Na obr. 5 jsou při stejných vstupních parametrech zobrazeny optimální doby sklizně. Zatímco se při zobrazení průběhu nákladových položek v závislosti na sezónní výkonnosti (obr. 4) mění úbytky tržní produkce v závislosti na denní výkonnosti, pak při zobrazení nákladových položek v závislosti na době sklizně (obr. 5) se mění se změnou denní výkonnosti soupravy výše jednotkových konstantních nákladů.

Na obr. 4 a 5 jsou rovněž vyznačeny průměrné realizační ceny sklizně touto soupravou: u služeb C_p^r činí 5 200 Kč.ha⁻¹ a cena sklizně C_p , vypočtená podle vztahu:



4. Optimální sezónní výkonnost třířádkové sklizňové soupravy TIM; průběhy souhrnných a dílčích jednotkových nákladů v závislosti na výrobním úkolu a na denní výkonnosti soupravy; minimální výrobní úkol rW_{min}^r v závislosti na realizované ceně sklizně C_p^r u služeb – Optimal seasonal efficiency of 3-row harvest aggregate TIM; courses of summary and partial unit costs in dependence on production task and daily output of aggregate; minimal production task rW_{min}^r in dependence on actual price of harvest C_p^r in services

den – day
rok – year

$$C_p = \left(\frac{rN_k}{rW_{pl}} + jN_v \right) \left(1 + \frac{z_i}{100} \right) \left(1 + \frac{DPH}{100} \right) \quad (\text{Kč} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (21)$$

Při předpokládaném ročním využití soupravy $rW_{pl} = 300 \text{ ha} \cdot \text{r}^{-1}$, zisku $z_i = 20 \%$ a $DPH = 5 \%$ dosahuje cena sklizně v závislosti na tom, zda jde o plátce či neplátce DPH, hodnot 3 856 a 4 050 Kč.ha⁻¹. Známe-li cenu sklizně u služeb (na trhu práce), lze posoudit výhodnost či nevýhodnost pořízení vlastní sklizňové soupravy či sklizeče proti využití služeb. Do výpočtu je nutné zahrnout kromě provozních nákladů sklizňové techniky i úbytky tržní produkce, které souvisí s okamžikem zahájení a dobou sklizně. Doba sklizně, a tím i úbytky tržní produkce při využití služeb, závisí obecně zejména na denní výkonnosti a počtu nasazených sklizečů.

Na obr. 6 jsou vyneseny průběhy jednotlivých položek nákladů na provoz a nákladů vzniklých ztrátami produkce v závislosti na sezónní výkonnosti a početních stavech nasazených souprav.

Výchozí závislosti pro konstrukci těchto průběhů:

$$jN_c(n_s) = jN_k(n_s) + jN_v + jZ_{tp}(n_s) \quad (\text{Kč} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (22)$$

$$jN_k(n_s) = \left(\frac{rN_k}{W_{sez}} + \frac{rN_{k_i}}{hW_s \cdot rT \cdot n_s} \right) \cdot n_s \quad (\text{Kč} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (23)$$

$$jZ_{tp}(n_s) = h_{pl} \cdot \frac{A}{3} \cdot \left(\frac{W_{sez}}{n_s \cdot W_d} \right)^2 \left(1 - \frac{D_p \cdot W_d \cdot n_s}{W_{sez}} \right)^3 \cdot \left\{ C_z + c_p \left[C_{pl} \left(1 - \frac{B}{3} \cdot \left(\frac{W_{sez}}{n_s \cdot W_d} \right) \left(1 - \frac{D_p \cdot W_d \cdot n_s}{W_{sez}} \right)^3 \right) - c_i \right] \right\} \quad (\text{Kč} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (24)$$

Průběhy jsou konstruovány ze stejných vstupních hodnot jako grafy na obr. 4 a 5, při denní výkonnosti $W_d = 6 \text{ ha} \cdot \text{den}^{-1}$. Do grafu na obr. 6 je rovněž vynesena průměrná realizovaná cena sklizně u služeb C_p^r a cena vypočtená C_p . Denní výkonnost souprav služeb W_d je uvažována ve dvou variantách, a to $6 \text{ ha} \cdot \text{den}^{-1}$ a $9 \text{ ha} \cdot \text{den}^{-1}$. Závislosti uvedené na obr. 6 se vyjadřují ke dvěma problémovým okruhům:

a) ke stanovení minimální a maximální sezónní výkonnosti souprav v závislosti na jejich početních stavech a rozsahu výrobního úkolu,

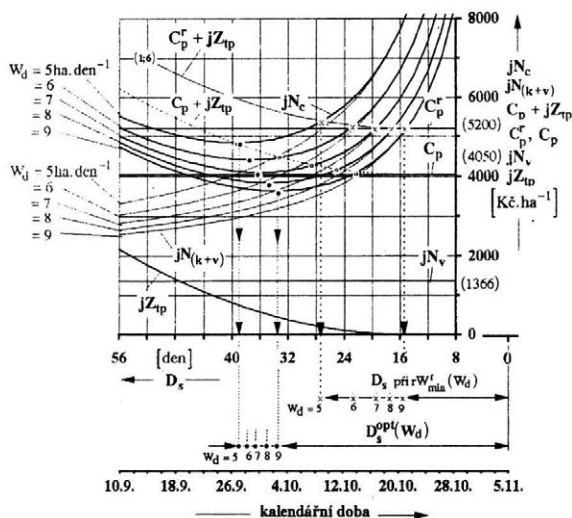
b) k porovnání výhodnosti využití cizích souprav proti pořízení a využití souprav vlastních.

ad a) Průsečíky souhrnných jednotkových nákladů na provoz souprav a úbytků tržní produkce vlivem doby sklizně v závislosti na početních stavech, tj.

$$jN_c(n_s) = jN_c(n_s + 1) \quad (\text{Kč} \cdot \text{ha}^{-1}) \quad (25)$$

vymezení na ose x maximální a minimální sezónní výkonnosti

$$W_{sez}^{\max}(n_s) = W_{sez}^{\min}(n_s + 1) \quad (\text{ha} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot n_s \text{ strojů}^{-1}) \quad (26)$$



5. Optimální doba sklizně třířádkové sklizňové soupravy TIM; průběhy souhrnných a dílčích jednotkových nákladů v závislosti na době sklizně a na denní výkonnosti soupravy; doba sklizně při minimálním výrobním úkolu rW_{min}^r v závislosti na denní výkonnosti soupravy – Optimal time of harvest of 3-row aggregate TIM; courses of summary and partial unit costs in dependence on the time of harvest and daily output of aggregate; time of harvest at minimal production task rW_{min}^r in dependence on daily output of aggregate

kalendářní doba – calendar time
den – day

a tedy i ekonomicky optimální počty souprav daného typu pro zabezpečení příslušné výměry sklizně. (Vymezuji v jednotlivých intervalech maximální výrobní úkol, podle něhož je nutné nasadit, popř. pořídit další sklizňovou soupravu.)

ad b) Pořízení vlastní sklizňové techniky bude výhodnější, budou-li sumární jednotkové náklady na sklizeň vlastními soupravami nižší než při využití souprav cizích, tj.

$$\frac{rN_k(n_{s_{vl}})}{rW(n_{s_{vl}})} + jN_v + jZ_{tp}(n_{s_{vl}}; W_d) \leq C_p + jZ_{tp}(n_{s_{vl}}; W_d) \quad (\text{Kč.ha}^{-1}) \quad (27)$$

z toho minimální sezónní výkonnost, event. výměra sklizně:

$$rW_{\min}(n_{s_{vl}}) \geq \frac{rN_k(n_{s_{vl}})}{C_p - jN_v + jZ_{tp}(n_{s_{vl}}; W_d) - jZ_{tp}(n_{s_{vl}}; W_d)} \quad (\text{ha.sez}^{-1} \cdot n_s \text{ stroj}^{-1}) \quad (28)$$

Minimální výrobní úkol při úvaze nasazení $n_{s_{vl}}$ vlastních sklizňových souprav je tedy ovlivňován, kromě ceny sklizně u služeb C_p , ročních konstantních nákladů v závislosti na početních stavech vlastních sklizečů $rN_k(n_{s_{vl}})$ a variabilních nákladů jN_v , velikosti ztrát tržní produkce zapříčiněných dobou sklizně vlastní a cizí sklizňovou technikou, které jsou závislé na počtu nasazených souprav a jejich denních výkonnostech. Při stejném počtu souprav $n_{s_{vl}} = n_{s_{ci}}$ a stejné denní výkonnosti $W_{d_{vl}} = W_{d_{ci}}$ (což nebývá pravidlem) závislost (28) nabývá tvaru

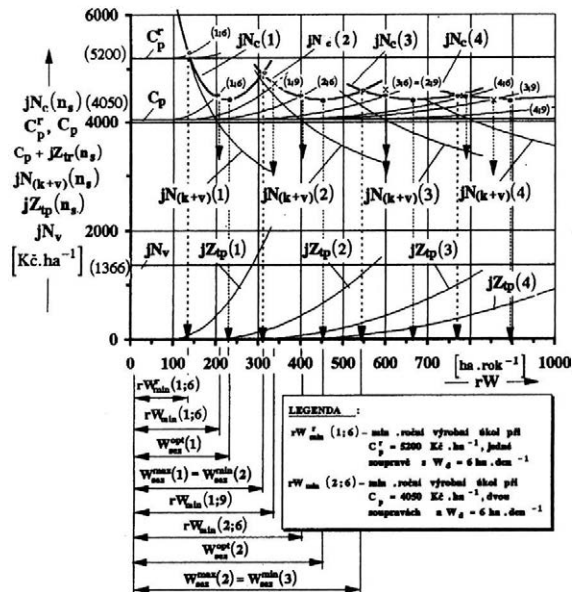
$$rW_{\min}(n_{s_{vl}}) \geq \frac{rN_k(n_{s_{vl}})}{C_p - jN_v} \quad (\text{ha.sez}^{-1} \cdot n_s \text{ stroj}^{-1}) \quad (29)$$

Bude-li cena sklizně u služeb rovna $C_p^r = 5\,200 \text{ Kč.ha}^{-1}$ – obr. 6 (při stejné denní výkonnosti soupravy vlastní i cizí), pak minimální výrobní úkol, ev. minimální sezónní výkonnost, lze po dosažení vstupních hodnot stanovit z následující závislosti:

$$rW_{\min}(1) \geq \frac{490\,916 + 211,5 \cdot rW_{\min}(1)}{5\,200 - 1\,366}$$

$$rW_{\min}(1) \geq 135,5 \quad (\text{ha.sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1})$$

Jestliže cena sklizně u služeb C_p bude nižší než $jN_c^{\min}$ (obr. 6 – při $C_p = 4\,050 \text{ Kč.ha}^{-1}$), pak v závislosti na výrobním úkolu (rozsahu sklizně) bude pro pěstitele výhodnější využití maximálního počtu souprav (pokud podnik



6. Minimální a maximální sezónní výkonnost třířádkových sklizňových souprav TIM v závislosti na výrobním úkolu a počtu souprav; ekonomicky výhodné rozsahy výrobního úkolu pro využití služeb v závislosti na ceně sklizně C_p , počtu souprav a jejich denních výkonnostech – Minimal and maximal seasonal output of 3-row aggregates TIM in dependence on production task and number of aggregates; advantageous scopes of production tasks in view of economy for the usage of services in dependences on the price of harvest C_p , number of aggregates and their daily output

$rW_{\min}^r(1;6)$ = minimální roční výrobní úkol při $C_p^r = 5\,200 \text{ Kč.ha}^{-1}$, jedné soupravě a $W_d = 6 \text{ ha.den}^{-1}$ – minimal annual production task at $C_p^r = 5\,200 \text{ CZK.ha}^{-1}$ and one aggregate with $W_d = 6 \text{ hectares.day}^{-1}$

$rW_{\min}^r(2;6)$ = minimální roční výrobní úkol při $C_p = 4\,050 \text{ Kč.ha}^{-1}$, dvou soupravách a $W_d = 6 \text{ ha.den}^{-1}$ – minimal annual production task at $C_p = 4\,050 \text{ CZK.ha}^{-1}$ and two aggregates and $W_d = 6 \text{ hectares.day}^{-1}$

služeb disponuje větším počtem stavem souprav) a/nebo vyšší denní výkonnosti. Minimální výrobní úkol je pak omezen podmínkou:

$$jN_c(n_s) \leq C_p + jZ_{tp}(n_s; W_d) \quad (30)$$

Poskytne-li podnik služeb např. dvě sklizňové soupravy s denní výkonností (1 soupravy) $W_d = 6$ ha.den⁻¹ při $C_p = 4\,050$ Kč.ha⁻¹, pak je využití služeb ekonomicky výhodné do výměry sklizně $rW_{\min} \leq 400$ ha.r⁻¹. Je-li skutečná sklizňová výměra vyšší, je výhodnější pořídit vlastní sklizňovou techniku (za předpokladu shodných vstupních technicko-ekonomických parametrů).

