

PROBLEMATIKA KONSTRUKCE SACÍCH ZÁKRYTŮ S OHLEDEM NA PRAŠNOST PŘI VYSOKORYCHLOSTNÍM FRÉZOVÁNÍ

Zdeněk Kopecký - Miroslav Rousek - Jan Klepárník

Abstract

The paper deals with the construction of a suction cover of an experimental milling machine for high-speed milling. The high-speed milling is accompanied with the increased emission of dust particles, which are only hardly caught by existing covers. The penetration of particles out of the cover is up to fourfold and the hygienic efficiency of the cover substantially decreases. On the basis of measuring the speed of flow in the suction adapter and inside the cover of an experimental milling machine a theoretical analysis was carried out of the construction design of a cover. A cover changing its dimensions by means of kinematic and hydraulic mechanisms depending on a used tool and the method of milling appears to be most suitable.

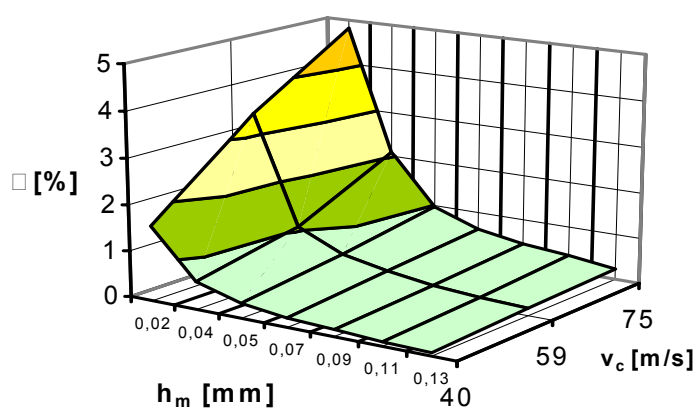
Key words: high-speed milling, dust particles, cover construction, exhaustion

ÚVOD

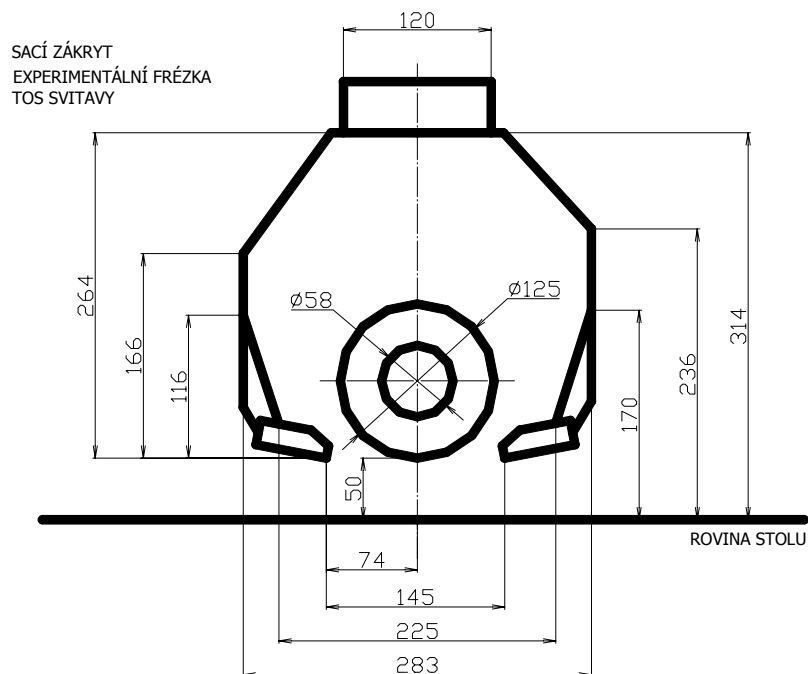
Technologický proces vysokorychlostního obrábění je ve většině případů doprovázen zvýšenou hlučností a prašností. Podle našich výzkumů vysokorychlostní frézování způsobuje až třínásobné zvýšení emise prašnosti při srovnání s běžnými frézovacími rychlostmi (Kopecký – Rousek, 2006), viz. obr. 1. Emise prašnosti také podstatně roste s otupením nástroje a to zejména tehdy, když poloměr otupení ostří je větší než průměrná tloušťka třísky, zvláště při malých posuvech na zub (Kotěšovec, 1992).

