

PŘÍLOHA 1, 1/3

V této příloze je zpracován výpočet celkové síly nutné pro vystřížení polotovaru klíče. Výstřížek je vystřížen z pásu. Rozměry pásu jsou zapsány v tabulce P1.1.

Tab. P1.1 Rozměry polotovaru pro vystřihování. [23]

Rozměry polotovaru		
Tloušťka	s	2,5 mm
Šířka	b	80 mm

Síla pro vystřížení díry

Deformační odpor ve stříhu, pro klasické stříhání, je vypočten dle vztahu P1.1 [25, 32]

$$\tau_{s1} = 0,8 \cdot R_m \quad (P1.1)$$

kde: τ_{s1} [MPa] - pevnost ve stříhu pro klasické stříhání,
 R_m [MPa] - mez pevnosti materiálu výstřížku, viz tab. 3.1.

$$\tau_{s1} = 0,8 \cdot 600 = 480 \text{ MPa} \quad (P1.1)$$

Výpočet střížné síly je proveden dle rovnice P1.2. [25]

$$F_{stř1} = n \cdot L_1 \cdot s \cdot \tau_{s1} \quad (P1.2)$$

kde: $F_{stř1}$ [N] - střížná síla pro vystřížení díry,
 n [-] - koeficient otupení, $n=1,2$,
 L_1 [mm] - délka střížné hrany pro vystřížení díry, $L_1=20,4 \text{ mm}^{16}$,
 s [mm] - tloušťka výstřížku,
 τ_{s1} [MPa] - pevnost ve stříhu pro klasické stříhání.

$$F_{stř1} = 1,2 \cdot 20,4 \cdot 2,5 \cdot 480 = 29376 \text{ N} \quad (P1.2)$$

¹⁶ Změřeno v programu SolidWorks 2015.

PŘÍLOHA 1, 2/3

Síly pro vystřížení vnějšího obrysu

Deformační odpor ve stříhu, pro přesné stříhání, je vypočten z rovnice P1.3. [25]

$$\tau_{s2} = 4 \cdot Rm \quad (P1.3)$$

kde: τ_{s2} [MPa] - pevnost ve stříhu pro přesné stříhání,
 Rm [MPa] - mez pevnosti materiálu výstřižku, viz tab. 3.1.

$$\tau_{s2} = 4 \cdot 600 = 2400 \text{ MPa} \quad (P1.3)$$

Výpočet střížné síly se provede dle vztahu P1.4. [25]

$$F_{stř2} = n \cdot L_2 \cdot s \cdot \tau_{s2} \quad (P1.4)$$

kde: $F_{stř2}$ [N] - střížná síla pro vystřížení obrysu,
 n [-] - koeficient otupení, $n=1,2$, [25]
 L_2 [mm] - délka střížné hrany, $L_2=160 \text{ mm}^{17}$,
 s [mm] - tloušťka výstřižku,
 τ_{s2} [MPa] - pevnost ve stříhu pro přesné stříhání.

$$F_{stř2} = 1,2 \cdot 160 \cdot 2,5 \cdot 2400 = 1152000 \text{ N} \quad (P1.4)$$

Geometrie nátláčné hrany na přidržovači je zobrazena na obrázku P1.1. Síla přidržovače je vypočtena podle následujícího vztahu P1.5. [25]

$$F_p = \tau_{s2} \cdot L_h \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot s\right) \quad (P1.5)$$

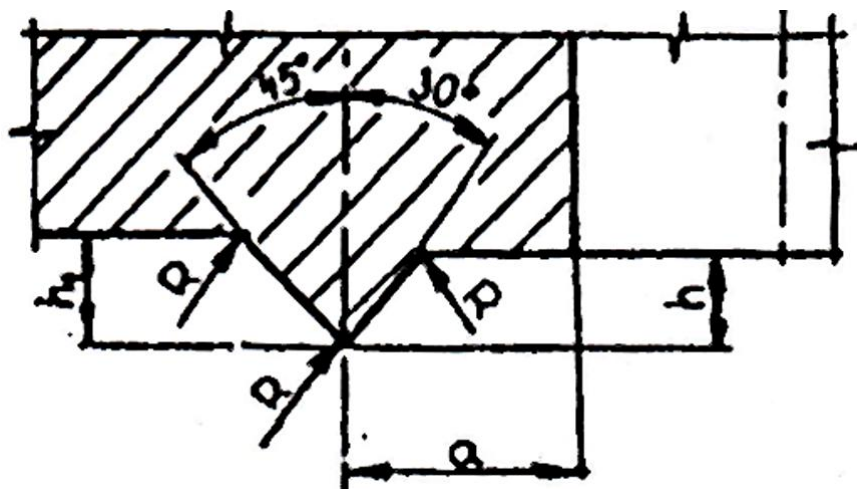
kde: F_p [N] - síla přidržovače,
 L_h [mm] - délka nátláčné hrany, $L_h=170,8^{18} \text{ mm}$,
 s [mm] - tloušťka výstřižku,
 τ_{s2} [MPa] - pevnost ve stříhu pro přesné stříhání.

$$F_p = 2400 \cdot 170,8 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 2,5\right) = 382400 \text{ N} \quad (P1.5)$$

¹⁷ Změřeno v programu SolidWorks 2015.

¹⁸ Navrženo a změřeno v programu SolidWorks 2015 podle parametrů daných v [25].

PŘÍLOHA 1, 3/3



Obr. P1.1 Schéma
nátlačné hrany. [25]

Sílu vyhazovače lze získat z následujícího vztahu P1.6. [25]

$$F_v = 0,2 \cdot F_{stř2} \quad (P1.6)$$

kde: F_v [N] - síla vyhazovače,
 $F_{stř2}$ [N] - střižná síla pro vystřížení obrysu.

$$F_v = 0,2 \cdot 1152000 = 230400 \text{ N} \quad (P1.6)$$

Celková síla

Celková síla je vypočtena dle vztahu P1.7. [25]

$$F_c = F_{stř1} + F_{stř2} + F_p + F_v \quad (P1.7)$$

kde: F_c [N] - celková síla,
 $F_{stř1}$ [N] - střižná síla pro vystřížení díry,
 $F_{stř2}$ [N] - střižná síla pro vystřížení obrysu,
 F_p [N] - síla přidržovače,
 F_v [N] - síla vyhazovače.

$$F_c = 29376 + 1152000 + 382400 + 230400 = 1794176 \text{ N} \cong 1,8 \text{ MN} \quad (P1.7)$$

1



B



1

PŘÍLOHA 3, 1/8

Pro výpočty parametrů frézování hřbetu je použit postup pro obvodové frézování. Nákres obvodového frézování viz obrázek P3.2. Nejprve je však třeba určit výchozí řezné podmínky obrábění. Podmínky jsou zvoleny dle tabulky v obrázku P3.1.

Proces	Řezný materiál	Řezná rychlost v_c [m/min]	Posuv na břit f_z [mm/Z] ¹⁾	Hloubka řezu a_p [mm]
Soustružení	HSS	10 ... 220	0,1 ... 0,63 ¹⁾	0,6 ... 4
	TK	75 ... 1.300	0,1 ... 0,8 ¹⁾	0,6 ... 4
Frézování	HSS	10 ... 80	0,1 ... 0,35	0,6 ... 4
	TK	40 ... 560	0,1 ... 0,2	0,6 ... 4
Vrtání	HSS	18 ... 80	0,1 ... 0,4 ¹⁾	–
	TK	50 ... 125	0,1 ... 0,4 ¹⁾	–

1) Pro soustružení a vrtání platí místo posuvu na zub hodnoty posuvu f [mm/ot.]