Na obr. 7 jsou, obdobně jako v obr. 4, zobrazeny průběhy jednotkových úbytků tržní produkce při změnách denní výkonnosti, jednotkové konstantní a variabilní náklady a souhrn těchto nákladů v závislosti na ročním výrobním úkolu u šestiřádkového sklizeče HOLMER 12 t při těchto vstupních parametrech:

$C_m = 6\,750\,000$ Kč; $T_o = 8$ let; $hW_s = 0,9$ ha.h⁻¹; $rW_n = 400$ ha.r⁻¹; $V_c = 100\%$ cizí kapitál; $T_{spl} = 4$ roky (při dvou splátkách za rok); $u = 17\%$; $p = 1,2\%$; $S_m = 56$ m²; $N_m^2 = 115$ Kč.m⁻².r⁻¹; $k_o = 0,4$; $hM_{zp} = 40$ Kč.h⁻¹; $n_o = 2$; $haQ = 35$ l.ha⁻¹; $C_{kn} = 17,5$ Kč.l⁻¹

$h_{pl} = 50$ t.ha⁻¹; $A = 1,01 \cdot 10^{-4}$; $B = 7,62 \cdot 10^{-5}$; $D_p = 12$ dnů; $C_z = 820$ Kč.t⁻¹; $c_p = 60$ Kč.t⁻¹; $C_{pl} = 17,2\%$; $c_i = 16\%$

Dosažením do vztahů (11), (17), (18) a (19) nabývají jednotkové náklady a úbytky tržní produkce v závislosti na sezónní a denní výkonnosti těchto parametrů:

$$jN_k = \frac{1\,284\,421}{W_{sez}} \quad (\text{Kč.ha}^{-1}); \quad jN_v = 1\,471 \quad (\text{Kč.ha}^{-1})$$

$$jZ_{tp} = 50 \cdot \frac{1,01 \cdot 10^{-4}}{3} \cdot \left(\frac{W_{sez}}{W_d} \right)^2 \left(1 - \frac{12 \cdot W_d}{W_{sez}} \right)^3 \cdot \left\{ 820 + 60 \left[17,2 \left[1 - \frac{7,62 \cdot 10^{-5}}{3} \cdot \left(\frac{W_{sez}}{W_d} \right) \left(1 - \frac{12 \cdot W_d}{W_{sez}} \right) \right] - 16 \right] \right\} \quad (\text{Kč.ha}^{-1})$$

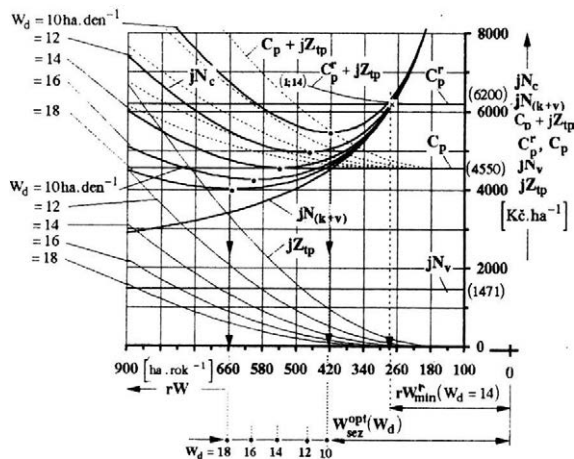
Optimální sezónní výkonnost sklizeče v závislosti na denní výkonnosti v rozmezí 10 až 18 ha.den⁻¹ se pohybuje v intervalu 420 až 660 ha.sez⁻¹.stroj⁻¹. Do grafu jsou rovněž zaneseny průměrné ceny sklizně realizované službami $C_p^r = 6\,200$ Kč.ha⁻¹ a cena vypočtená $C_p = 4\,550$ Kč.ha⁻¹ při těchto vstupech: $rW_{pl} = 600$ ha.r⁻¹; $z_j = 20\%$; DPH = 5 % (viz vztah (21)). Minimální roční výrobní úkol při $C_p^r = 6\,200$ Kč.ha⁻¹ je roven 272 ha.r⁻¹.

Obr. 8 porovnává ekonomiku sklizně třířádkovými soupravami TIM se šestiřádkovými sklizeči HOLMER 12 t. Jsou vyneseny průběhy souhrnných ročních nákladů na provoz a úbytků tržní produkce v závislosti na ročním výrobním úkolu a počtu nasazených sklizečů při úvaze shodného denního časového využití. Denní výkonnost u soupravy TIM se předpokládá 7 ha.den⁻¹, u sklizeče HOLMER pak 14 ha.den⁻¹. Východními závislostmi pro konstrukci těchto průběhů jsou

$$rN_c(n_s) = rN_k(n_s) + rN_v + rZ_{tp}(n_s) = [jN_k(n_s) + jN_v + jZ_{tp}(n_s)] \cdot W_{sez} \quad (\text{Kč.r}^{-1}) \quad (31)$$

kde: $jN_k(n_s)$ – závislost (23)

$jZ_{tp}(n_s)$ – závislost (24)



7. Optimální sezónní výkonnost šestiřádkového sklizeče HOLMER – průběhy souhrnných a dílčích jednotkových nákladů v závislosti na výrobním úkolu a na denní výkonnosti soupravy; minimální výrobní úkol $rW_{\min}^r$ v závislosti na realizované ceně sklizně C_p^r u služeb – Optimal seasonal efficiency of 6-row harvester HOLMER – courses of summary and partial unit costs in dependence on the production task and daily output of aggregate; minimal production task $rW_{\min}^r$ in dependence on actual price of harvest C_p^r in services

den – day
rok – year

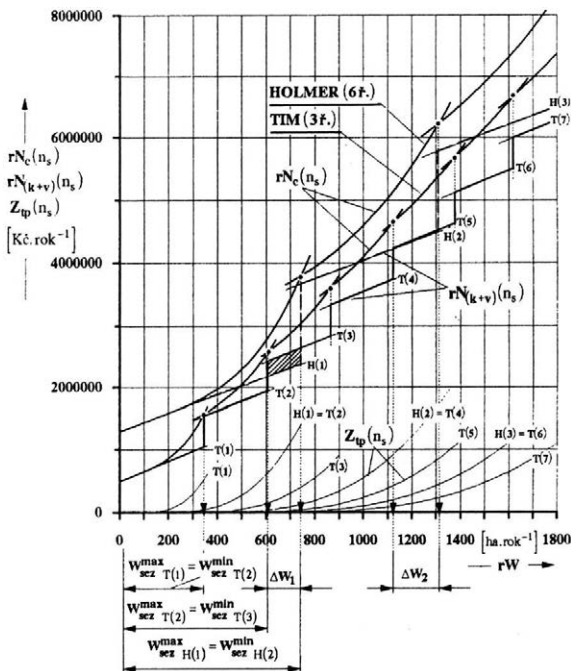
Roční náklady na provoz a úbytky tržní produkce na ose y (obdobně jako na obr. 6) vymezují svými průsečíky, v závislosti na početních stavech sklizečů, tj. $rN_c(n_s) = rN_c(n_s + 1)$ na ose x maximální a minimální sezónní výkonnosti $W_{sez}^{max}(n_s) = W_{sez}^{min}(n_s + 1)$ a tedy i potřebné, ekonomicky optimální, počty sklizečů daného typu pro zabezpečení příslušné výměry sklizně.

Při porovnání vybraných sklizečů jen z hlediska ročních konstantních a variabilních nákladů by při uvedených vstupních technicko-ekonomických parametrech bylo výhodnější v rozmezí ročního výrobního úkolu 600 až 735 ha (šrafovaná oblast – ΔW_1) pořídit místo tří třířádkových sklizňových souprav TIM jeden šestiřádkový sklizeč HOLMER a dále pak v rozmezí 1 120 až 1 313 ha·r⁻¹ (ΔW_2) místo pěti souprav TIM dva sklizeče HOLMER. Z hlediska celkových nákladů na sklizeň, tj. včetně ztrát tržní produkce vlivem doby sklizně, však nasazení třířádkových souprav TIM v celém předpokládaném rozsahu ročního výrobního úkolu sklizně vykazuje nižší náklady.

DISKUSE A ZÁVĚR

Ze závislosti (20) i z grafického řešení na obr. 4, 5 a 7 je zřejmé, že optimální doba sklizně, a tím i sezónní výkonnost, je na jedné straně ovlivňována výší ročních konstantních nákladů, u nichž rozhodující úlohu sehrává cena sklizňového stroje, event. soupravy, na straně druhé pak denní výkonností, výnosností cukrovky z hektaru, nákupní cenou produkce a rychlostí přírůstu ztrát na hmotnosti a cukrnatosti v závislosti na době sklizně. S růstem denní výkonnosti, hektarových výnosů i nákupních cen cukrovky se zkracuje optimální doba sklizně. V opačném směru působí růst ročních konstantních nákladů, zejména pořizovací ceny sklizňové techniky, který vede k prodloužení optimální doby sklizně, tedy k maximalizaci ročního využití.

Minimální výrobní úkol je ovlivněn cenou sklizně u služeb. Ta je závislá zejména na předpokládaném ročním využití a výši kalkulovaného zisku. Je-li cena sklizně u služeb příliš vysoká, stagnuje poptávka po službách i rozvoj takovýchto služeb. Hrubý roční zisk je pak ovlivněn skutečným ročním využitím a vynaloženými ročními konstantními náklady na provoz pořízené sklizňové techniky. Cena sklizně u služeb by proto neměla překročit sumární minimální jednotkové náklady na sklizeň (obr. 6 – jN_c^{min}) za předpokladu, že bude použit stejný typ sklizeče či soupravy, neboť náklady u pěstitele využívajícího služeb tvoří vlastní cena sklizně a úbytky tržní produkce plynoucí z doby sklizně cizí sklizňové techniky.



8. Porovnání třířádkových sklizňových souprav TIM se šestiřádkovými sklizeči HOLMER z hlediska ročních konstantních a variabilních nákladů a nákladů souhrnných v závislosti na rozsahu výrobního úkolu a jejich početních stavech; minimální a maximální sezónní výkonnost v závislosti na výrobním úkolu a početních stavech sklizňových strojů – Comparison of 3-row harvest aggregates TIM with 6-row harvesters HOLMER in view of annual constant and variable costs and summary costs in dependence on the scope of production task and their numbers; minimal and maximal seasonal efficiency in dependence on production task and numbers of harvest machines

Úbytky tržní produkce sehrávají dále výraznou roli při stanovení maximální a minimální sezónní výkonnosti (obr. 6 a 8) v závislosti na výrobním úkolu sklizně a na početních stavech sklizňových strojů. Bez těchto úbytků nelze intervaly zdůvodněně stanovit.

V důsledku nepřímých biologických ztrát ovlivňují tedy úbytky tržní produkce celou oblast využití příslušné skupiny či uvažovaných sklizňových strojů. Bez kvantifikace těchto úbytků v závislosti na době sklizně a výrobním úkolu nelze seriálně řešit mnohé technicko-ekonomické a organizační problémy, které s využitím sklizňové techniky na tomto úseku RV v současné době souvisí.