KONSTRUKCE SACÍHO ZÁKRYTU EXPERIMENTÁLNÍ FRÉZKY

Podle normy ČSN 12 7040 musí být současně vyráběný dřevoobráběcí stroj vybaven odsávacím zařízením dřevního odpadu, třísek a prachu, jehož první součástí jsou sací zákryty. U dříve konstruovaných strojů, kde nebyly kladeny tak značné nároky na prašnost na pracovišti, zákryty plnily pouze bezpečnostní funkci. Zákryt obklopoval nástroj, takže při jeho roztržení nebo případně jiném defektu nedošlo ke zranění obsluhy stroje. Takto navrhované zákryty se brzy ukázaly jako nedostatečné a proto bylo přikročeno ke konstrukci zákrytů s odsáváním. Jedním z rozhodujících činitelů ovlivňujících funkci zákrytu je proudové pole protékajícího vzduchu, hygienická účinnost a tlaková ztráta.



Obr. 1 Specifická emise prašnosti částic menších než $100 \mu\text{m}$



Obr. 2 Schéma zákrytu experimentální frézky

Experimentální frézka je vybavena přibližně symetrickým zákrytem (obr.2), který je obecně vhodný i pro reverzní chod nástroje. Tyto zákryty mají ovšem nižší hygienickou účinnost, účinek proudového pole je zejména na velké částice minimální. Jedním z negativních jevů u všech typů zákrytů je přítomnost vratného proudění. Částice, které vniknou do tohoto proudění a nepřekonají jej svou kinetickou energií, bývají rozneseny vlivem vířivého pohybu vzduchu po oblasti vratného proudění, což snižuje možnost jejich

zachycení sacím účinkem zákrytu. Třísky se také mohou odrážet od nevhodně uspořádaných stěn. K omezení těchto jevů je zákryt frézky vybaven přítlačnými palci, viz. obr. 2.

PRŮNIK TŘÍSEK A PRACHU MIMO ZÁKRYT FRÉZKY

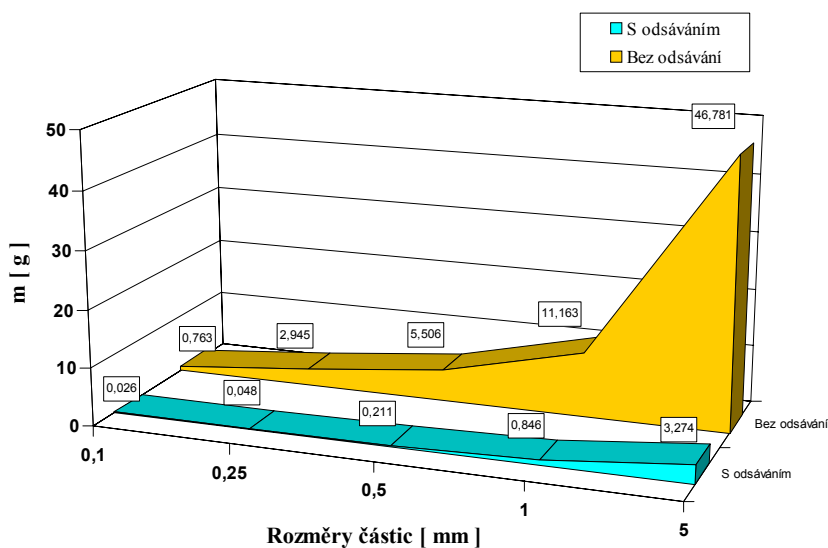
Sledováním fyzikálních pochodů probíhajících v sacím zákrytu a experimenty je možné prokázat, že hlavními faktory, které mají rozhodující vliv na hygienickou účinnost zákrytu, jsou jednak charakteristické vlastnosti třísek a vznikajícího prachu, včetně způsobu a druhu obrábění, dále proudové pole vzduchu související přímo s uspořádáním stěn zákrytu (Dzurenda – Kučerka, 2006).

Známe-li hmotnosti částic pronikajících mimo zákryt můžeme vypočítat tzv. průnik částic mimo zákryt p , který přímo ovlivňuje hygienickou účinnost zákrytu.

$$p = \frac{m_u}{m_p} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde m_u ... hmotnost částic pronikajících mimo zákryt
 m_p ... hmotnost odebíraného materiálu nástrojem

Předpokladem stanovení průniku částic je znalost granulometrického složení třísek a dřevěného prachu při zapnutém a vypnutém filtro-ventilačním zařízení stroje. Granulometrické složení bylo měřeno při řezných rychlostech $v_c = 40, 59$ a 75 m/s, s nastavenými posuvy na zub $f_z = 0,4; 0,8$ a $1,2$ mm. Úběr materiálu byl nastaven na hodnotu $a_p = 2$ mm.