Obr. P3.1 Hodnoty pro obrábění měděných slitin. [19]

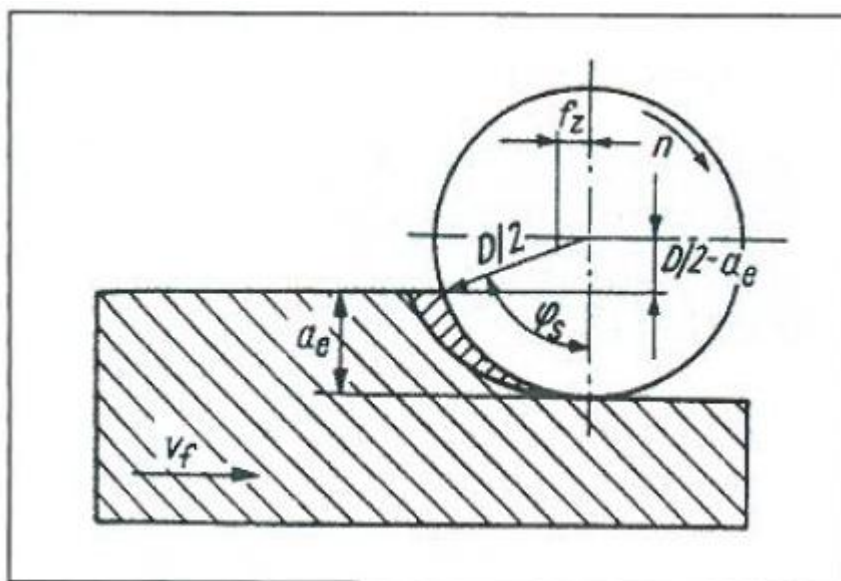
Zvolené řezné podmínky a parametry nástroje jsou zapsány v tabulce P3.1.

Tab. P3.1 Výchozí hodnoty pro frézování hřbetu frézou z HSS¹⁹ a parametry této frézy. [19]

Řezné podmínky			
Řezná rychlost	Posuv na zub	Šířka záběru	Šířka záběru hlavního ostří
v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]	a_e [mm]	a_p [mm]
80	0,10	0,12	28
Nástroj – nástrčná čelní válcová fréza z HSS			
Průměr	Šířka	Počet zubů	
D_n [mm]	b_n [mm]	z_n [-]	
50	40	24	

¹⁹ HSS = rychlořezná ocel

PŘÍLOHA 3, 2/8



Obr. P3.2 Podmínky záběru při obvodovém frézování. [19]

Základní parametry

V prvním kroku jsou vyjádřeny otáčky vřetene frézky odvozením z následujícího vztahu, P3.1. [19]

$$v_c = \frac{D_n \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (P3.1)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D_n [mm] - průměr nástroje,
 n [$1 \cdot \text{min}^{-1}$] - otáčky vřetene.

Odvození:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} \quad (P3.1)$$

$$n = \frac{80 \cdot 1000}{50 \cdot \pi} = 509 \frac{1}{\text{min}} \quad (P3.1)$$

PŘÍLOHA 3, 3/8

Dále je proveden přepočet rychlosti posuvu podle vztahu P3.2. [19]

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (P3.2)$$

kde: v_f [mm·min⁻¹] - rychlost posuvu,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 z [-] - počet zubů nástroje,
 n [1·min⁻¹] - otáčky vřetene.

$$v_f = 0,10 \cdot 24 \cdot 509 = 1222 \frac{mm}{min} \quad (P3.2)$$

Řezná síla a výkon

Podle rovnice P3.3. je vypočten úhel řezu. [19]

$$\cos \varphi_s = 1 - \frac{2 \cdot a_e}{D_n} \quad (P3.3)$$

kde: φ_s [°] - úhel řezu,
 a_e [mm] - šířka záběru,
 D_n [mm] - průměr nástroje.

Odvození:

$$\varphi_s = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot a_e}{D_n} \right) \quad (P3.3)$$

$$\varphi_s = \arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 0,12}{50} \right) = 5,62^\circ \quad (P3.3)$$

PŘÍLOHA 3, 4/8

Pro výpočet měrné řezné síly je třeba vypočítat střední tloušťku odřezávané vrstvy. Ta je vypočtena za pomoci následujícího vztahu P3.4. [19]

$$h_m = \frac{114,6^\circ}{\varphi_s} \cdot f_z \cdot \frac{a_e}{D_n} \quad (P3.4)$$

kde: h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 φ_s [°] - úhel řezu,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 a_e [mm] - šířka záběru,
 D_n [mm] - průměr nástroje.

$$h_m = \frac{114,6^\circ}{5,62^\circ} \cdot 0,10 \cdot \frac{0,12}{50} = 0,005 \text{ mm} \quad (P3.4)$$

Pro výpočet průměrné řezné síly na zub je dále třeba vypočítat měrnou řeznou sílu, a to pomocí vztahu P3.5. [19]

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h_m^m} \quad (P3.5)$$

kde: k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 $k_{c1.1}$ [MPa] - specifická hodnota měrné řezné síly, viz tabulka 3.1.,
 h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 m [-] - koeficient nárůstu tangenty úhlu strmosti, viz tabulka 3.1.

$$k_c = \frac{780}{0,005^{0,18}} = 2024 \text{ MPa} \quad (P3.5)$$

PŘÍLOHA 3, 5/8

Následně, podle rovnice P3.6., je vypočtena průměrná řezná síla na zub. [19]

$$F_{cmz} = a_p \cdot h_m \cdot k_c \cdot K_g \cdot K_v \cdot K_{Ver} \quad (P3.6)$$

- kde: F_{cmz} [N] - průměrná řezná síla na zub,
 a_p [mm] - šířka záběru hlavního ostří,
 h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 K_g, K_v, K_{Ver} - korekční faktory, viz tabulka na obrázku P3.3.

	Výpočet / rozsah hodnot	Poznámka
K_g	$K_g = 1 - \frac{\gamma - \gamma_k}{66,7^\circ}$	γ skutečně existující úhel čela γ_k pro obrábění oceli: 6° γ_k pro obrábění litiny: 2°
K_v	při $v_c > 80$ m/min zanedbatelná	Břity z tvrdokovu
	1,15	Břity z HSS
K_{Sch}	1	Tvrdokov
	0,9 ... 0,95	Řezná keramika
K_{Ver}	1	Pracovně ostrý nástroj
	1,3 ... 1,5	Opotřebovaný nástroj

Obr. P3.3 Hodnoty korekčních faktorů pro výpočet průměrné řezné síly. [19]

Fréza je vyrobena z HSS, opotřebovaná a má úhel čela $\gamma=6^\circ$. [19, 24]

Tím pádem se hodnoty koeficientů, dle tabulky na obrázku P3.3, rovnají:

- $K_g=1$,
- $K_v=1,15$,
- $K_{Ver}=1,3$.

$$F_{cmz} = 28 \cdot 0,005 \cdot 2024 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,3 = 424 \text{ N} \quad (P3.6)$$

PŘÍLOHA 3, 6/8

Pro výpočet výkonu je nutné znát počet zubů v záběru, který je vypočten ze vztahu P3.7. [19]

$$z_{iE} = \frac{\varphi_s \cdot z}{360^\circ} \quad (P3.7)$$

kde: z_{iE} [-] - počet zubů v záběru,
 φ_s [°] - úhel řezu,
 z [-] - počet zubů nástroje.

$$z_{iE} = \frac{5,62^\circ \cdot 24}{360^\circ} = 0,37 \quad (P3.7)$$

Řezný výkon je vypočten z rovnice P3.8. [19]

$$P_c = \frac{F_{cmz} \cdot v_c \cdot z_{iE}}{60\,000} \quad (P3.8)$$

kde: P_c [kW] - řezný výkon,
 F_{cmz} [N] - průměrná řezná síla na zub,
 v_c [m·min⁻¹] - řezná rychlost,
 z_{iE} [-] - počet zubů v záběru.

$$P_c = \frac{424 \cdot 80 \cdot 0,37}{60\,000} = 0,2 \text{ kW} \quad (P3.8)$$

Hnací výkon vřetene se získá ze vztahu P3.9. [19]

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} \quad (P3.9)$$

kde: P_a [kW] - hnací výkon vřetene,
 P_c [kW] - řezný výkon,
 η [-] - účinnost, předpokládáno $\eta=0,8$.