Seznam označení

- a_n – umořovatel
- A, B – parametry závislosti poměrných ztrát výnosu a cukrnatosti na čase
- c_i – základní cukrnatost stanovená nákupními podmínkami cukrovarů (%)
- c_p – příplatek za digesti: za každé procento cukrnatosti nad/pod c_i (Kč.t^{-1})
- C_a – střední poměrná cukrnatost za období D_a
- C_{kn} – komplexní cena paliva (vč. mazadel a olejů) (Kč.l^{-1})
- C_m – pořizovací cena stroje (Kč)
- C_{max} – maximální cukrnatost cukrovky (v okamžiku $D_{i_{max}}$) (%)
- C_o – střední poměrná cukrnatost za období D_o
- C_p – cena mechanizované sklizně u služeb (Kč.ha^{-1})
- C_{pl} – docílená (maximální) cukrnatost u pěstitele (%)
- C_s – střední poměrná cukrnatost za období D_s
- C_t – cukrnatost v závislosti na čase (%)
- C_z – základní cena cukrovky stanovená nákupními podmínkami cukrovarů (Kč.t^{-1})
- D_a – kumulovaná doba provozu sklizeče (Σt_{a_i}) za období sklizně D_s (dny)
- D_o – kumulovaná doba prostoji sklizeče (Σt_{o_i}) z důvodu provozních poruch za období sklizně D_s (dny)
- D_p – období sklizně, v němž se předpokládají nulové biologické ztráty (dny)
- D_s – celková doba sklizně (dny)
- D_s^{opt} – optimální doba sklizně (dny)
- haQ – spotřeba paliva (l.ha^{-1})
- h_{max} – maximální výnos cukrovky (t.ha^{-1})
- h_{pl} – dosažený (maximální) výnos cukrovky u pěstitele (t.ha^{-1})
- h_t – výnos cukrovky jako funkce času (t.ha^{-1})
- hM_{zp} – mzda obsluhy stroje (Kč.h^{-1})
- hW_s – hodinová výkonnost sklizeče za dobu sklizně D_s (ha.h^{-1})
- jN_c – souhrnné jednotkové náklady na provoz sklizňového stroje a jednotkové úbytky tržní produkce cukrovky (Kč.ha^{-1})
- jN_c^{min} – minimální jednotkové náklady souhrnné (při $W_{s_{opt}}$, ev. D_s^{opt}) (Kč.ha^{-1})
- jN_k – jednotkové náklady konstantní (Kč.ha^{-1})
- $jN_{(k+v)}$ – jednotkové konstantní a variabilní náklady (Kč.ha^{-1})
- jN_o – jednotkové náklady na opravy a údržby sklizeče (Kč.ha^{-1})
- jN_{PHM} – jednotkové náklady na pohonné hmoty a maziva (Kč.ha^{-1})
- jN_v – jednotkové náklady variabilní (Kč.ha^{-1})
- jN_{zp} – jednotkové náklady na živou práci (obsluhy sklizeče) (Kč.ha^{-1})
- jZ_{zp} – jednotkové ztráty tržní produkce cukrovky (Kč.ha^{-1})
- k_a – koeficient oprav a údržeb (normovaný)
- K_a – střední poměrné ztráty produkce cukrovky z jednotkové plochy za dobu D_a
- K_d – doplňkové střední poměrné ztráty produkce cukrovky z jednotkové plochy, vyvolané prostoji sklizňového stroje vlivem provozních poruch za období D_s
- K_o – střední poměrné ztráty produkce cukrovky z jednotkové plochy za dobu D_o
- K_p – poměr doby provozu sklizňového stroje (D_a) k celkové době sklizně (D_s)
- K_s – střední poměrné ztráty produkce cukrovky z jednotkové plochy za dobu D_s
- n_o – počet pracovníků obsluhujících stroj
- N_m^2 – roční náklady na uskladňovací prostor (garažování) sklizeče ($\text{Kč.m}^{-2}.\text{r}^{-1}$)
- p – pojištění a stálé poplatky (% z ceny stroje)
- r – úročetel
- rN_a – roční náklady na amortizaci sklizňového stroje (Kč.r^{-1})
- rN_c – roční souhrnné náklady na provoz sklizňového stroje a úbytky tržní produkce (Kč.r^{-1})
- rN_k – roční konstantní náklady sklizňového stroje (Kč.r^{-1})
- rN_p – roční náklady na pojištění a stálé poplatky za sklizňový stroj (Kč.r^{-1})
- rN_{zu} – roční náklady z úroků kapitálu vloženého do pořízení sklizňové techniky (Kč.r^{-1})
- rN_g – roční náklady na uskladnění sklizňového stroje (Kč.r^{-1})
- rS – roční splátky v případě půjčky na nákup sklizňového stroje (Kč.r^{-1})
- rT – roční využití traktoru (h.r^{-1})
- rT_n – normované roční využití traktoru (h.r^{-1})
- rW_n – normovaná roční výkonnost sklizňového stroje ($\text{ha.r}^{-1}.\text{stroj}^{-1}$)
- S_m – potřebná plocha pro uskladnění sklizňového stroje (m^{-2})
- t – obecná doba (dny)

T_n	– doba odepisování sklizňového stroje (roky)
T_{spl}	– lhůta splatnosti vypůjčené částky na pořízení sklizňového stroje (roky)
u	– roční úroková míra (%)
v	– odůčitel
V_z	– vypůjčená částka na pořízení sklizňové techniky (Kč)
W_d	– průměrná denní výkonnost sklizeče v průběhu sezóny ($\text{ha} \cdot \text{den}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
W_{sez}	– sezónní výkonnost sklizňového stroje ($\text{ha} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
$W_{sez}^{\min}$	– minimální sezónní výkonnost sklizeče ($\text{ha} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
W_{sez}^{opt}	– optimální sezónní výkonnost sklizeče ($\text{ha} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
Z_{p_1}	– ztráty cukrovky biologického charakteru za období sklizně D_s ($\text{t} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
Z_{p_2}	– úbytky tržní produkce za dobu D_o (bez prostojů z technických příčin) ($\text{Kč} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
Z_{p_3}	– úbytky tržní produkce připadající na vrub prostojů sklizňového stroje z technických příčin ($\text{Kč} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
Z_{p_4}	– úbytky tržní produkce za období sklizně D_s ($\text{t} \cdot \text{sez}^{-1} \cdot \text{stroj}^{-1}$)
ΔC_{stf}	– střední poměrná cukrnatost jako funkce času
ΔC_t	– poměr dosažené cukrnatosti k maximální cukrnatosti jako funkce času
Δh_{stf}	– střední poměrné ztráty výnosu jako funkce času
Δh_t	– poměr ztrát výnosu cukrovky z jednotkové plochy k maximálnímu výnosu z téže plochy

List of explanations

a_n	– amortizer
A, B	– parameters of dependence of relative losses of the yield and sugar content on time
c_i	– basic sugar content determined by purchase conditions of sugar factories (%)
c_p	– supplementary charge for digestion: for each per cent of sugar content over/below c_i ($\text{CZK} \cdot \text{t}^{-1}$)
C_a	– mean relative sugar content for the period D_a
C_{kn}	– complex price of fuel (including lubricants and oils) ($\text{CZK} \cdot \text{l}^{-1}$)
C_m	– purchase price of machine (CZK)
$C_{\max}$	– maximal sugar content of sugar beet (in the moment $D_{i\max}$) (%)
C_o	– mean relative sugar content for the period D_o
C_p	– price of mechanized harvest in services ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
C_{pl}	– achieved (maximal) sugar content in grower (%)
C_s	– mean relative sugar content for the period D_s
C_t	– sugar content in dependence on time (%)
C_z	– basic price of sugar beet settled by purchase conditions of sugar factories ($\text{CZK} \cdot \text{t}^{-1}$)
D_a	– accumulated time of running of harvester (Σt_{a0}) for the time of harvest D_s (days)
D_o	– accumulated time of idle times of harvester (Σt_{o0}) due to operating faults during the harvest D_s (days)
D_p	– time of harvest, in which zero biological losses are predicted (days)
D_s	– total time of harvest (days)
D_s^{opt}	– optimal time of harvest (days)
haQ	– fuel consumption ($\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$)
$h_{\max}$	– maximal yield of sugar beet ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
h_{pl}	– achieved (maximal) yield of sugar beet in grower ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
h_t	– beet yield as a function of time ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
hM_{op}	– wage of the operator of machine ($\text{CZK} \cdot \text{hour}^{-1}$)
hW_s	– per hour output of harvester for the time of harvest D_s ($\text{ha} \cdot \text{hour}^{-1}$)
jN_c	– summary unit costs of operation of harvest machine and unit losses of market production of sugar beet ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
$jN_c^{\min}$	– minimal unit summary costs (at W_{sez}^{opt} , ev. D_s^{opt}) ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
jN_k	– unit constant costs ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
$jN_{(k+v)}$	– unit constant and variable costs ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
jN_o	– unit costs of repair and maintenance of harvester ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
jN_{PHM}	– unit costs of fuels and lubricants ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
jN_v	– unit variable costs ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
jN_{zp}	– unit costs of live labour (operation of harvester) ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
jZ_{up}	– unit losses of market production of sugar beet ($\text{CZK} \cdot \text{ha}^{-1}$)
k_o	– coefficient of repairs and maintenance (standardized)
K_a	– mean relative losses of sugar beet production per unit area for the time D_a
K_d	– supplementary mean relative losses of sugar beet production per unit area due to idle times of harvest machine as a result of operating faults for the time D_o
K_o	– mean relative losses of sugar beet production per unit area for the time D_o
K_p	– ratio of the time of operation of harvest machine (D_a) to the total time of harvest (D_s)
K_s	– mean relative losses of sugar beet production per unit area for the time D_s
n_o	– number of operators for machine
N_m^2	– annual costs of storing romm (car-shed) for harvester ($\text{CZK} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{year}$)
p	– insurance and constant charges (% of the price of machine)
r	– payment of interest rate
rN_a	– annual costs of depreciation of harvest machine ($\text{CZK} \cdot \text{year}^{-1}$)
rN_c	– annual summary costs of the operation of harvest machine and losses in market production ($\text{CZK} \cdot \text{year}^{-1}$)
rN_k	– annual constant costs of harvest machine ($\text{CZK} \cdot \text{year}^{-1}$)
rN_p	– annual costs of insurance and constant charges for harvest machine ($\text{CZK} \cdot \text{year}^{-1}$)

rN_{zu}	– annual costs from interests of the capital invested in the purchase of harvest machinery (CZK.year ⁻¹)
rN_g	– annual costs of parking lot of harvester (CZK.year ⁻¹)
rS	– annual instalments in case of loan for purchase of harvester (CZK.year ⁻¹)
rT	– annual use of machine (hour.year ⁻¹)
rT_n	– standardized annual use of tractor (hour.year ⁻¹)
rW_n	– standardized annual output of harvester (ha.year ⁻¹ .machine ⁻¹)
S_m	– area needed for car-shed of harvester (m ²)
t	– time, generally (days)
T_o	– time of depreciation of harvester (years)
T_{xpl}	– due date of borrowed sum for buying the harvester (years)
u	– annual interest rate (%)
v	– payment of interest out of capital
V_z	– borrowed sum from buying the harvester (CZK)
W_d	– average daily output of harvester during season (ha.day ⁻¹ .machine ⁻¹)
W_{sez}	– seasonal output of harvester (ha.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
W_{sez}^{min}	– minimal seasonal output of harvester (ha.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
W_{sez}^{opt}	– optimal seasonal output of harvester (ha.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
Z_{p_1}	– losses of sugar beet of biological character for the time of harvest D_s (t.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
Z_{p_2}	– losses of market production for the time D_a (without idle times for technical reasons) (CZK.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
Z_{p_3}	– losses of market production due to idle times of the harvester for technical reasons (CZK.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
Z_{p_4}	– losses of market production for the time of harvest D_s (t.season ⁻¹ .machine ⁻¹)
ΔC_{stf}	– mean relative sugar content as a function of time
ΔC_t	– ratio of achieved sugar content to maximal sugar content as a function of time
Δh_{stf}	– mean relative losses of yield as a function of time
Δh_t	– ratio of losses of sugar beet yield per unit area to maximal yield from the same field

LITERATURA

- KOCHAN, J.: Problematika kvantifikace ztrát z strojů samojízdných sklizňových strojů ve vazbě na jejich technickou pohotovost. [Výzkumná zpráva.] Praha, VVÚ STS a OZS 1990.
- ZAHRAĐNÍČEK, J.: Zlepšování technologické jakosti cukrovky. [Výzkumná zpráva.] Praha, Výzkumný ústav cukrovarnický 1988.