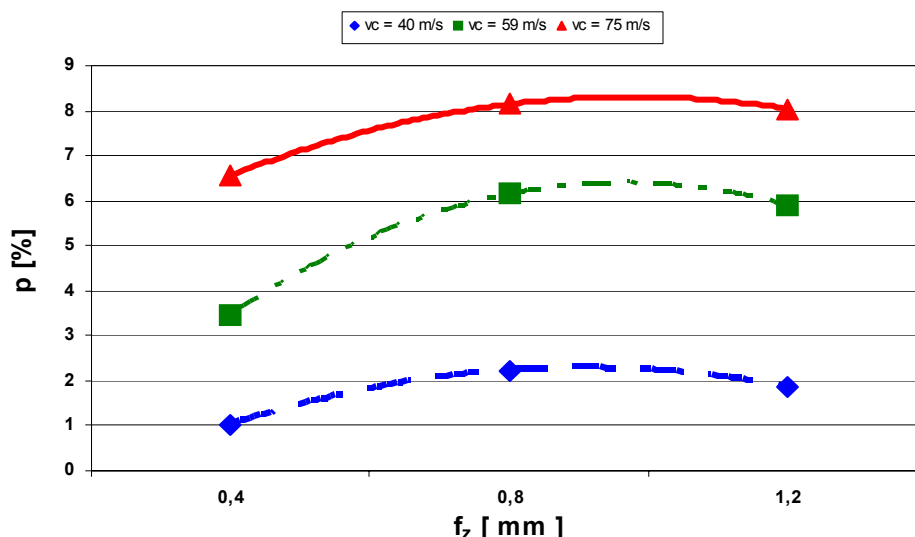


(buk - $w = 6\%$, $v_c = 75$ m/s, $v_f = 27$ m/min, $a_p = 2$ mm, $f_z = 0,4$ mm)

Obr. 3 Porovnání množství částic v pracovním prostoru frézky

V grafu na obr. 3 je patrný zvýšený výskyt třísek větších než 5 mm, což potvrzuje teoretický předpoklad, že větší částice jsou hůře ovlivněny proudovým polem zákrytu. Vliv proudového pole vzduchu na větší částice je v počáteční fázi malý (v důsledku velké setrvačné síly oproti síle aerodynamické). Na proti tomu prachové částice, kterým odpovídají ekvivalentní kulové částice o průměru do 100 μm jsou výrazně ovlivňovány proudovým polem odsávaného vzduchu.

Vypočítané průběhy průniku částic mimo zákryt jsou znázorněny na obr.4. Průnik částic mimo zákryt experimentální frézky se zvyšuje s rostoucí řeznou rychlostí a nejvyšší je v oblasti vysokorychlostního obrábění při $v_c = 75 \text{ m/s}$. Je zřejmé, že hygienická účinnost úměrně klesá. Při nižších řezných rychlostech je průnik částic mimo zákryt zanedbatelný.



Obr. 4 Průnik částic mimo zákryt pro různé řezné podmínky

Zde se totiž neprojevuje tolik rotační účinek nástroje a nástroj svým povrchem nestrhává větší množství vzduchu ze zákrytu a s ním i větší množství částic. Průnik částic a hygienická účinnost se také mění s rostoucím posuvem na zub nástroje a tedy s rostoucí tloušťkou třísky. Strmější nárůst byl zaznamenán při nastaveném posuvu $f_z = 0,8 \text{ mm}$, při dalším zvyšování rychlosti posuvu obrobku, hodnota průniku částic zůstává přibližně na stejné úrovni.

TEORETICKÉ ŘEŠENÍ SACÍHO ZÁKRYTU

Kvalitu odsávání ovlivňuje především trajektorie pohybu částic odpadu, umístění sacího hrdla, geometrické uspořádání obráběného materiálu, zákrytu a rychlost vzdušiny. Teoretické řešení zákrytu je obvykle velmi obtížné, a proto se často vychází z empirických vztahů převzatých z literatury (Hejma a kol., 1981).