$$P_a = \frac{0,2}{0,8} = 0,3 \text{ kW} \quad (P3.9)$$

PŘÍLOHA 3, 7/8

Trvanlivost nástroje

K výpočtu času obrábění se musí vypočítat délka dráhy nástroje. Dráha nástroje je oblouková. Aby byly dodrženy dostatečné dráhy (nájezdu a přejezdu), je úhel oblouku, po kterém se nástroj pohybuje, 95° . Výpočet dráhy je proveden podle rovnice P3.10. [14]

$$L = \frac{\pi \cdot r \cdot \alpha}{180^\circ} \quad (P3.10)$$

kde: L [mm] - dráha nástroje,
r [mm] - poloměr oblouku,
 α [°] - úhel oblouku, $\alpha=95^\circ$. [14]

$$L = \frac{\pi \cdot 6,45 \cdot 95^\circ}{180^\circ} = 10,7 \text{ mm} \quad (P3.10)$$

Hlavní čas obrábění je zjištěn ze vztahu P3.11. [19]

$$t_h = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (P3.11)$$

kde: t_h [min] - hlavní čas obrábění,
L [mm] - dráha nástroje,
i [-] - počet přejezdů²⁰,
 v_f [mm·min⁻¹] - rychlost posuvu.

$$t_h = \frac{10,7 \cdot 2}{1222} = 0,018 \text{ min} \Rightarrow 1,05 \text{ s} \quad (P3.11)$$

²⁰ Počet přejezdů=2. Při prvním přejezdu probíhá samotné frézování. Druhým přejezdem je myšlen návrat do výchozí polohy, protože rychlost posuvu je stejná jak při řezném pohybu tak při pohybu do výchozí polohy. [14]

PŘÍLOHA 3, 8/8

Do času obrábění se musí připočítat také technologický čas, kdy je vyhazován hotový výrobek a připravován další polotovár ze zásobníku.

Proto je celkový čas obrábění vypočítán podle rovnice P3.12.

$$t_c = t_h + t_t \quad (P3.12)$$

kde: t_c [min] - celkový čas obrábění,
 t_h [min] - hlavní čas obrábění,
 t_t [min] - technologický čas, $t_t=0,008$ min. [14]

$$t_c = 0,018 + 0,008 = 0,026 \text{ min} \Rightarrow 1,56 \text{ s} \quad (P3.12)$$

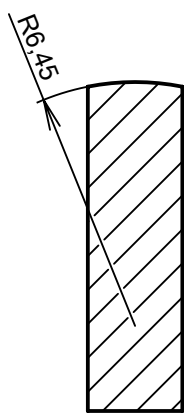
Hodnota kusové trvanlivosti vychází z praktických zkušeností při výrobě. Při těchto výrobních podmínkách a poznatcích z praxe je uvažována kusová trvanlivost nástroje 20000 kusů. Ze vztahu P3.13 je zjištěna časová trvanlivost nástroje. [14]

$$T = T_k \cdot t_c \quad (P3.13)$$

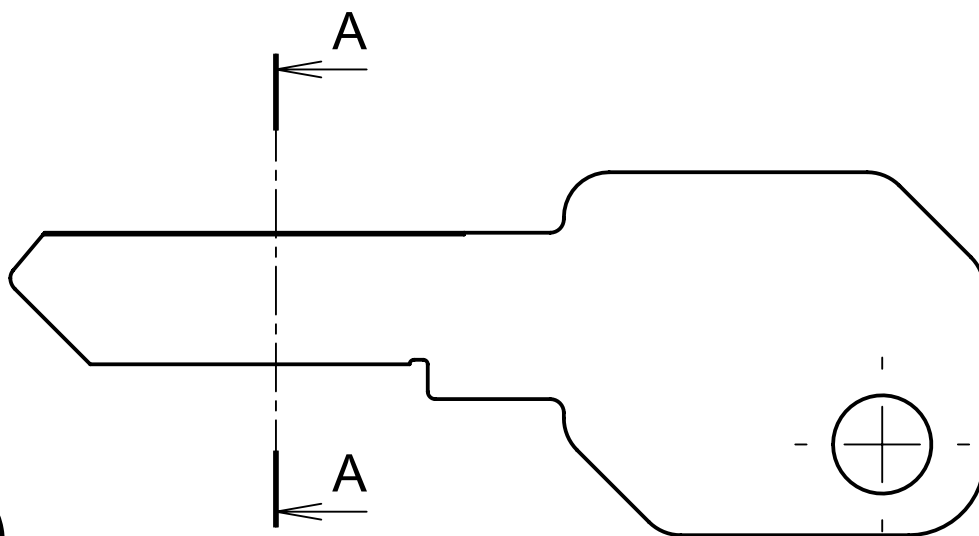
kde: T [min] - časová trvanlivost nástroje,
 T_k [-] - kusová trvanlivost nástroje, $T_k=20000$, [14]
 t_c [min] - celkový čas obrábění.

$$T = 20000 \cdot 0,026 = 520 \text{ min} \Rightarrow 8,7 \text{ hod} \quad (P3.13)$$

PŘÍLOHA 4



A-A (5 : 1)



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
DRSNOST:
TOLERANCE:
LINEÁRNÍ:
ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘE HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL	BOUŠE	6.4.2016
PŘEZKOUŠEL		
SCHVÁLIL		
VÝROBA		

NÁZEV:

KLÍČ FÁZE 2

SOLIDWORKS Student Edition (pro studenty)
Jen pro akademické použití.

BP - 2016 - 02

A4

HMOTNOST: 0.02

kg

MĚŘÍTKO: 2:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

PŘÍLOHA 5, 1/6

Pro výpočty operace frézování profilu je použit postup pro obvodové frézování. Náčrtek obvodového frézování viz obrázek P3.2 v příloze 3. Nejprve jsou určeny výchozí parametry obrábění. Parametry jsou voleny dle tabulky na obrázku P3.1, který je umístěn v příloze 3. Zvolené řezné podmínky a parametry nástroje jsou zapsány v tabulce P5.1.

Tab. 3.4 Výchozí hodnoty pro frézování profilu frézou z SK²¹ a parametry této frézy. [19]

Nástroj – nástrčná tvarová čelní válcová fréza z SK			
Průměr	Šířka	Počet zubů	
D _n [mm]	b _n [mm]	z _n [-]	
35	12	18	
Řezné podmínky			
Řezná rychlost	Posuv na zub	Šířka záběru	Šířka záběru hlavního ostří
v _c [m·min ⁻¹]	f _z [mm]	a _e [mm]	a _p [mm]
330	0,10	1,40	a _{ph} =3,84 ¹⁾ a _{pd} =4,70 ²⁾
1) a _{ph} =šířka záběru hlavního ostří pro profil horní strany klíče 2) a _{pd} =šířka záběru hlavního ostří pro profil dolní strany klíče			

Základní parametry

Základní parametry obrábění jsou stejné pro frézování obou stran profilu.

Jako první jsou, ze vztahu P5.1, vyjádřeny otáčky vřetene frézky. [19]

$$v_c = \frac{D_n \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (P5.1)$$

kde: v_c [m·min⁻¹] - řezná rychlost,
 D_n [mm] - průměr nástroje,
 n [1·min⁻¹] - otáčky vřetene.

Odvození:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} \quad (P5.1)$$

$$n = \frac{330 \cdot 1000}{35 \cdot \pi} = 3001 \frac{1}{\text{min}} \quad (P5.1)$$

²¹ SK = slinutý karbid

PŘÍLOHA 5, 2/6

Poté je vypočtena rychlost posuvu podle rovnice P5.2. [19]

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (P5.2)$$

kde: v_f [mm·min⁻¹] - rychlost posuvu,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 z [-] - počet zubů nástroje,
 n [1·min⁻¹] - otáčky vřetene.

$$v_f = 0,10 \cdot 18 \cdot 3001 = 5401,8 \frac{mm}{min} \quad (P5.2)$$

Řezná síla a výkon

Pro výpočet řezné síly a výkonu je použita hodnota šířky záběru hlavního ostří pro spodní stranu profil. A to z důvodu většího průřezu třísky a tím pádem i větší řezné síly a výkonu.

Podle rovnice P5.3 je vypočten úhel řezu. [19]

$$\cos \varphi_s = 1 - \frac{2 \cdot a_e}{D_n} \quad (P5.3)$$

kde: φ_s [°] - úhel řezu,
 a_e [mm] - šířka záběru,
 D_n [mm] - průměr nástroje.