Došlo 9. 6. 1994

Kontaktní adresa:

Ing. Jan Kochan, CSc., Domažlická 1648, 251 01 Říčany, Česká republika

UMWELT- UND TIERGERECHTE MASTSCHWEINEHALTUNG

Auswertung des Bundeswettbewerbs Landwirtschaftliches Bauen 1993/94

Bockisch, F. J. – Braun, S. – Fritzsche, S. aj., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstraße 49, 64 289 Darmstadt, 1995, 147s.

Publikace je společnou prací kolektivu autorů pod vedením Stephana Fritzsche, reprezentujícího Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt. Má celkem 147 stran, 85 obrázků a jednu tabulku. Autoři se v ní zaměřili na aktuální otázky týkající se současných farem výkrmu prasat, řešených s ohledem na ochranu zvířat a životního prostředí. Při zpracování této publikace využili zkušeností ze soutěže v oboru zemědělských staveb, která probíhala mezi zemědělci ve SRN. Cílem soutěže bylo zejména snížit vznik a únik zápachu ze stájových objektů do okolí, omezit množství produkovaného hnoje, dodržet zákony na ochranu zvířat a přitom splňovat kritéria kvality masa pro spotřebitele.

Publikace je rozčleněna do čtyř základních kapitol. V úvodní kapitole jsou uvedeny záměry, cíle, podmínky a kritéria pro vyhodnocení soutěže. Vycházelo se především z nezastupitelné úlohy, kterou výkrm prasat pro německé zemědělství představuje. Na jedné straně je třeba dosahovat vysoké produktivity práce s využitím výhod specializace a příslušného technického vybavení, na druhé straně byl důraz kladen na dodržení ekologických požadavků a principů vycházejících ze zásad ochrany zvířat.

Ve druhé kapitole autoři stručně charakterizují jednotlivé farmy. Kromě všeobecných údajů, jako jsou např. kapacita stáje, výměra půdy atd., jsou zde uvedeny především základní znaky vystihující celkovou koncepci stáje a její technologii, technické vybavení pro krmení, odklíz výkalů, větrání apod. Zdůrazněny jsou vliv a působení na životní prostředí a ochrana zvířat. Zajímavé jsou také informace o investicích, nákladech a provozních výsledcích farem. Popis jednotlivých farem je zpracován věcnou a srozumitelnou formou a poskytuje čtenáři dobrý přehled o situaci na farmách.

Ochrana životního prostředí a zásady chovu zvířat s ohledem na dodržení příslušných zákonů o ochraně zvířat jsou obsahem třetí kapitoly. V osmi částech zde autoři podrobněji rozvádějí jednotlivé aspekty této problematiky z hlediska stavby, technologie, manipulace s výkaly, techniky krmení atd.

V poslední, čtvrté kapitole jsou stručně zhodnoceny výsledky soutěže Landwirtschaftliches Bauen 1993/94 a jsou uvedeny závěry, které lze na základě získaných zkušeností doporučit pro praxi.

Souhrnně je možné publikaci zhodnotit jako zdařilou. Z uvedených příkladů zjištěných na německých farmách i z dalších shrnutých informací lze získat některé nové poznatky o problematice, která je v současné době velmi aktuální i v našem zemědělství.

Doc. Ing. Pavel K i c, DrSc.

KINETOSTATICKÁ ANALÝZA VÁZANÝCH MECHANICKÝCH SOUSTAV U ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ

KINETOSTATIC ANALYSIS OF BOUND MECHANICAL SYSTEMS IN FARM MACHINERY

E. Malenovský, A. Loprais

Institute of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Brno

ABSTRACT: The contribution deals with the problems of kinetostatic solution of bound mechanical systems with application to farm machinery. Farm machines remind in many aspects open kinematic chains, eventually an internal point can be solved separately as a closed one and this solution results in inclusion in open chain. The matrix method is suitable for solution of the task of kinematics and kinetostatics, i.e. an assignment of position, velocity and acceleration of forces. Its suitability consists particularly in simple and lucid symbols which can be easily used for software processing of the computing system. An attention was paid to these problems at the Department of Mechanics of Bodies, Technical University, Faculty of Mechanical Engineering and two program systems were processed. The first program system, named OKR, is destined for solutions of the kinematic tasks and is suitable for open kinematic chains up to 100 bodies. This number is enough from the point of view of technical applications. Another paper is also devoted to this problem (Team of authors, 1989). An algorithm also served for software processing of kinematics of the closed kinematic chains. The second program system, named OKRS, intended for solution of kinetostatics, which is in the centre of attention of this paper, is concentrated upon the force solution with the main output of force relationships in bounds among individual rigid bodies. External general force effects, i. e. forces and moments of driving, load and gravity forces, can be included in this program system. An algorithm of calculation in these tasks is generally composed of two calculating steps. The first one is a mathematical solution while data for position, velocity and acceleration are kept. In this case, the solution starts from the basic body to the last one in the chain. To calculate the acceleration, it is necessary to use an algorithm calculating Ressel angular acceleration which is to be known for kinetostatic solution. In the second step force effects are calculated while the solution starts from the last body in the chain to the basic one. The paper gives an algorithm of solution which served as a basis for software processing. It can be used for preparation of own program systems. Algorithms for solution of the tasks of kinematics and kinetostatics are chosen in such a way to take the place in memory as little as possible. Demands for the memory are not so dependent on the number of bodies in the chain.

number of matrices; transformation matrix; algorithm of calculation; kinetostatic solution

ABSTRAKT: Článek se zabývá problematikou kinetostatického řešení vázaných mechanických soustav s aplikací na zemědělské stroje. Zemědělské stroje v mnohém připomínají otevřené kinematické řetězce, popřípadě lze řešit jeden vnitřní uzel odděleně jako uzavřený a výsledek tohoto řešení včlenit do otevřeného řetězce. Pro řešení úlohy kinematiky i kinetostatiky, tj. určení polohy, rychlosti a zrychlení sil, je vhodná maticová metoda. Její vhodnost spočívá zejména v jednoduché a přehledné symbolice, kterou lze velmi jednoduše využít pro softwarové zpracování výpočetního systému. Tato problematika byla na katedře mechaniky těles Vysokého učení technického, fakulty strojní v Brně věnována pozornost a byly zpracovány dva programové systémy. První programový systém s názvem OKR je určen pro řešení úloh kinematiky a je vhodný pro otevřené kinematické řetězce do 100 těles. Z hlediska technických aplikací je tento počet plně postačující. Tato problematika je věnován jiný článek (K o l e k t i v, 1989). Algoritmus rovněž sloužil pro softwarové zpracování kinematiky uzavřených kinematických řetězců. Druhý programový systém s názvem OKRS pro řešení kinetostatiky, kterému je věnována hlavní pozornost v tomto článku, je zaměřen na silové řešení s hlavním výstupem silových poměrů ve vazbách mezi jednotlivými tuhými tělesy. Do tohoto programového systému lze zahrnout vnější zobecněné silové účinky, tj. síly i momenty jak hnací, tak zátěžné a tíhové síly. Při řešení se rovněž počítá se zobecněnými setrvačnými silovými účinky. Algoritmus výpočtu se při těchto úlohách obecně skládá ze dvou výpočetních kroků. První krok představuje kinematické řešení, přičemž se pro jednotlivá tělesa uchovávají data pro polohu, rychlost a zrychlení. V tomto případě se při řešení postupuje od základního tělesa k poslednímu tělesu v řetězci. Pro výpočet zrychlení je nutné použít algoritmu počítajícího Resselova úhlového zrychlení, které je potřeba znát pro kinetostatické řešení. Ve druhém kroku se počítají silové účinky, přičemž se při řešení postupuje od posledního tělesa v řetězci k tělesu základnímu. V článku je uveden algoritmus řešení, který sloužil jako základ pro softwarové zpracování. Lze jej využít pro tvorbu vlastních programových systémů. Algoritmy pro řešení úloh kinematiky a kinetostatiky jsou koncepčně voleny tak, aby zabíraly co nejméně paměti. Nároky na paměť nejsou tak závislé na počtu těles v řetězci.

maticový počet; transformační matice; algoritmus výpočtu; kinetostatické řešení

ÚVOD

Zemědělské stroje a zařízení svojí funkčností a strukturou v mnohém připomínají prostorově vázané mechanické soustavy a jsou ve své podstatě mechanismy.

Pro kinematickou analýzu a řešení úloh kinetostatiky (včetně kvazistatiky) je základem řešení problému současných prostorových pohybů těles, které lze vhodně formulovat pomocí maticových zápisů.

Výhody maticových zápisů spočívají v jejich jednoduchosti, přičemž lze produktivně vyjádřit velkou četnost geometrií, těles, rychlostí atd. vyšetřované soustavy.

Hlavní výhodou je možnost algoritmického zpracování maticových zápisů pro řešení na počítači.

Maticovou metodu pro kinematickou analýzu uvedli ve své práci Seknička a Loprais (1989). Tento příspěvek se zabývá rozšířením na kinetostatickou analýzu, jejíž základ popsali Brát (1981) a Loprais (1988).

Při řešení úloh kinetostatické analýzy mechanických soustav zemědělských strojů lze využít dvou metod algoritmického zpracování na počítači, a to metody obecné a metody postupné.

Při obecné metodě jsou řešena všechna tělesa s možnostmi uchovat výstupní data všech těles. Při postupné metodě je úloha řešena na tělese ve vazbě se sousedním tělesem bližším k rámu, a to v souřadnicovém systému vyšetřovaného tělesa s přepisem výstupních dat při přechodu na jiná tělesa. V tomto příspěvku je využita obecná metoda.

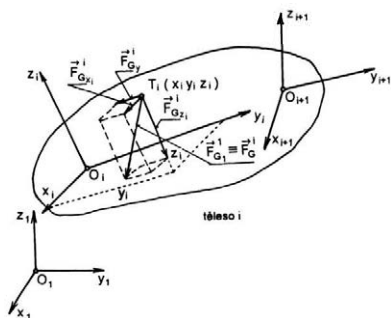
PROGRAM ROBOT

Pro řešení úloh kinematické a kinetostatické analýzy vázaných mechanických soustav byl na katedře mechaniky těles Strojní fakulty Vysokého učení technického Brno sestaven program ROBOT. Tento program řeší úlohu polohy, rychlosti, zrychlení a silových účinků otevřených kinematických řetězců se šesti stupni volnosti (sedmi tělesy), který byl popsán již dříve (Kolektiv, 1989). Přeprogramování tohoto programu vznikly programy OKR a OKRS, které řeší kinematické a silové poměry otevřených kinematických řetězců. Program OKR řeší problematiku pohybu prostorových vázaných mechanických soustav s maximálním počtem 100 těles. V tomto článku je pozornost věnována kinetostatickému řešení, sestavení algoritmu, popisu programu a technické aplikaci.

Program umožňuje zahrnout na uvolněné těleso působení těchto sil:

- tíhové,
- primární vnější s účinkem hnaným,
- setrvačné,
- primární vnější s účinkem hnacím.