Operuje se s bezrozměrným číslem beta B , které obsahuje základní parametry ovlivňující funkci zákrytu. Toto číslo bude použito k vyjádření fiktivního průniku částic na velikosti zákrytu.

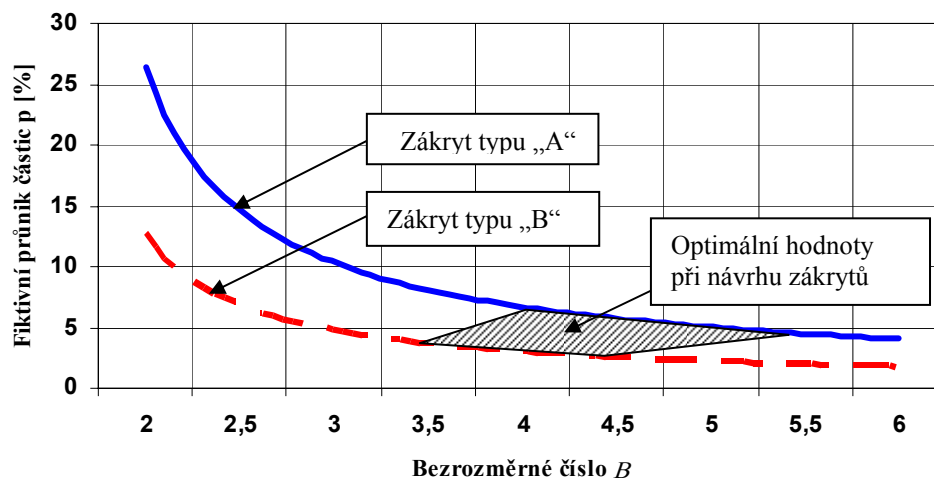
$$B = Q \cdot (v_c \cdot \omega_k)^{-1/2} \cdot (D \cdot c \cdot x)^{-2/3}$$

kde Q ... objemový průtok vzduchu

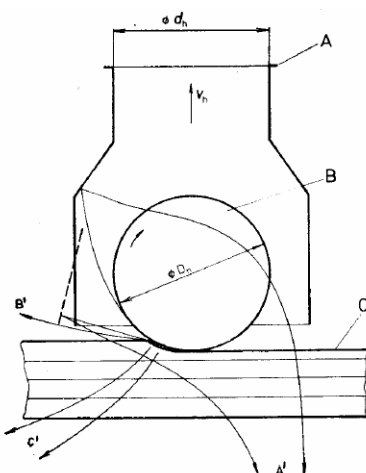
v_c, ω_k ... obvodová (řezná) rychlost nástroje a pádová rychlost částice

D, c ... oběžný průměr nástroje a šířka zákrytu

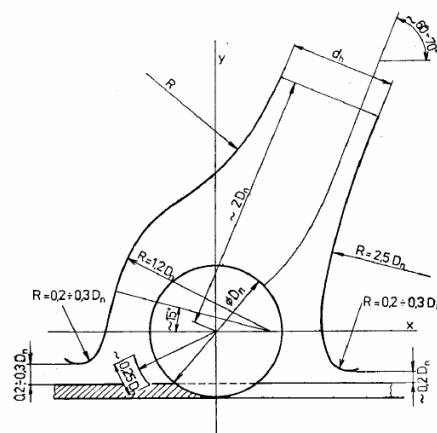
x ... mezera mezi nástrojem a stěnou zákrytu