Odvození:

$$\varphi_s = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot a_e}{D_n} \right) \quad (P5.3)$$

$$\varphi_s = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot 1,40}{35} \right) = 23,07^\circ \quad (P5.3)$$

PŘÍLOHA 5, 3/6

Dále je, pomocí vztahu P5.4, vypočtena střední tloušťka odřezávané vrstvy. [19]

$$h_m = \frac{114,6^\circ}{\varphi_s} \cdot f_z \cdot \frac{a_e}{D_n} \quad (P5.4)$$

kde: h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 φ_s [°] - úhel řezu,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 a_e [mm] - šířka záběru,
 D_n [mm] - průměr nástroje.

$$h_m = \frac{114,6^\circ}{23,07^\circ} \cdot 0,10 \cdot \frac{1,40}{35} = 0,02 \text{ mm} \quad (P5.4)$$

Pro výpočet průměrné řezné síly na zub je potřeba, aby byla vypočtena měrná řezná síla. Měrná řezná síla je zjištěna ze vztahu P5.5. [19]

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h_m^m} \quad (P5.5)$$

kde: k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 $k_{c1.1}$ [MPa] - specifická hodnota měrné řezné síly, viz tabulka 3.1.,
 h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 m [-] - koeficient nárůstu tangenty úhlu strmosti, viz tabulka 3.1.

$$k_c = \frac{780}{0,02^{0,18}} = 1577 \text{ MPa} \quad (P5.5)$$

Následně, podle rovnice P5.6, je spočtena průměrná řezná síla na zub. [19]

$$F_{cmz} = a_{pd} \cdot h_m \cdot k_c \cdot K_g \cdot K_v \cdot K_{Ver} \quad (P5.6)$$

kde: F_{cmz} [N] - průměrná řezná síla na zub,
 a_p [mm] - šířka záběru hlavního ostří,
 h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 K_g, K_v, K_{Ver} - korekční faktory.

PŘÍLOHA 5, 4/6

Fréza je vyrobena z SK, opotřebovaná a má úhel čela $\gamma=6^\circ$. [24]

Tím pádem hodnoty korekčních faktorů, dle tabulky na obrázku P3.3 v příloze 3, jsou:

- $K_g=1$
- $K_v=1$
- $K_{Ver}=1,3$

$$F_{cmz} = 4,70 \cdot 0,02 \cdot 1577 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 193 \text{ N} \quad (P5.6)$$

Pro výpočet výkonu je třeba znát počet zubů v záběru, který je vypočten dle vztahu P5.7. [19]

$$z_{iE} = \frac{\varphi_s \cdot z}{360^\circ} \quad (P5.7)$$

kde: z_{iE} [-] - počet zubů v záběru,
 φ_s [°] - úhel řezu,
 z [-] - počet zubů nástroje.

$$z_{iE} = \frac{23,07^\circ \cdot 18}{360^\circ} = 1,15 \quad (P5.7)$$

Řezný výkon plyne ze vztahu P5.8. [19]

$$P_c = \frac{F_{cmz} \cdot v_c \cdot z_{iE}}{60\,000} \quad (P5.8)$$

kde: P_c [kW] - řezný výkon,
 F_{cmz} [N] - průměrná řezná síla na zub,
 v_c [m·min⁻¹] - řezná rychlost,
 z_{iE} [-] - počet zubů v záběru.

$$P_c = \frac{193 \cdot 330 \cdot 1,15}{60\,000} = 1,2 \text{ kW} \quad (P5.8)$$

PŘÍLOHA 5, 5/6

Hnací výkon vřetene vychází z rovnice P5.9. [19]

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} \quad (P5.9)$$

kde: P_a [kW] - hnací výkon vřetene,
 P_c [kW] - řezný výkon,
 η [-] - účinnost, předpokládáno $\eta=0,85$.

$$P_a = \frac{1,2}{0,85} = 1,4 \text{ kW} \quad (P5.9)$$

Trvanlivost nástroje

K výpočtu času obrábění, a tím pádem i trvanlivosti, se musí vypočítat délku dráhy nástroje. Dráha přejezdu l_u je v tomto případě rovna 0 mm, protože odjezd nástroje od obrobku je realizován vertikálně, kolmo směrem od povrchu obrobku.

Výpočet je proveden podle vztahu P5.10. [19]

$$L = 1,5 + \sqrt{D \cdot a_e - a_e^2} + l \quad (P5.10)$$

kde: L [mm] - dráha nástroje,
 D [mm] - průměr nástroje,
 a_e [mm] - šířka záběru,
 l [mm] - délka obráběné plochy, $l=28$ mm.

$$L = 1,5 + \sqrt{35 \cdot 1,40 - 1,40^2} + 28 = 36,4 \text{ mm} \quad (P5.10)$$

Čas obrábění jedné strany profilu je výstupem ze vztahu P5.11. [19]

$$t_p = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (P5.11)$$

kde: t_p [min] - čas obrábění jedné strany profilu.
 L [mm] - dráha nástroje,
 i [-] - počet přejezdů, $i=2^{22}$,
 v_f [mm·min⁻¹] - rychlost posuvu.

$$t_h = \frac{36,4 \cdot 2}{5401,8} = 0,014 \text{ min} \Rightarrow 0,84 \text{ s} \quad (P5.11)$$

²² Rychlost se posuvu nemění jak při řezném pohybu, tak i při pohybu do výchozí polohy.

PŘÍLOHA 5, 6/6

Celkový strojní čas operace je složen z času dílčích operací. Základní operace jsou čtyři. A to samotné obrábění, vysunutí polotovaru ze zásobníku, upnutí polotovaru a vyhození obrobku. Tyto operace jsou většinou prováděny souběžně, ale není tomu tak vždy a proto vznikají technologický čas, se kterými se musí počítat. Technologický čas je cca 0,7 sekundy. [14]

Proto se celkový čas t_c vypočte z následujícího vztahu P5.12.

$$t_c = 2 \cdot t_p + t_t \quad (P5.12)$$

kde: t_c [min] - celkový čas obrábění,
 t_p [min] - čas obrábění jedné strany profilu,
 t_t [min] - technologický čas, $t_t=0,012$ min. [14]

$$t_c = 2 \cdot 0,014 + 0,012 = 0,040 \text{ min} \Rightarrow 2,4 \text{ s} \quad (P5.12)$$

Hodnota trvanlivosti vychází z praktických zkušeností při výrobě. Při těchto výrobních podmínkách je kusová trvanlivost T_k 400000 klíčů. Podle rovnice P5.13. je zjištěna časová trvanlivost nástroje. [14]

$$T = \frac{T_k \cdot t_c}{n} \quad (P5.13)$$

kde: T [min] - časová trvanlivost nástroje,
 T_k [-] - kusová trvanlivost nástroje,
 t_c [min] - celkový čas obrábění,
 n [-] - počet fréz, $n=2^{23}$.

$$T = \frac{400000 \cdot 0,040}{2} = 8000 \text{ min} \Rightarrow 133,3 \text{ hod} \quad (P5.13)$$

²³ Jeden pracovní cyklus je složen z obrábění horní a spodní strany profilu. Tím pádem jeden cyklus je složen z práce 2 nástrojů. Proto je nutné dělit počtem nástrojů, aby byla zjištěna časová trvanlivost jednoho nástroje. Ale k zastavení stroje a nabroušení fréz musí dojít až po cca 266 hodinách.