Nejprve popíšeme zahrnutí tíhových sil do výpočtu. Na obr. 1 je znázorněno i -té těleso s polohou těžiště



1. Schematické znázornění tělesa i v souřadnicových systémech – Diagram of the body i in the coordinate systems

$T[x_i, y_i, z_i]$. Pro tíhové síly, které se nejdříve transformují ze souřadnicového systému základního tělesa do prostoru souřadnicového systému daného tělesa, platí:

$$F_{GT_i}^i = C_{1i} \cdot F_{GT_i}^1 \quad (1)$$

kde: $F_{GT_i}^i$ – sloupcová matice tíhové síly tělesa i v souřadnicovém systému i

C_{1i} – transformační matice řádu 3×3 ze souřadnicového systému tělesa 1 do souřadnicového systému tělesa i při nezměněném působení tíhové síly, tj. těžiště

$F_{GT_i}^1$ – sloupcová matice tíhové síly tělesa i v souřadnicovém systému tělesa 1

Pro matici C_{1i} platí:

$$C_{1i} = C_{1i}^T = C_{1i}^{-1}$$

Ekvivalentní celkový tíhový účinek v počátku souřadnicového systému tělesa i se stanoví podle vztahu

$$Q_{GO_i}^i = N_{T,O_i} \cdot Q_{GT_i}^i \quad (2)$$

kde: $Q_{GT_i}^i$ – sloupcová matice tíhové síly v těžišti T_j a v souřadnicích souřadnicového systému tělesa i , tj.

$$Q_{GT_i}^i = \begin{bmatrix} F_{GT_i}^i \\ 0 \end{bmatrix}$$

Ekvivalentní tíhový účinek v počátku souřadnicového systému tělesa i se stanoví podle vztahu (2) a jeho sloupcová matice je

$$Q_{GO_i}^i = \begin{bmatrix} F_{GO_i}^i \\ M_{GO_i}^i \end{bmatrix}$$

N_{T,O_i} je matice ekvivalence tělesa i mezi těžištěm a počátkem souřadnicového systému tělesa i řádu 6×6 se strukturou

$$N_{T,O_i} = \begin{bmatrix} E & 0 \\ R_{T,O_i} & E \end{bmatrix}$$

kde: R_{T,O_i} – antisymetrická singulární matice souřadnic těžiště T_j stykových sil i

Pro ekvivalentní bivektorový účinek vnějšího zatížení působící v O_i platí vztah (přepočten z bodu M_j do bodu O_i)

$$Q_{M_j O_i}^i = N_{M_j O_i}^i \cdot Q_{M_j}^i \quad (3)$$

přičemž matice $Q_{M_j}^i$ je řádu 6×1 a obsahuje silové i momentové účinky.

Setrvačný účinek v souřadnicovém systému tělesa i s působištem v těžišti T_i se stanoví podle vztahu

$$Q_{ST_i}^i = - \begin{bmatrix} m_i \cdot a_{T_i} \\ O_i \alpha_i + \Omega_i O_i \omega_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

kde: O_i – tenzor setrvačnosti daného tělesa

$$O_i = \begin{bmatrix} I_x & -D_{xy} & -D_{xz} \\ -D_{yx} & I_y & -D_{yz} \\ -D_{zx} & -D_{zy} & I_z \end{bmatrix}$$

kde: I_x, I_y, I_z – osové momenty setrvačnosti

$D_{xy} = D_{yx}, D_{yz} = D_{zy}, D_{xz} = D_{zx}$ – deviační momenty setrvačnosti

x, y, z – osy souřadnicového systému i

Ω_i, ω_i – čtvercová a sloupcová matice, jejichž prvky se určí z matice V_{i1}

α_i – sloupcová matice, jejíž prvky se určí z matice A_{i1}

a_{T_i} – sloupcová matice zrychlení těžiště tělesa i

Poznámka: Kinematické veličiny rychlosti a zrychlení se získají z předchozího řešení úlohy kinematiky.

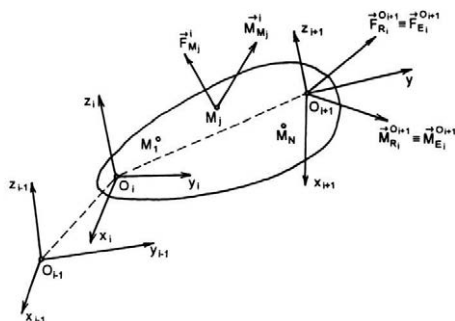
Ekvivalentní setrvačný účinek ve vazbě tělesa i v počátku O_i se stanoví podle vztahu

$$Q_{SO_i}^i = N_{T O_i}^i \cdot Q_{ST_i}^i \quad (5)$$

Zahrnutí stykových sil do výpočtu je založeno na transformaci ekvivalentního silového účinku ze souřadnicového systému předchozího tělesa do souřadnicového daného tělesa (obr. 2).

Nechť v bodě O_{i+1} v souřadnicovém systému tělesa i je znám stykový bivektor

$$Q_{RO_{i+1}}^i = \begin{bmatrix} F_{RO_{i+1}}^i \\ M_{RO_{i+1}}^i \end{bmatrix}$$



2. Schematické znázornění vnějších a stykových sil působících na těleso i – Diagram of external and contact forces acting on the body i



Výpočtový program

Výsledný stykový účinek ve vazbě s tělesem bližším k rámu vyplývá z řešení rovnic ekvivalence vyšetřovaného tělesa, tedy

$$Q_{RO_i}^j = N_{O_{i+1}, O_i} \cdot Q_{RO_{i+1}}^j \quad (6)$$

Výsledný ekvivalentní účinek v bodě O_i v souřadnicovém systému daného tělesa je dán součtem dílčích ekvivalentních účinků tíhové síly, setrvačné, vnější a stykové z předchozího tělesa:

$$Q_{EO_i}^j = Q_{GO_i}^j + Q_{VO_i}^j + Q_{SO_i}^j + Q_{RO_i}^j \quad (7)$$

Odpovídající stykový účinek v bodě O_i vyjádřený v souřadnicovém systému tělesa $i-1$ je:

$$Q_{RO_i}^{j-1} = \bar{C}_{i, i-1} \cdot Q_{EO_i}^j \quad (8)$$

kde:

$$\bar{C}_{i, i-1} = \begin{bmatrix} C_{i, i-1} & O \\ 0 & C_{i, i-1} \end{bmatrix} \quad (8)$$

přičemž $\bar{C}_{i, i-1}$ jsou již dříve popsány transformační matice.

Při přechodu na další těleso se celý postup opakuje.

Výpočtový program OKRS je rozšířením dosavadního programu ROBOT a jeho blokové schéma je následující. Nejdříve probíhá výpočet kinematických veličin včetně přepočtu tíhových sil, přičemž se postupuje od prvního tělesa k poslednímu. Následuje kinetostatic-

ké řešení s postupem od posledního tělesa k základnímu.

ZÁVĚR

Uvedeným postupem lze efektivně s využitím počítače řešit mechanické soustavy zemědělských strojů. Výhodou je rychlost výpočtu a možnost postprocesingového zpracování výsledků výpočtu včetně grafického výstupu.

LITERATURA

- BRÁT, V.: Maticové metody v analýze a syntéze prostorových mechanických systémů. Academia, Praha 1981.
KOLEKTIV: Kinematická analýza vázaných mechanických soustav zemědělských strojů. In: Sbor. VŠZ Brno, řada D, XXV, 1989 (1, 2).
LOPRAIS, A.: Mechanika manipulačních zařízení (PRaM). FS VUT, Brno 1988.
SEKNIČKA, M. – LOPRAIS, A.: Analýza otevřených kinematických řetězců u zemědělských strojů. Zeměd. Techn., 35, 1989 (7): 417–421.

Došlo 20. 3. 1995

Kontaktní adresa:

Doc. Ing. Eduard Malenovský, CSc., Vysoké učení technické, fakulta strojní, Technická 2, 646 69 Brno, Česká republika

APLIKÁCIA INTERAKTÍVNEHO VÝPOČTOVÉHO SYSTÉMU MECHANIKY KONTINUA PRI PEVNOSTNEJ ANALÝZE ODVETVOVACEJ HLAVICE

INTERACTIVE CALCULATION SYSTEM OF CONTINUUM MECHANICS APPLICATIONS TO STRENGTH ANALYSIS OF A DELIMBING HEAD

M. Mikleš

Technical University, Faculty of Forestry, Zvolen, Slovak Republic

ABSTRACT: Calculation procedures used in the past did not allow to find quickly an optimum shape of individual knots of machines, because it was not possible to calculate the complex fields of deformations based on the dimensions of acting forces. To measure the dimensions is connected to merely average values of stress, therefore the link to the complex and actual shape of bodies is not sufficient. All the above reasons led to search for ways how to improve the calculation of deformation fields and stresses. One of the most suitable methods to find out deformations and stresses in the construction and knots is also interactive calculation system of continuum mechanics (IVS MKP) based on the finite elements method, limit elements method and finite bands method. The system was developed in ZTS-WUSAM Zvolen. The contribution shows its application in strength analysis of delimbing head and its different functional parts.

interactive calculation system; continuum mechanics; strength analysis; delimbing head

ABSTRAKT: Výpočtové postupy, ktoré sa používali v minulosti, neumožňovali rýchle nájsť optimálny tvar jednotlivých uzlov strojov, lebo nebolo možné podľa veľkosti pôsobiacich síl určiť výpočtom zložité polia deformácií. Určovanie rozmerov sa viaže len na priemerné hodnoty napätí, a preto väzba na zložitý a skutočný tvar telies nie je dostatočná. Všetky tieto dôvody viedli k hľadaniu ciest na zdokonalenie výpočtu polí deformácií a napätí. Jednou z najvhodnejších metód na zisťovanie deformácií a napätí v konštrukcii a uzloch je aj interaktívny výpočtový systém mechaniky kontinua – IVS MKP, ktorý je založený na báze metódy konečných prvkov, metódy hraničných prvkov a metódy konečných pásov. Systém vznikol v ZTS-WUSAM Zvolen. V príspevku je demonštrovaná jeho aplikácia pri pevnostnej analýze odvetvovacej hlavice a jej jednotlivých funkčných častí.

interaktívny výpočtový systém; mechanika kontinua; pevnostná analýza; odvetvovacia hlavica

ÚVOD

Optimálne navrhovanie konštrukcií je podmienkou pre zníženie ich hmotnosti a zvýšenie ich prevádzkových vlastností. K tomu, aby konštruktér poznal chovanie sa navrhovanej konštrukcie v etape tvorby výkresovej dokumentácie, je nutné, aby využíval najnovšie poznatky numerických metód - mechaniky kontinua. Tieto metódy obsahuje interaktívny výpočtový systém (IVS) mechaniky kontinua.

Interaktívny výpočtový systém mechaniky kontinua je založený na báze metódy konečných prvkov, metódy hraničných prvkov a metódy konečných pásov. Má stavebnicovú štruktúru, ktorú možno prispôbiť požiadavkám užívateľa. Je určený pre konštruktérov v strojárstve, ale i pre špecialistov v oblasti numerických metód.

MATERIÁL A METÓDY

Systém IVS mechaniky kontinua umožňuje: riešiť statickú a dynamickú analýzu priestorových konštrukcií v lineárnej oblasti, v oblasti plasticity a medzných stavov, šírenie tepla a prúdenie kvapalín.

Systém pozostáva zo samostatných modulov. Ich zadávaním, zodpovedajúcim potrebe a možnostiam užívateľa, je možné meniť veľkosť a schopnosti systému. Systém IVS je riadený viacúrovňovým menu. Každá voľba je podporená voľbou HELP, ktorá stručne informuje o možnostiach zvolenej cesty a je stručným návodom na zadávanie vstupných hodnôt. IVS obsahuje databanku vstupných a výstupných hodnôt. Prostredníctvom databanky je systém prepojený s ostatnými systémami CAD.

Súčasnou sústavou je sústav IVS MOD, ktorý umožňuje geometrické modelovanie konštrukcie. Súčasťou geometrického modelovania je vytváranie sietí prvkov.

Geometrické modely konštrukcie vytvárame pomocou:

- rovinných oblastí,
- priamkových plôch,
- skrutkovicových plôch,
- B-spline a Coonových plôch.

Takto vytvorené časti konštrukcie je možné medzi sebou vzájomne spájať v jeden celok. Geometrické modelovanie konštrukcie možno kontrolovať pomocou grafického zobrazovača.