Obr. 5 Fiktivní průnik částic v závislosti na bezrozměrném čísle



a) Typ „A“ Symetrický zákryt



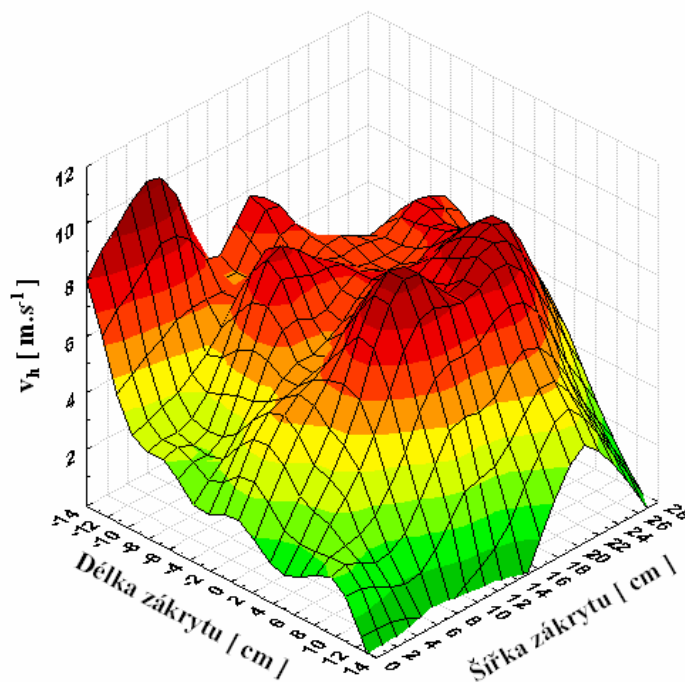
b) Typ „B“ Zákryt-teoretické požadavky

Obr. 6 Konstrukční typy zákrytů

K ověření aktuálního bezrozměrného čísla B potřebujeme znát nejen řezné podmínky, rozměry zákrytu, ale také velmi důležitý parametr, kterým je rychlostní profil vzduchu v samotném zákrytu, případně v sacím hrdle zákrytu. Měření bylo prováděno dynamickou rychlostní sondou (Prandtlova trubice Ahlborn 400mm (SN: 3338), dále byla použita měřicí jednotka Ahlborn Almemo 2290-4 (SN: H02070726M) se snímačem diferenčního tlaku Ahlborn FDA602-M1K (SN: 02080275), viz. obr. 7.



Obr. 7 Měření proudu vzduchu v sacím nástavci a zákrytu



Obr. 8 Rychlostní pole proudění vzduchu v zákrytu experimentální frézky s instalovaným nástrojem

Nejdříve byl změřen rychlostní profil v sacím nástavci průměru 120 mm a to ve dvou vzájemně kolmých směrech, podle ČSN 12 4070. Následně bylo provedeno měření rychlostního pole uvnitř zákrytu těsně nad nástrojem, viz. obr. 8. Poloha frézovací hlavy byla nastavena na hodnotu 50 mm nad stolem frézky, tj. na stejnou hodnotu jako při zkušebním frézování.

DISKUSE

Průměrná rychlost vzduchu v sacím potrubí se pohybovala kolem hodnoty $v_h = 25 \text{ m/s}$. Tato hodnota rychlosti je akceptovatelná, protože v běžném provozu by se rychlost vzduchu měla pohybovat v rozmezí 18 až 25 m s^{-1} . Nižší rychlost platí pro suché materiály s nízkou měrnou hmotností, vyšší pak pro materiály vlhké s vysokou měrnou hmotností.

Měření proudění vzduchu uvnitř zákrytu bylo provedeno s nástrojem a bez nástroje. Zejména při proudění vzduchu s nástrojem, obr. 8 (osa nástroje byla v souřadnici „0“), je patrný nárůst rychlosti proudění kolem nástroje v důsledku zmenšení průtočného profilu mezi nástrojem a stěnou zákrytu. Střední hodnota rychlosti je $v_m = 5,48 \text{ m/s}$ a max. hodnota mezi stěnou zákrytu a nástrojem je $v_{max} = 10 \text{ m/s}$. Nízké rychlosti proudění byly ovšem naměřeny v rozích zákrytu. Za předpokladu turbulentního proudění vzduchu lze objemový průtok vzduchu vypočítat z rovnice kontinuity proudu vzduchu

$$Q = S \cdot v_m = 0,05625 \cdot 5,48 = 0,30825 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kvalita zákrytu, jak již bylo uvedeno, bývá vyjadřována bezrozměrným číslem B . Z literatury (Hejma a kol., 1981) je známo, že platnost tohoto čísla je vzhledem k dosud měřeným případům omezena hodnotami $30 \text{ m.s}^{-1} < v_c < 80 \text{ m.s}^{-1}$, $60 \text{ mm} < D < 200 \text{ mm}$, což pro výše nastavené řezné podmínky vyhovuje.