A



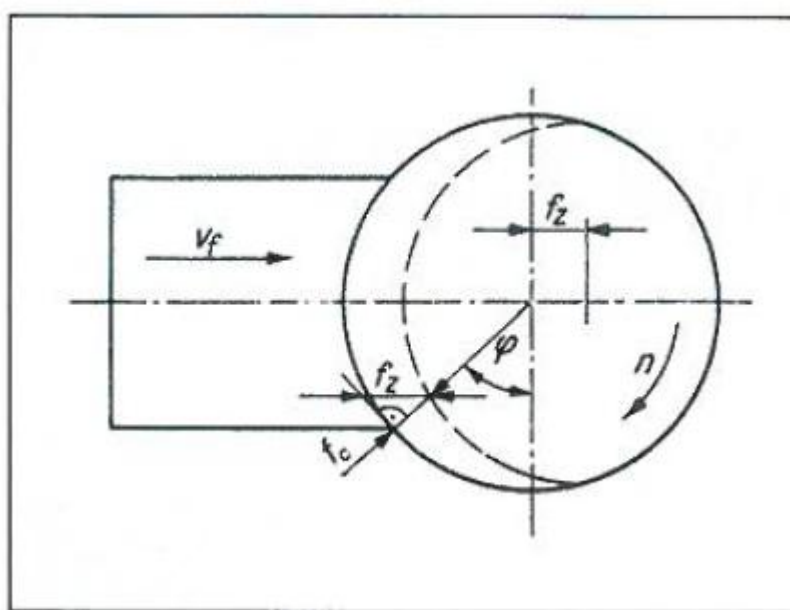
B

PŘÍLOHA 7, 1/7

Pro výpočty operace frézování zářezů je použit postup pro čelní frézování. Nákres čelního frézování viz obrázek P7.1. Zvolené rezné podmínky a parametry nástroje jsou zapsány v tabulce P7.1.

Tab. P7.1 Zvolené výchozí hodnoty pro frézování hřbetu frézou z SK a parametry této frézy. [19]

Nástroj – tvarová kotoučová fréza z SK			
Průměr	Šířka	Počet zubů	
D _n [mm]	b _n [mm]	z _n [-]	
130	10	64	
Řezné podmínky			
Řezná rychlost	Posuv na zub	Šířka záběru	Šířka záběru hlavního ostří
v _c [m·min ⁻¹]	f _z [mm]	a _e [mm]	a _p [mm]
150	0,05	-	-



Obr. P7.1 Podmínky záběru při čelním frézování. [19]

PŘÍLOHA 7, 2/7

Základní parametry

Otáčky vřetene frézky jsou vyjádřeny odvozením z následujícího vztahu P7.1. [19]

$$v_c = \frac{D_n \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad (P7.1)$$

kde: v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] - řezná rychlost,
 D_n [mm] - průměr nástroje,
 n [$1 \cdot \text{min}^{-1}$] - otáčky vřetene.

Odvození:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} \quad (P7.1)$$

$$n = \frac{150 \cdot 1000}{130 \cdot \pi} = 367 \frac{1}{\text{min}} \quad (P7.1)$$

Výpočet rychlosti posuvu je proveden podle vztahu P7.2. [19]

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (P7.2)$$

kde: v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] - rychlost posuvu,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 z [-] - počet zubů nástroje,
 n [$1 \cdot \text{min}^{-1}$] - otáčky vřetene.

$$v_f = 0,05 \cdot 64 \cdot 367 = 1174 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad (P7.2)$$

PŘÍLOHA 7, 3/7

Řezná síla a výkon

Z hlediska zatížení nástroje a tím pádem řezného výkonu je zásadní zářez číslo 3, který má největší hloubku a tím pádem i největší šířku záběru hlavního ostří.

Tab. P7.2 Řezné podmínky pro frézování zářezu číslo 3. [19]

Řezné podmínky			
Řezná rychlost	Posuv na zub	Průměrná šířka záběru ²⁴	Šířka záběru hlavního ostří
$v_c [m \cdot min^{-1}]$	$f_z [mm]$	$a_e [mm]$	$a_p [mm]$
150	0,05	1,09	4,26

Výpočet úhlu řezného oblouku je proveden pomocí rovnice P7.3. [19]

$$\varphi_s = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a_e}{D_n}\right) \quad (P7.3)$$

kde: $\varphi_s [^\circ]$ - úhel řezu,
 $a_e [mm]$ - šířka záběru,
 $D_n [mm]$ - průměr nástroje.

$$\varphi_s = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{1,09}{130}\right) = 0,96^\circ \quad (P7.3)$$

²⁴ Kvůli podélnému profilu musí být šířka záběru určena jako průměrná hodnota.

PŘÍLOHA 7, 4/7

Ze vztahu P7.4 je vypočtena střední tloušťka odřezávané vrstvy. [19]

$$h_m = \frac{114,6^\circ}{\varphi_s} \cdot f_z \cdot \sin \kappa \cdot \frac{a_e}{D_n} \quad (P7.4)$$

- kde: h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 φ_s [°] - úhel řezu,
 κ [°] - úhel záběru, v tomto případě $\kappa=90^\circ$,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 a_e [mm] - šířka záběru,
 D_n [mm] - průměr nástroje.

$$h_m = \frac{114,6^\circ}{0,96^\circ} \cdot 0,05 \cdot \sin 90^\circ \cdot \frac{1,09}{130} = 0,05 \text{ mm} \quad (P7.4)$$

Pro výpočet průměrné řezné síly na zub je potřeba vypočítat měrnou řeznou sílu dle rovnice P7.5. [19]

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h_m^m} \quad (P7.5)$$

- kde: k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 $k_{c1.1}$ [MPa] - specifická hodnota měrné řezné síly, viz tabulka 3.1,
 h_m [mm] - střední tloušťka odřezávané vrstvy,
 m [-] - koeficient nárůstu tangenty úhlu strmosti, viz tabulka 3.1.

$$k_c = \frac{780}{0,05^{0,18}} = 1337 \text{ MPa} \quad (P7.5)$$

PŘÍLOHA 7, 5/7

Následně, podle rovnice P7.6., je vypočtena průměrná řezná síla na zub. [19]

$$F_{cmz} = a_p \cdot h_m \cdot k_c \cdot K_g \cdot K_v \cdot K_{Ver} \quad (P7.6)$$

kde:	F_{cmz} [N]	-	průměrná řezná síla na zub,
	a_p [mm]	-	šířka záběru hlavního ostří,
	h_m [mm]	-	střední tloušťka odřezávané vrstvy,
	k_c [MPa]	-	měrná řezná síla,
	K_g, K_v, K_{Ver}	-	korekční faktory.

Fréza je vyrobena z SK, opotřebovaná a má úhel čela $\gamma=6^\circ$. [24]

Tím pádem hodnoty korekčních faktorů, dle tabulky na obrázku P3.3 v příloze 3, jsou:

- $K_g=1$,
- $K_v=1$,
- $K_{Ver}=1,3$.

$$F_{cmz} = 4,26 \cdot 0,05 \cdot 1337 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 = 370,2 \text{ N} \quad (P7.6)$$

Pro výpočet výkonu je třeba znát počet zubů v záběru, který se vypočte dle vztahu P7.7.

$$z_{iE} = \frac{\varphi_s \cdot z}{360^\circ} \quad (P7.7)$$

kde:	z_{iE} [-]	-	počet zubů v záběru,
	φ_s [°]	-	úhel řezu,
	z [-]	-	počet zubů nástroje.

$$z_{iE} = \frac{0,96^\circ \cdot 64}{360^\circ} = 0,17 \quad (P7.7)$$

PŘÍLOHA 7, 6/7

Řezný výkon vychází z rovnice P7.8. [19]

$$P_c = \frac{F_{cmz} \cdot v_c \cdot z_{iE}}{60\,000} \quad (P7.8)$$

kde: P_c [kW] - řezný výkon,
 F_{cmz} [N] - průměrná řezná síla na zub,
 v_c [m·min⁻¹] - řezná rychlost,
 z_{iE} [-] - počet zubů v záběru.

$$P_c = \frac{370,2 \cdot 150 \cdot 0,17}{60\,000} = 0,16 \text{ kW} \quad (P7.8)$$

Hnací výkon vřetene vychází ze vztahu P7.9. [19]

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} \quad (P7.9)$$

kde: P_a [kW] - hnací výkon vřetene,
 P_c [kW] - řezný výkon,
 η [-] - účinnost, předpokládáno $\eta=0,85$.

$$P_a = \frac{0,16}{0,85} = 0,19 \text{ kW} \quad (P7.9)$$

Trvanlivost nástroje

Výpočet času obrábění je proveden pro všechny zářezy dohromady.