IVS obsahuje tieto konečné prvky pre statickú a dynamickú analýzu:

- prút 3-D
- nosník 3-D
- nosník 3-D Mindlinova teória
- kinematický 3-D
- prvok rovinné deformácie
- prvok rovinné napätosti
- osovo symetrický prvok
- prvok tenkej dosky
- prvok tenkej škrupiny
- stenodoskový prvok Mindlinova teória
- prvok priestorovej napätosti
- prvok hrubej dosky
- hrubý škrupinový prvok
- posuvná pružina
- rotačná pružina
- vrstvené prvky

Všetky uvedené prvky, okrem rotačne symetrických prvkov, možno vzájomne kombinovať. Sústav obsahuje:

- konečné prvky na šírenie tepla,
- rovinnú napätosť,
- rovinnú deformáciu,
- rotačne symetrický pás.

Hraničné prvky statiky, šírenie tepla:

- rovinná napätosť,
- rovinná deformácia,
- priestorové úlohy.

V úlohách MKP možno vytvárať makroprvky do 10. úrovne. Do programového systému možno jednoducho vložiť nové typy prvkov. Sústav lineárnych algebraických rovníc je v IVS riešený:

- pásovým algoritmom,
- sky-line algoritmom.

Na optimalizáciu šírky pásu sa dá využiť optimizačný program.

Voľba vhodného algoritmu je veľmi dôležitá pre čas potrebný na riešenie úlohy. Jeho dĺžka priamo závisí od počtu aritmetických a logických operácií príslušného algoritmu vzhľadom na riešenú úlohu.

V lineárnej elastostatickej úlohe sa počítajú deformácie v jednotlivých uzloch konštrukcie a napätia na každom prvku, v závislosti od zadaných vonkajších síl, resp. teplôt.

Pri všetkých typoch analýz možno interaktívne zasahovať do chodu programu vzhľadom na priebežné výsledky výpočtu.

Grafické zobrazovanie vstupných hodnôt, a to geometrického modelu konštrukcie, vonkajších síl a okrajových podmienok a výstupných hodnôt v priebehu deformácie, napätí, teplôt a vlastných tvarov, umožňuje výkonný grafický zobrazovač.

Sústav IVS je obojstranne prepojený so sústavom AUTOCAD prostredníctvom súborov .DWG a .DXF. V prostredí systému AUTOCAD je možné snímať súradnice významných bodov konštrukcie, ktoré sú potrebné pre následné generovanie sietí prvkov. Toto umožňuje špeciálna funkcia GEN, ktorá bola vytvorená v jazyku AUTOLISP.

Programový sústav je napísaný v programovacích jazykoch Fortran, C, Turbo PASCAL.

Minimálna konfigurácia technických prostriedkov: 16-bitový personálny počítač (IBM kompatibilný) obsahujúci

- paralelný port,
- pamäť 640 kB RAM,
- pevný disk 20 MB,
- farebný monitor a grafický adaptér štandardu EGA (640 x 350).

Možné rozšírenie technických prostriedkov:

- koprocesor,
- pevný disk 40 MB a viac,
- tlačiareň (EPSON kompatibilná),
- grafický monitor a grafický adaptér štandardu VGA,
- myš,
- snímač súradníc,
- súradnicový zapisovač používajúci jazyk HPGL,
- ďalšie rozšírenia podľa dohody s užívateľom,
- operačný sústav MS-DOS, verzia 3.0 a vyššia.

Základnou časťou každého algoritmu MKP je voľba parametrov diskretizácie kontinua pre formulovaný výpočtový model.

Diskretizácia kontinua je určená:

- geometriou prvkov v priestore, v ktorom je úloha definovaná,
- usporiadaním prvkov tak, aby sa riešená spojitá oblasť a súbor prvkov odlišovali len v okolí hranice oblastí,
- tvarom bázeovej funkcie na každom prvku,
- významom parametrov bázeových funkcií.

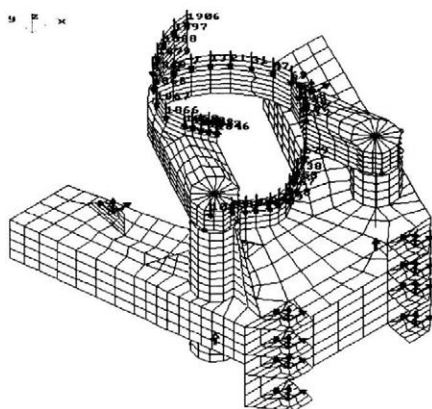
VÝSLEDKY

Pri pevnostnej analýze odvetvovacej hlavice slúžila ako podklad výkresová dokumentácia lesného odvetvovacieho stroja LOS 160-ZTS Martin.

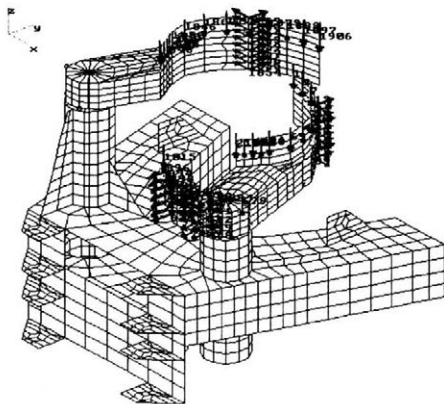
Postup výpočtu

Úloha bola riešená metódou konečných prvkov s využitím:

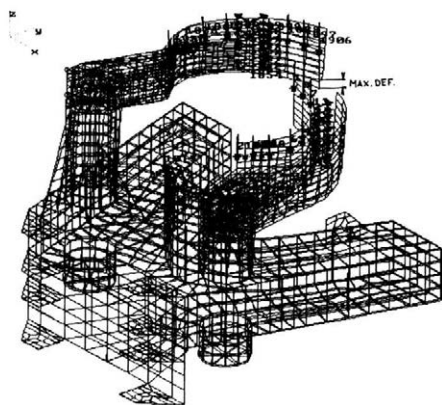
- a) 4-uzlového steno-doskového prvku. Prvok má šesť stupňov voľnosti v uzle - tri posunutia a tri natočenia. Lokálna matica tuhosti prvku má rozmer 24 x 24.



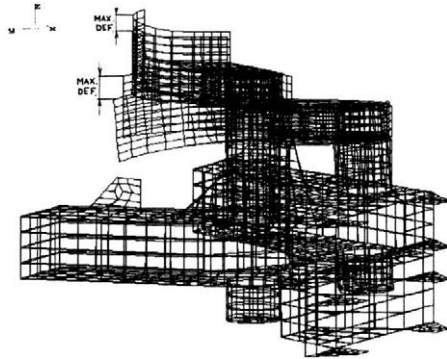
1. Prvý zafažovací stav od pretahovacej sily $F_1 = 40$ kN – The first loading state from stretching force $F_1 = 40$ kN



3. Tretí zafažovací stav: prvý zafažovací stav + druhý zafažovací stav + vlastná tiaž kmeňa stromu – Third loading state: first loading state + second loading state + dead weight of trunk



2. Druhý zafažovací stav: prvý zafažovací stav + prítlačacia sila odvetvovacích nožov $F_2 = 12$ kN – Second loading state: first loading state + thrust force of branch-trimming knives $F_2 = 12$ kN



4. Priebeh deformácií v konštrukcii pri zafažovacích stavoch – Variation of deformations in construction during loading states

b) 3-uzlového nosníkového prvku. Prvok má šesť stupňov voľnosti v uzle – tri posunutia a tri natočenia. Lokálna matica tuhosti prvku má rozmer 12×12 .

Prvky sú súčasťou knižnice prvkov Interaktívneho výpočtového systému mechaniky kontinua a sú vzájomne plne kompatibilné.

Konštrukcia bola rozdelená na 47 nosníkových prvkov, 1 895 steno-doskových prvkov a 1 906 uzlov.

Plošné prvky popisujú matematický model telesa hlavice s ramenami pohyblivých nožov, nosníkové prvky hriadeľa pohyblivých nožov.

1. Odvetvovacia hlavica

Pri výpočte sme uvažovali o troch zafažovacích stavoch:

1. od celkovej obvodovej pretahovacej sily $F_1 = 40$ kN pôsobiacej po celej dĺžke ostria nožov (obr. 1),

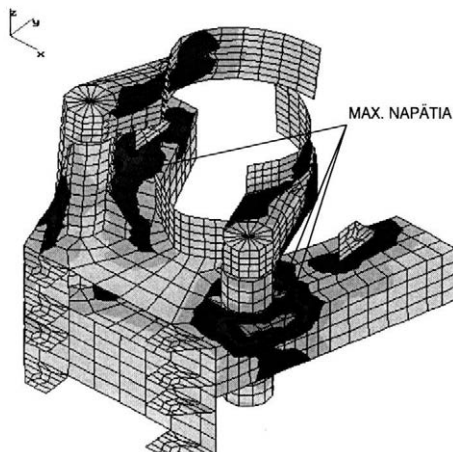
2. prvý zafažovací stav + prítlačacia sila od odvetvovacích nožov $F_2 = 12$ kN pôsobiaca po výške noža (obr. 2),

3. prvý zafažovací stav + druhý zafažovací stav + vlastná hmotnosť kmeňa stromu $F_3 = 20$ kN pôsobiaca po výške pevného noža (obr. 3).

Zafažovací stav 1

Maximálna deformácia v konštrukcii je 2,56 mm v smere pôsobenia obvodovej sily na voľných koncoch pohyblivých nožov (obr. 1).

Maximálne redukované napätie v plošných prvkoch telesa odvetvovacej hlavy je 121,2 MPa.



5. Maximálne redukované napätie v plošných prvkoch (zaťažovací stav 2) – Maximum reduced stress in surface elements (loading state 2)

maximálne napätia – maximum stresses

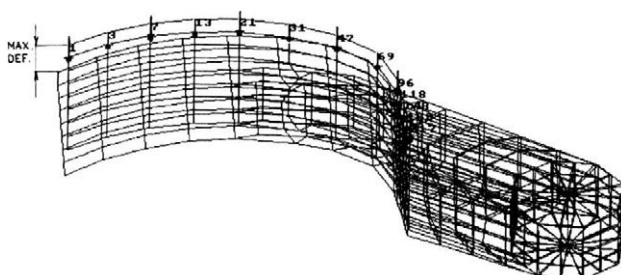
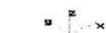
Zaťažovací stav 2

Priebeh deformácií v konštrukcii pri zaťažovacom stave 2 je znázornený na obr. 4. Maximálna deformácia je v smere pôsobenia obvodovej sily a má hodnotu 2,46 mm.

Maximálne redukované napätie v plošných prvkoch telesa odvetvovacej hlavy má hodnotu 190 MPa (obr. 5).

Zaťažovací stav 3

Priebeh deformácií v konštrukcii pri zaťažovacom stave 3 je zhodný s druhým zaťažovacím stavom (obr. 3), ako aj s veľkosťou maximálneho redukovaného napätia.



6. Zaťažovací stav pohyblivého noža hlavice – Loading state of moving knife of head

Pre značnú veľkosť súborov deformácií až 7 640 riadkov a napätí 7 938 riadkov sú:

- numerické hodnoty deformácií popísané v súbore „def.dat“ sú uložené na diskete,
- numerické hodnoty napätí v plošných a nosníkových prvkoch popísané v súbore „nap.dat“ sú na diskete.

2. Kontrolný výpočet pohyblivého noža

Pohyblivý nôž bol zaťažený 1/3 obvodovej odvetvovacej sily $F = 12\,222\text{ N}$ po celej dĺžke ostria (obr. 6).

Po vykonaní výpočtu sme dospeli k zhodným výsledkom deformácií (obr. 6), ako aj k veľkostiam výsledných redukovaných napätí (obr. 7) s celkovým riešením odvetvovacej hlavice.

3. Pevnostný výpočet ostria odvetvovacieho noža v závislosti od jeho tvaru

Popis výpočtu

Pri výpočte sme brali do úvahy ostrie odvetvovacieho noža rozdelené na 3 600 prvkov rovinnnej napätosti s počtom uzlov 1 981 (obr. 8):

- nezaoblené ostrie,
- zaoblené ostrie $R = 0,15\text{ mm}$.