Bezrozměrné čísla B pro řeznou rychlost $v_c = 40 \text{ m/s}$ je:

$$B_{40} = Q \cdot (v_c \cdot \omega_k)^{-1/2} \cdot (D \cdot c \cdot x)^{-2/3} = 0,30825 \cdot (40 \cdot 1)^{-1/2} \cdot (0,125 \cdot 0,26 \cdot 0,035)^{-2/3} = 4,47$$

a pro řeznou rychlost $v_c = 75 \text{ m/s}$ je:

$$B_{75} = Q \cdot (v_c \cdot \omega_k)^{-1/2} \cdot (D \cdot c \cdot x)^{-2/3} = 0,30825 \cdot (75 \cdot 1)^{-1/2} \cdot (0,125 \cdot 0,26 \cdot 0,035)^{-2/3} = 3,27$$

ZÁVĚR

Pro běžné frézovací rychlosti $v_c = 40 \text{ m/s}$, se hodnota bezrozměrného čísla $B_{40} = 4,47$ nalézá v optimální oblasti konstrukčního řešení zákrytů pro frézky, viz. obr. 5. Tomu odpovídá i hodnota fiktivního průniku, která je dokonce o něco vyšší než skutečně naměřená hodnota, viz. obr. 4.

Při vysokorychlostním frézování $v_c = 75 \text{ m/s}$, kdy se více negativně uplatňuje rotační účinek nástroje je hodnota $B_{75} = 3,27$. Tato hodnota je mimo pásmo optimálních hodnot konstrukce zákrytů. To potvrzuje i zvýšený průnik částic mimo zákryt $p \approx 8\%$, viz. obr. 4.

Možných řešení jak zlepšit hygienickou účinnost zákrytu je několik. Jednou z možností je zvýšení rychlosti proudění vzduchu v zákrytu. Toho lze dosáhnout zvýšením

objemového průtoku vzduchu. Negativem je ovšem zvýšení výkonu odsávacího zařízení (ventilátoru) růst tlakové ztráty zákrytu a vyšší spotřeba energie.

Experimenty se také ukázalo, že existuje optimální hodnota poměru délky zákrytu a průměru nástroje, která je přibližně $a/D = 1,6$. U zákrytu experimentální frézky, i díky přídavným plechům, má tento poměr hodnotu $a/D = 1,8$. Tato hodnota ovšem není ideální a zlepšení lze spatřovat v použití nástroje buď o větším průměru nebo nástroje s vyšší délkou. Optimální hodnota pro zákryty, ve kterých délka nástroje nezabírá celou šířku zákrytu c , je vhodnější volit poměr $a/D = 1,3$ (Hejma a kol., 1981).

Zákryt by měl být navržen tak, aby při proudění vzduchu pokud možno nedocházelo k odtržení proudu vzduchu od stěn. Toho se dosáhne natočením sacího hrdla ve směru rotace nástroje (viz. obr. 6b), vhodným tvarováním stěn, pozvolnými přechody, urychlením proudu apod. Toto konstrukční řešení je ovšem obtížně realizovatelné při požadavku reverzace chodu nástroje.

Vhodným řešením pro frézku určenou pro vysokorychlostní frézování bude konstrukce zákrytu, který je schopen pomocí kinematických a hydraulických mechanismů měnit své rozměry v závislosti na velikosti frézovací hlavy. Takové řešení je známo např. u stroje Powermat 3000 společnosti Weinig Gruppe. Nastavení stěn zákrytu bude závislé nejenom na velikosti použité frézovací hlavy, ale také na způsobu frézování, tj. použití sousledného či nesousledného frézování.

Příspěvek byl vypracován v souvislosti s řešením dílčího projektu v rámci výzkumného záměru MŠM 6215648902. Autoři tímto děkují za poskytnutí finančních prostředků k řešení úkolu.

LITERATURA

- [1] DZURENDA, Z. – KUČERKA, M. (2006): Effectiveness of Separation of Wet Pine Sawdust in Mechanical Separators of Type SEB with Elements T4/630. In: 1st Jubilee scientific conference Manufacturing Engineering in Time of Information Society. Gdaňsk, 2006.
- [2] HEJMA, J. a kol. (1981): Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu. SNTL Praha, 1981.
- [3] KOPECKÝ, Z. – ROUSEK, M. (2006): Simulation Possibilities of Dust Emission in High-speed Milling. In: 1st Jubilee scientific conference Manufacturing Engineering in Time of Information Society. Gdaňsk, 2006.
- [4] KOTĚŠOVEC, V. (1992): Snižování karcinogenních účinků dřevního prachu v pracovním a životním prostředí. Výzkumná zpráva. Praha, 1992.
- [5] KOS, A. – HORVAT, D. – KREŠMIR, Š.: The combined machine's short work breaks as quality indicators of air conveyors work. Drvna industria No. 51, Zagreb, 2000.