Nejprve je vypočtena dráha nástroje při obrábění podle následujícího vztahu P7.10.

$$L_o = 2 \cdot n_z \cdot l_n + 2 \cdot \sum_{i=1}^n h_i \quad (P7.10)$$

kde: L_o [mm] - dráha nástroje při obrábění,
 n_z [-] - počet zářezů, $n_z=5$,
 l_n [mm] - délka nájezdu, $l_n=1,5$ mm,
 h_i [mm] - hloubka i-tého zářezu.

$$L_o = 2 \cdot 5 \cdot 1,5 + 2 \cdot (1,4 + 0,9 + 2,9 + 1,4 + 1,4) = 31 \text{ mm} \quad (P7.10)$$

PŘÍLOHA 7, 7/7

Čas obrábění vyšel ze vztahu P7.11.

$$t_o = \frac{L_o}{v_f} \quad (P7.11)$$

kde: t_o [min] - čas obrábění,
 L_o [mm] - dráha nástroje při obrábění,
 v_f [mm·min⁻¹] - rychlost posuvu.

$$t_o = \frac{31}{1174} = 0,026 \text{ min} \Rightarrow 1,2 \text{ s} \quad (P7.11)$$

Technologické časy musí i být započítány do celkového času obrábění. Technologické časy se týkají vysunutí polotovaru ze zásobníku, upnutí a odeslání obrobku pryč ze stroje. Celkový čas obrábění vyšel ze vztahu P7.12.

$$t_c = t_o + t_t \quad (P7.12)$$

kde: t_c [min] - celkový čas obrábění,
 t_h [min] - čas obrábění,
 t_t [min] - technologické časy, $t_t=0,025$ min.

$$t_c = 0,026 + 0,025 = 0,051 \text{ min} = 3,06 \text{ s} \quad (P7.12)$$

Kusová trvanlivost nástroje v praxi je 80000 kusů. Pomocí rovnice P7.13 byla přepočtena na časovou trvanlivost. [14]

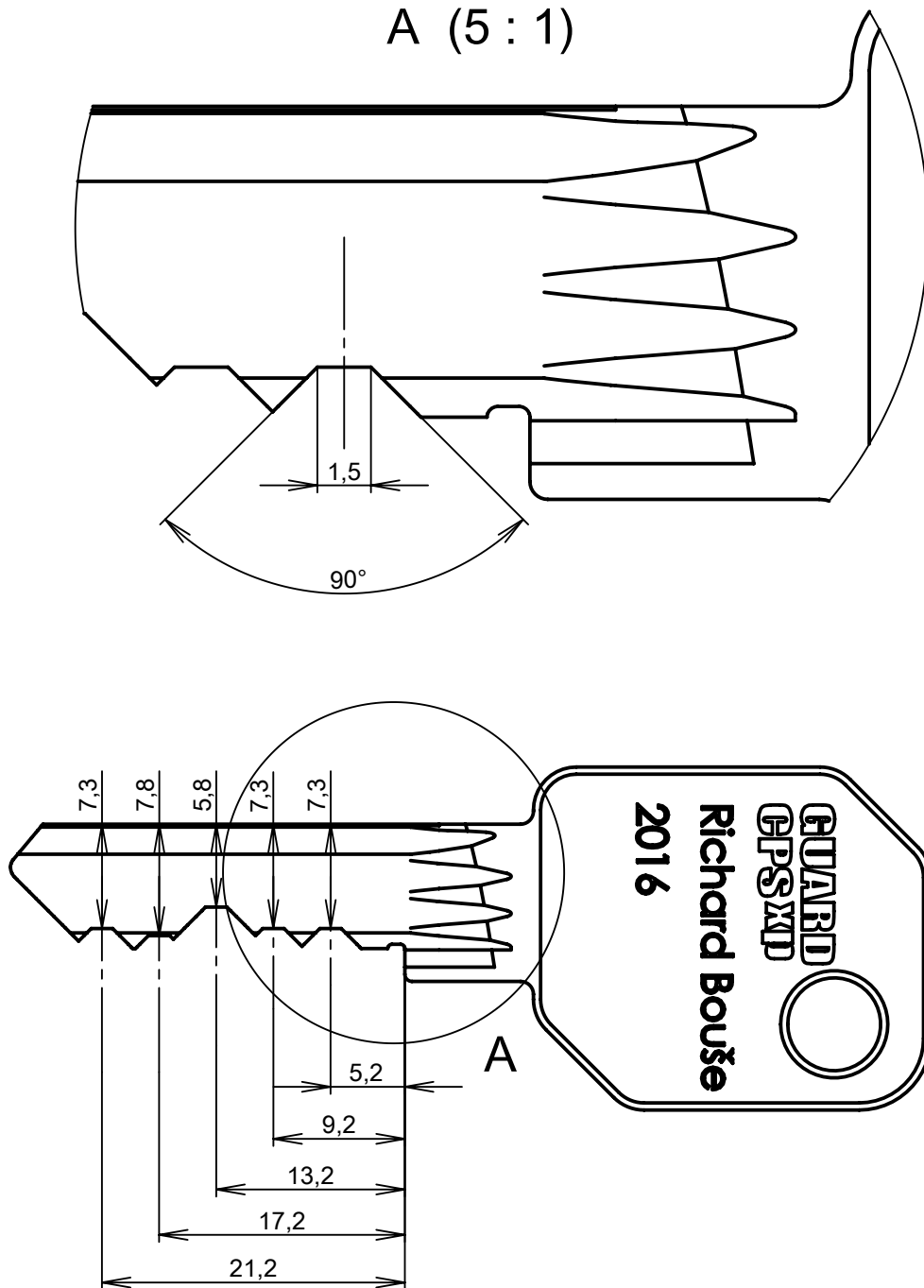
$$T = T_k \cdot t_c \quad (P7.13)$$

kde: T [min] - časová trvanlivost nástroje,
 T_k [-] - kusová trvanlivost nástroje, $T_k=80000$, [14]
 t_c [min] - celkový čas obrábění.

$$T = 80000 \cdot 0,051 = 4080 \text{ min} \Rightarrow 68 \text{ hod} \quad (P7.13)$$

PŘÍLOHA 8

A (5 : 1)



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
DRSNOST:
TOLERANCE:
LINEÁRNÍ:
ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL	BOUŠE	6.4.2016
PŘEZKOUSEL		
SCHVÁLIL		
VÝROBA		

NÁZEV:

KLÍČ FÁZE 4

SOLIDWORKS Student Edition (pro studenty)
Jen pro akademické použití.