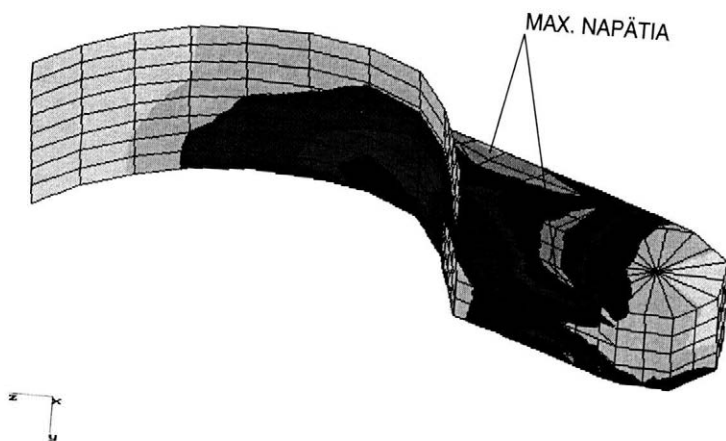
Zaťaženie ostria

Pre porovnanie veľkostí napätí v jednotlivých tvaroch rezného ostria sme zvolili zaťaženie od obvodovej reznej sily $F = 17\text{ kN}$ pôsobiacej spojitě po celej dĺžke ostria noža, t.j. 157 mm (obr. 8, Výkresová dokumentácia nožov).

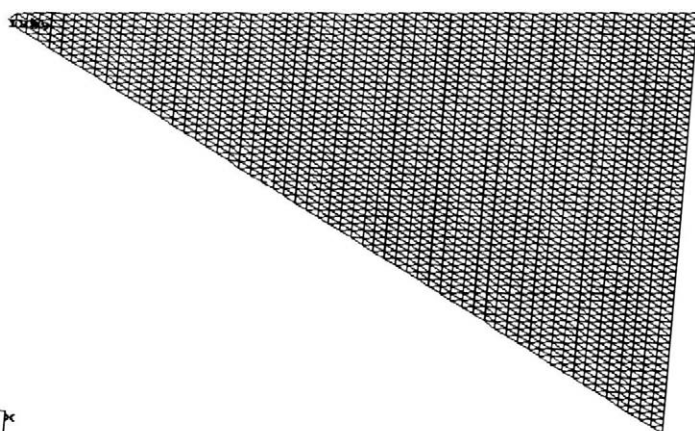
Popis výsledkov

Deformácie:

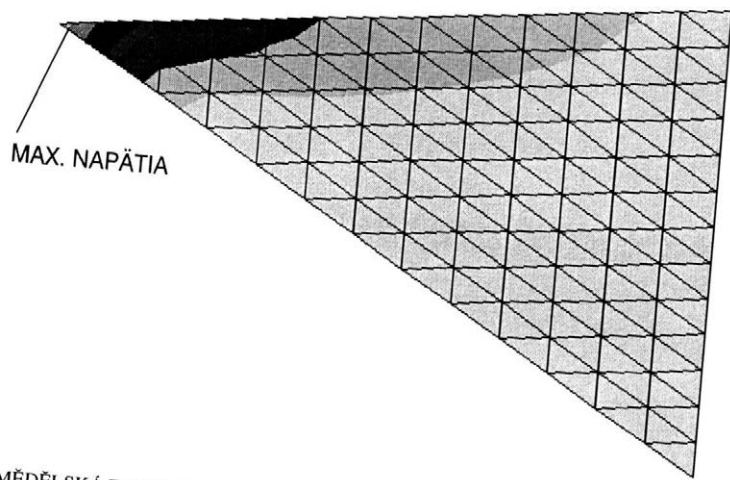
- nezaoblené ostrie $Y = 0,0165$ $Z = 0,00841$
- oblé ostrie $Y = 0,0099$ $Z = 0,00543$
- nezaoblené ostrie 1 354 MPa (obr. 9)



7. Maximálne redukované napätie pohyblivého noža – Maximum reduced stress of moving knife



8. Rozdelenie ostria noža na prvky rovinatej napätosti, zataženie $F = 17$ kN – Distribution of knife cutting edge into elements of state of plane stress, loading $F = 17$ kN



9. Redukované napätia, nezaoblené ostrie – Reduced stresses, non-rounded cutting edge



MAX. NAPÄTIA

10. Redukované napätia, zaoblené ostríe – Reduced stresses, rounded cutting edge

– oblú ostriu 713 MPa (obr. 10)

ZÁVER

Riešenie vyhodnotíme pre všetky zaťažovacie stavy naraz.

Keďže výsledné redukované napätie v telese hlavice odvetvovacieho stroja ani v jednom prípade nedosiahne hranicu medze klzu daného materiálu pri zaťažení maximálnymi silami, usudzujeme, že navrhnutá konštrukcia odvetvovacej hlavice vyhovuje pre tento spôsob zaťaženia.

Z vypočítaných veľkostí výsledných redukovaných napätí na ostrí noža môžeme usudzovať, že polomer zaoblenia ostria má značný vplyv na veľkosť napätia na ostrí, a tým aj na životnosť nástroja.

Pri porovnaní systému IVS MK s bežne používanými systémami, napr. ANSYS, COSMOS, možno konštatovať, že tento systém je určený predovšetkým pre výpočty v strojárstve. Je to systém uzatvorený a v prípade rozšírenia je potrebné sa obrátiť na autorskú firmu WUSAM Zvolen. Systém je prakticky rovnocenný so

systémom COSMOS. Pri nákupe zrejme rozhodnú ekonomické možnosti užívateľa. Systém ANSYS pre porovnanie je otvorený a univerzálnejší. Podľa požiadaviek užívateľa je prístupný a dá sa rozšíriť, má vlastný jazyk a je vybavený certifikátom v zmysle ISO 9001. Súčasne však je značne finančne nákladnejší. Autorská firma WUSAM Zvolen intenzívne pracuje na rozšírení a zdokonalení systému IVS MK.

LITERATÚRA

- MIKLEŠ, M. a kol.: Teória a stavba lesných strojov II. ES TU, Zvolen 1993. 273 s.
EISNER, I. a kol.: Interaktívny výpočtový systém metódy konečných prvkov pre osobné počítače – Teória a algoritmy. DT ČSTV, Banská Bystrica 1990. 339 s.
EISNER, I. a kol.: Interaktívny výpočtový systém metódy konečných prvkov pre osobné počítače – Uživatelská príručka. DT ČSTV, Banská Bystrica 1990. 277 s.

Došlo 6. 2. 1995

Kontaktná adresa:

Doc. Ing. Milan Mikleš, CSc., Lesnícka fakulta Technickej univerzity, ul. T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, tel.: 0855/635, fax: 0855/226 54

EFFECT OF TUBER TEMPERATURE AND LAPSED TIME BETWEEN VINE KILLING AND POTATO HARVESTING ON THE SUSCEPTIBILITY OF POTATOES TO SERIOUS INJURY

VLIV TEPLoty HLÍZ BRAMBOR A ČASOVÉHO ROZPĚTÍ OD POSTŘIKU DESIKAČNÍM PŘÍPRAVKEM PO SBĚR NA NÁCHYLNOST BRAMBOR K TĚŽKÉMU POŠKOZENÍ

G. C. Misener

Agriculture Canada, Research Station, Fredericton, New Brunswick, Canada

ABSTRACT: The incidence and magnitude of severely injured tubers were examined to determine their response to tuber temperature and lapsed time between vine killing and potato harvesting. Severe injury, which is the dominant damage component affecting the marketability of the tubers, increased with either lower tuber temperature or longer time lapses between vine killing and potato harvesting. The susceptibility of the tubers to severe injury significantly increased after the third week from the date of vine kill application. Likewise, tubers exhibited a higher magnitude of severe injury when handled at 1 to 5 °C compared to 20 °C.

webbed conveyor; potatoes; injury of tubers; tuber temperature

ABSTRAKT: Laboratorně je možné spolehlivě vyšetřit mechanické poškození hlíz brambor jen tehdy, vezmou-li se v úvahu faktory ovlivňující stupeň poškození brambor při sklizni a posklizňové manipulaci v přírodních podmínkách. Těmito faktory jsou: vytřásání, počet pádů, možnost otlacení a odseknutí částí hlízy. Na testování byl sestaven okruh dopravníků, který simuloval různé situace při kombajnové sklizni (obr. 1). Pásový dopravník dopravil brambory na druhý pás, pohybující se kolmo. Z něho se brambory dostaly na dopravní pás a potom do rotujícího bubnu. Oběh ukončovaly dva přidávané pásy. Celková délka dráhy byla 17,1 m, což představuje typický sklizeč brambor, a počet pádů – sedm – byl rozložen na vzdálenost 1 840 mm včetně bubnu. Buben měl 12 rovnoměrně rozdělených 25 mm širokých křidel, jeho průměr činil 760 mm a pohyboval se rychlostí 14 otáček za minutu. Maximální výška, ze které brambor může spadnout, je průměr bubnu. Celý oběh trvá 200 sekund a představuje mnoho podmínek, které se vyskytují při pohybu brambor ve sklizeči. Po dva roky se ve Výzkumné stanici ve Frederictonu, New Brunswick, sledovala odrůda Russet Burbank při dodržování standardních agronomických postupů. Desikační přípravek (0,75 kg/ha) byl použit v polovině září. Po postřiku se brambory vykopávaly v týdenních intervalech. Dvanáct ručně vybraných vzorků po 10 kg bylo umístěno na sítěch. Všechny brambory byly pečlivě překontrolovány, aby nebyly mechanicky poškozené. Síť byla na 12 hodin uložena v místnosti s kontrolovanou vlhkostí a s teplotou 1, 6 a 20 °C (vždy po čtyřech sítích). Tato doba zajistila rovnoměrnou teplotu dužiny brambor pro manipulaci v simulovaných podmínkách. Vzorky náhodně prošly testovacím oběhem dopravníků, při němž byly vystaveny stejným podmínkám poškození. Předpokládalo se, že poškozené brambory se budou snadno identifikovat a hodnotit. Tento postup se opakoval po dobu sedmi týdnů. Hlízy byly hodnoceny podle stanoveného standardu (Potatoe Inspection Manual Compiled by the Dairy, Fruit and vegetable Division, Agriculture Canada). Rozdíly rozsahu poškození vlivem teploty a časového intervalu od postřiku po sklizeň byly analyzovány statisticky za použití analýzy variance (Analysis of Variances, Duncan's multiple range and regression analysis techniques) a programu SAS Statistics Version 5 Software Program. Rozsah těžkého poškození hlíz brambor byl zřejmý a rozdíly byly ovlivněny teplotou i časovým rozpětím od postřiku do sklizně. Poškození se zvyšovalo při nižší teplotě a delším časovém rozpětí (obr. 2) a snižovalo se při zvýšené teplotě (tab. I). Hlízy vystavené teplotě 20 °C byly na poškození méně náchylné, při teplotách 1 °C a 6 °C nebyly zjištěny rozdíly. Desikační prostředek neměl průkazný vliv na odolnost proti mechanickému poškození. Po třech týdnech od postřiku se mechanické poškození hlíz zvyšuje. Tyto výsledky naznačují, že časný sběr po odumření natě může zvýšit kvalitu brambor a že vyšší teploty na začátku podzimu zvyšují odolnost hlíz. Byla sestavena rovnice, na jejímž základě je možné odhadnout náchylnost hlízy k vážnému poškození ovlivněnému teplotou hlízy a délkou doby od postřiku po den sklizně.

pásový dopravník; brambory; poškození hlíz; teplota hlíz

Mechanical injury sustained by potatoes during harvesting and handling contributes to a significant reduction in economic returns to the potato industry. Studies have indicated that 18% of tubers were mechanically damaged by the time they reached the boom conveyor on the harvester while another 27% were damaged when moving from the harvester to the potato storage (Hyde et al., 1979). Misener et al. (1989) found that mechanical injury was the most significant factor contributing to the classification of potatoes as non-marketable. They reported that some form of mechanical damage was evident on 80.5% by weight of the harvested potatoes.