BP - 2016 - 04

A4

HMOTNOST: 0.01

kg

MĚŘÍTKO: 2:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

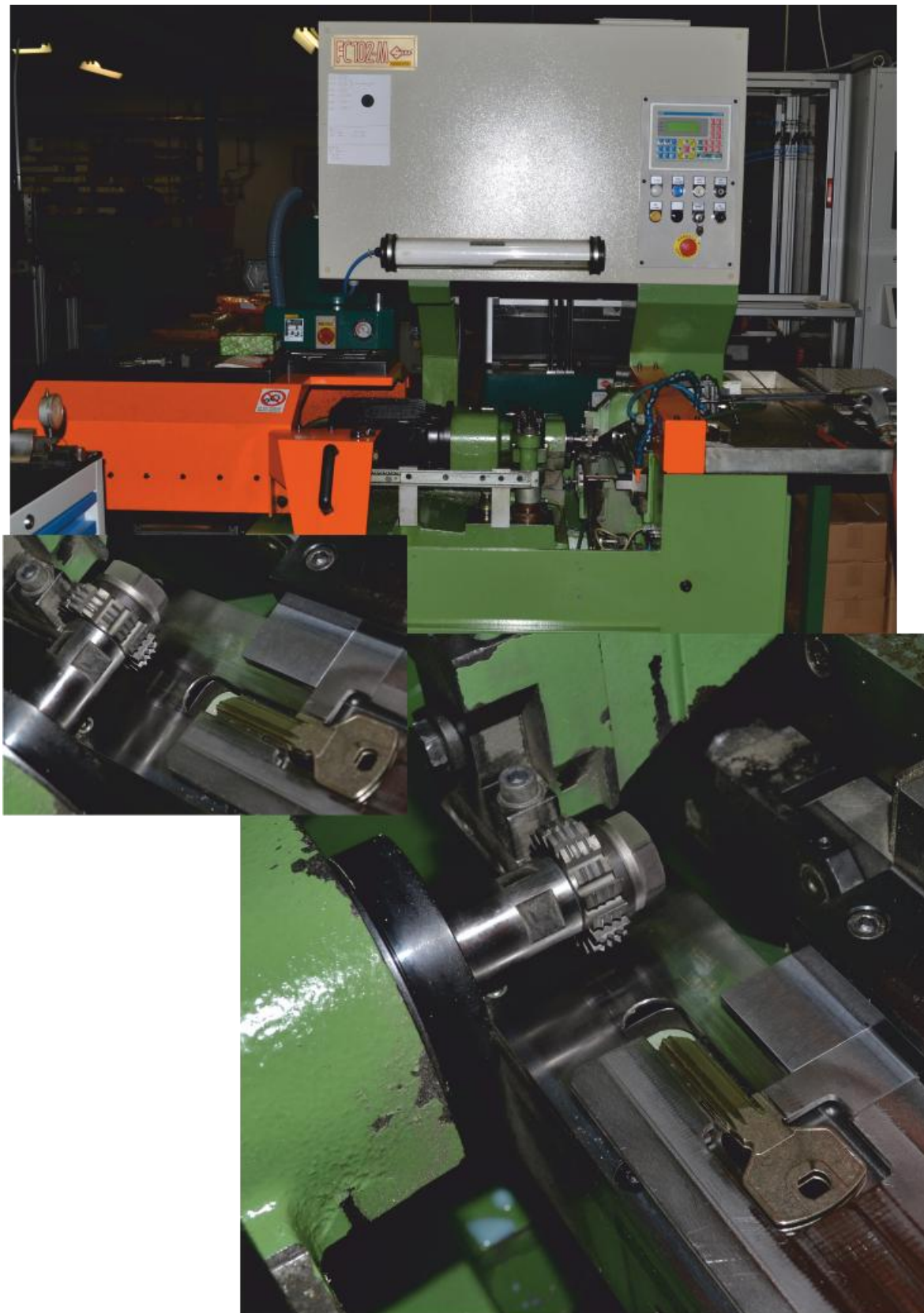
PŘÍLOHA 9

Na fotografiích v této příloze je zobrazena vačková frézka pro obrábění hřbetu klíče.



PŘÍLOHA 10

Na fotografiích v této příloze je vyfocena frézka pro obrábění profilu klíče.



PŘÍLOHA 11

Na fotografiích v této příloze je zobrazen lis, na kterém jsou lisována loga na hlavy klíčů.



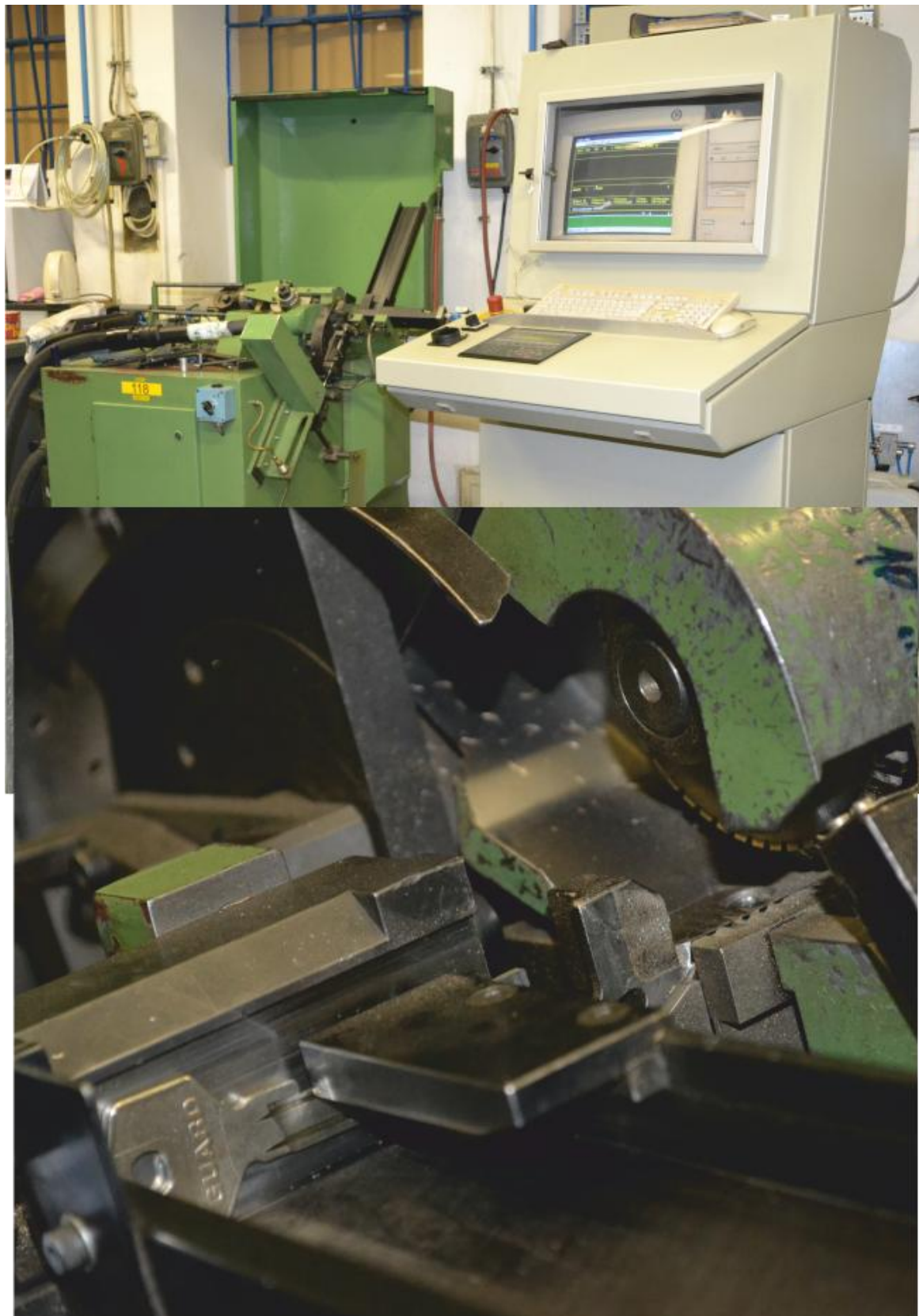
PŘÍLOHA 12

Na fotografii v této příloze je vyfocen pneumatický stroj, používaný pro ražení označení na hlavu klíče.



PŘÍLOHA 13

Na fotografiích v této příloze je vyfocena frézka určená pro obrábění zářezů na trnu klíče.