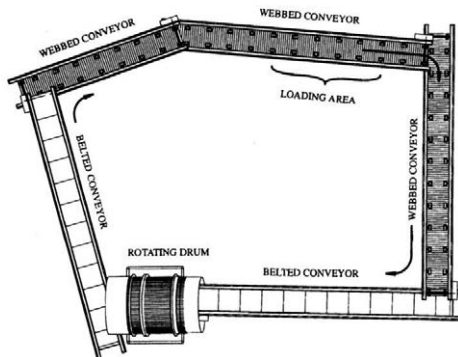
Peterson and Hall (1975) documented temperature influences on bruise susceptibility of potato tubers. They found that tuber temperature alone accounted for up to one-half of the total variation in bruise susceptibility. Soil temperature at the time of harvest was also shown to influence the level of mechanical injury (Johnston and Wilson, 1969). Findlen and Glaves (1964) reported that generally, for longer time lapses between vine killing and harvest the less susceptible the tubers were to skinning and bruising.

In field experiments Combrink and Prinsloo (1975) documented that the amount of mechanical damage was reduced when vines were cut 2 weeks before maturity and when the harvesting was delayed for up to 4 weeks after maturity.

The objective of this study was to determine the effect of tuber temperature and lapsed time between the application of vine killing treatment and harvesting on the susceptibility of the potato tuber to serious mechanical injury.

MATERIALS AND METHODS

For a laboratory test to reliably subject potatoes to physical treatments similar to those encountered in harvesting and handling, it must consider the many factors which affect the level of injury imparted to the tubers. These factors include type of agitation, number of drops, and opportunities for crushing and gouging. A test circuit was developed to simulate many of the conditions found on harvesters as described by Misener and Tai (1994) (Fig. 1). Potatoes were placed on a webbed conveyor which in turn deposited them onto a second webbed conveyor running perpendicular to the first one. The potatoes then passed to a belted conveyor and onto a rotating drum. Two additional conveyors completed the circuit. In total, the potatoes travelled 17.1 m similar to a typical harvester (Hyde et al. 1983) and dropped through an accumulated distance of 1840 mm (seven drops) including the drum. The drum with 12 evenly spaced 25 mm high flights had a 760 mm diameter and rotated at 14 rpm. The maximum height that a tuber would drop was the diameter of the drum if the tuber fell from the top of the



1. Test circuit used to simulate harvester conditions

rotating drum. The potatoes travelled around the circuit in 200 s, and the circuit contained many conditions that tubers encounter while passing through a harvester such as the transfer of potatoes from conveyor to conveyor.

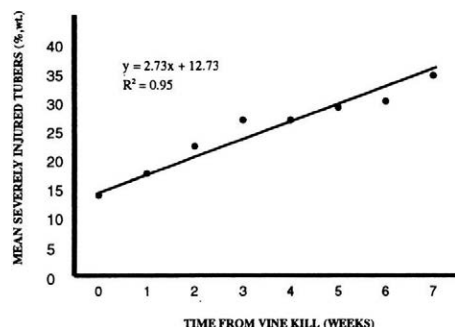
During the two-year study the potato cultivar, Russet Burbank, was grown at the Fredericton Research Station following standard recommended crop management practices. The vine killing treatment was applied in mid-September. The potatoes were treated with the chemical desiccant diquat (0.75 kg/ha). Starting the day of the vine killing treatment, potatoes were dug at weekly intervals and twelve samples of 10 kg were manually selected and placed in trays fabricated with expanded metal mesh. All tubers were carefully inspected to ensure that they were free from mechanical injury. The trays were placed in controlled-temperature-humidity storages with four samples stored for 72 h at each of the three temperatures of 1, 6, and 20 °C. The short holding period assured that the pulp temperature of the tubers was uniform at the pre-select levels prior to the tubers being subjected to the test circuit. This short holding period eliminated the effect of the varying soil temperature throughout the experiment. The samples were then randomly passed through the test circuit that subjected all the samples to the same level of abuse. The samples were then stored at room temperature for 3 weeks in order that the injured areas on the tubers could be readily identified and assessed. This procedure was repeated weekly for 7 weeks. Assessment of the tubers was conducted to identify severe injury which precluded them from being classified as Canada No. 1 according to the Potato Inspection Manual compiled by the Dairy, Fruit, and Vegetable Division, Agriculture Canada.

Differences in mechanical injury levels due to treatment temperature and time interval between top killing and harvesting, as measured by the magnitude of severely injured tubers, were analyzed statistically using analysis of variance, Duncan's multiple range and re-

gression analysis techniques available with the SAS Statistics Version 5 software program.

RESULTS AND DISCUSSION

Differences in the magnitude of severely injured tubers were apparent and were found to be influenced by both tuber temperature treatment and lapsed time between the date of vine killing and harvesting. The amount of severely injured tubers increased progressively as the lapsed time after vine killing increased (Fig. 2). Conversely, the amount of severely injured tubers decreased as the temperature of the tubers increased which is similar to the findings of Peterson



2. Percentage of severely injured potatoes from the date of the vine kill application (Data for 1989–1990 were combined)

and Hall (1975) (Tab. I). The application of a vine killing treatment did not significantly increase the resistance to injury. In fact, the susceptibility of the tubers to severe injury significantly increased after the third week from the date of vine kill application. There

1. Percentage of severely injured tubers tested at three temperatures

Temperature (°C)	Damage index*
1	35.6 ^a
6	31.8 ^a
20	9.1 ^b

a–b – Means followed by the same letter are not significantly different at $P = 0.05$ according to Duncan's Multiple Range Test

* – Data for 1989–1990 were combined

was no difference in the susceptibility to injury of tubers held at 1 °C and 6 °C. However, at the higher temperature of 20 °C, the tubers were significantly less susceptible to injury. These results suggest that early harvest after vine kill can lead to an improved quality of the product. Not only does an earlier harvest predis-

pose the tubers to less mechanical injury, but the higher ambient temperatures usually occurring early in the fall also contribute to less injury.

To determine the effect of mechanical injury on the overall marketability of potatoes, a study was completed to determine factors effecting marketability (Misener et al., 1989). The percent of marketable tubers delivered to storage was analyzed as a function of the damage index, the percent of tubers not within size tolerances, the percent of tubers with condition defects such as frosted or diseased, and the percent of tubers misshapened. The stepwise regression procedure yielded equation (1) with $R^2 = 0.90$:

$$Mw = 109.4 - 0.12 \text{ index} - 1.12 \text{ size} - 0.42 \text{ shape} - 0.68 \text{ defect} \quad (1)$$

where: Mw – percent marketable tubers
index – damage index
size – percent of tubers not within size tolerances
shape – percent of tubers misshapened
defect – percent of tubers with condition defects

The variable, damage index, was selected as the most important parameter in the equation which suggests the relative importance of mechanical injury to the percentage of marketable crop.

A regression analysis was conducted in this study to relate the extent of severely injured tubers to the variables, tuber pulp temperature, and lapse time. The equation determined by the regression analysis was as follows:

$$Y = 23.5 - 0.8X_1 + 4.1X_2 - 0.04X_1X_2 \quad (2)$$

where: Y – quantity of severely injured tubers, %
 X_1 – tuber pulp temperature, °C
 X_2 – lapsed time between the application of the vine killing treatment and the harvest date, week

The inclusion of X_1 , tuber pulp temperature, accounted for the largest reduction in the sums of squares which consequently suggests the relative importance of tuber temperature in minimizing tuber injury.

The phenomenon of increased severe injury with increasing time lapse between vine killing and harvesting suggests that the recommendation of waiting up to 3 weeks after vine killing may not be beneficial under New Brunswick conditions considering the cooler temperature that often prevails in late fall. In recent studies, Kundicz (1985) has also shown that the magnitude of tuber injury increases during later harvesting periods. Although skinning and slight injuries reduce with increasing lapsed time after vine killing, the more economically important injury (severe) increases.

CONCLUSIONS

Severe injury, which is the important component affecting the marketability of the tubers, was found to increase with decreasing tuber temperatures and increasing lengths of time between harvesting and vine killing. An equation developed by using regression

analysis techniques can estimate a tuber's susceptibility to serious injury as influenced by tuber temperature and lapsed time between vine killing and harvesting.

REFERENCES

- COMBRINK, N. J. J. – PRINSLOO, K. P.: Tuber characteristics and practices affecting the resistance of potato tubers to mechanical damage. *Agroplantae*, 8, 1976 (2): 41–45.
- FINDLEN, H. – GLAVES, A. H.: Vine killing in relation to maturity of Red River valley potatoes. US Dept. Agric., Agricultural Marketing Service, Technical Bulletin 1306, 1964.
- HYDE, G. M. – THORNTON, R. E. – IRITANI, W. M.: Chain speed effects on potato tuber damage and soil elimination. ASAE Paper No. 79-3014 Am. Soc. Agric. Eng., 1979, St. Joseph, MI.
- HYDE, G. M. – THORNTON, R. E. – WOODRUFF, D. W.: Potato harvester performance with automatic chain-load control. *Transactions of the ASAE*, 26, 1983 (1): 19–22.
- JOHNSTON, E. F. – WILSON, J. B.: Effect of soil temperatures at harvest on the bruise resistance of potatoes. *Amer. Potato J.*, 46, 1969 (3): 75–82.
- KUNDZICZ, K.: Storability and mechanical tuber damage of several potato varieties harvested at various dates with a Z-644 combine. *Biul. Inst. Ziemniaka*, 33, 1985: 137–147.
- MISNER, G. C. – TAI, G. C. C.: Relative resistance of potato varieties to serious mechanical injury. *Can. Agric. Eng.*, 35, 1994 (4): 289–291.
- MISNER, G. C. – MCLEOD, C. D. – WALSH, J. R. – EVERETT, C. F.: Effect of potato harvesting injury on post-storage marketability. *Can. Agric. Eng.*, 31, 1989 (1): 7–10.
- PETERSON, C. L. – HALL, C. W.: Dynamic mechanical properties of the Russet Burbank potatoes as related to temperature and bruise susceptibility. *Am. Potato J.*, 52, 1975 (10): 289–310.

Contact Address:

G. C. Misner, Ph. D., P. Eng., Research Centre, P. O. Box 20280, Fredericton, NB E3B 4Z7, Canada, Tel.: 506-452-3260, Fax: 506-452-3316

POKYNY PRO AUTORY

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

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

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

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

Vlastní úprava rukopisu má odpovídat státní normě ČSN 88 0220 (formát A4, 30 řádek na stránku, 60 úhozů na řádku, mezi řádky dvojitá mezera), k rukopisu je vhodné přiložit disketu s prací pořízenou na PC v některém textovém editoru, nejlépe v T602, a s grafickou dokumentací. Tabulky, grafy a fotografie se dodávají zvlášť, 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 zkratky nepoužívat.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OBSAH – CONTENT

Vitliemov V. G., Ivanov I. V., Tanov R. R.: Particles flight modelling and optimisation for technological processes in mechanised agriculture: flight simulation – Modelování letu částic a optimalizace technologických prvků při mechanizaci zemědělství: simulace letu	1
Roh J.: Třídění směsi ve vzduchovém proudu – Sorting of the mixture of air flow	5
Kochan J.: Úbytky tržní produkce cukrovky ve vazbě na početní stavy sklizečů – Losses of market production of sugar beet on connection with the numbers of harvesters	13
Malenovský E., Loprais A.: Kinetostatická analýza vázaných mechanických soustav u zemědělských strojů – Kinetostatic analysis of bound mechanical systems in farm machinery	27
Mikleš M.: Aplikácia interaktívneho výpočtového systému mechaniky kontinua pri pevnostnej analýze odvetvovacej hlavy – Interactive calculation system of continuum mechanics applications to strength analysis of a delimbing head	31
Misener G. C.: Effect of tuber temperature and lapsed time between vine killing and potatoe harvesting on the susceptibility of potatoes to serious injury – Vliv teploty hlíz brambor a časového rozpětí od postřiku desikačním přípravkem po sběr na náchylnost brambor k těžkému poškození ..	37

RECENZE – REVIEW

Kic P.: F.-J. Bockisch, S. Braun, S. Fritzsche et al.: Umwelt- und tieregerechte Mastschweinehaltung. Auswertung des Bundeswetbewerbs Landwirtschaftliches Bauen 1993/94	26
--	----