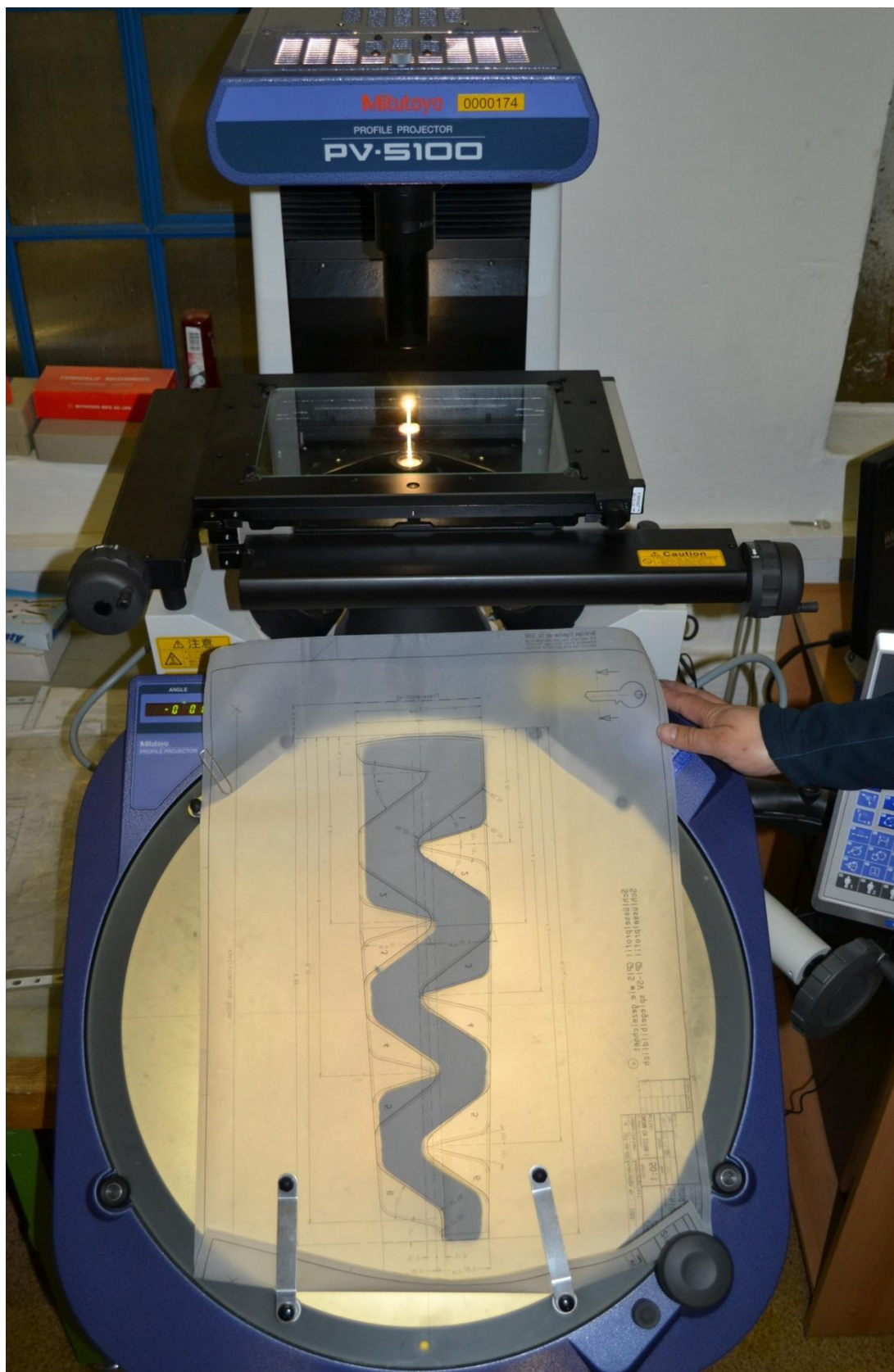
PŘÍLOHA 14

Na fotografiích v této příloze je vyfocen omílací buben, ve kterém jsou z klíčů odstraňovány ostřiny.



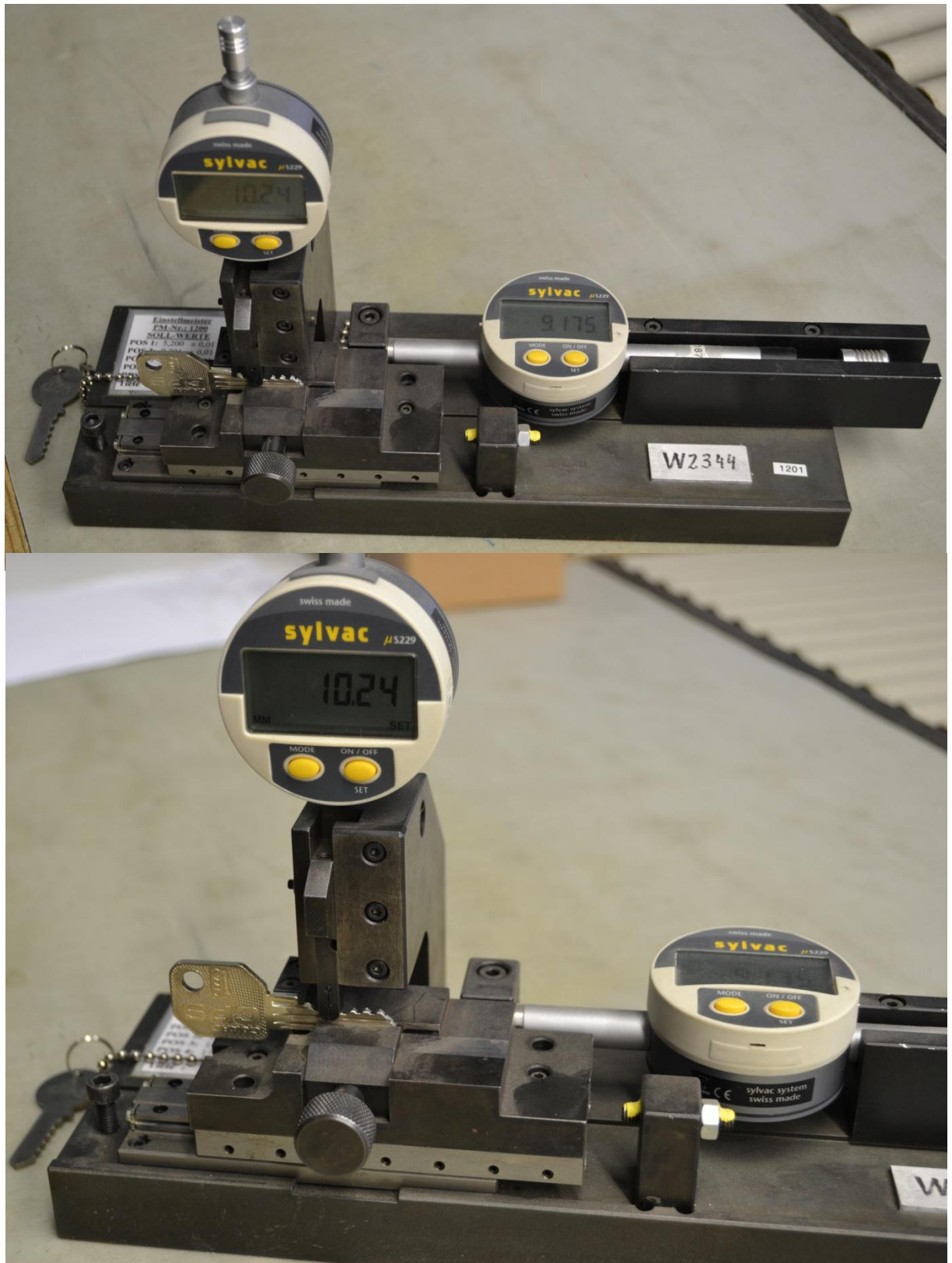
PŘÍLOHA 15

Na fotografii v této příloze je ukázán průběh kontroly profilu na prosvěcovacím přístroji.



PŘÍLOHA 16

Na fotografii v této příloze je ukázán průběh kontroly zářezů pomocí speciálního přípravku.



PŘÍLOHA 17

V této příloze je vložena ukázková objednávací tabulka pro uzamykací systém.

Hotel Květnice Systém TB - 1001			Klíče					
			generální klíč	pokojská 1. patro	pokojská 2. patro	pokojská 3. patro	požární únik. východ	sociální zařízení 1. a 2. patro
číslo	vlastní klíč (ks)	vložky	GK	P1	P2	P3	PUV	WC12
105	1	pokoj 105						
130	2	požární únik. V.						
220	1	apartmán						
270	2	wc vinárna						
274	1	relax						
310	1	pokoj 310						

Klíče		Zuby
GK	357 - 00	3 3 6 2 3
105	357 - 23	3 1 2 6 3
130	357 - 24	3 3 2 6 1
220	357 - 25	3 5 2 2 1
270	357 - 35	1 3 2 6 3
274	357 - 45	1 5 6 2 1
310	357 - 34	1 5 6 2 1
P1	357 - 0	7 3 6 2 7
P2	357 - 0	7 3 4 2 3
P3	357 - 0	3 3 4 2 7
PUV	357 - 0	3 7 6 2 3
WC 12	357 - 0	3 3 6 8 3

Vložky		Kolíky
105	C35 - 23	3 1 2 2 3
		4 2 4 4 4
130	C35 - 24	3 3 2 2 1
		4 4 4 4 2
		· · · · 4
220	C35 - 25	3 3 2 2 1
		4 2 2 · 2
		· · 2 · ·
270	C35 - 35	1 3 2 2 3
		2 · 2 4 ·
		4 · 2 2 ·
274	C35 - 45	1 3 6 2 1
		2 2 · · 2
310	C35 - 34	1 3 4 2 1
		2 2 2 · 2
		· · · · 4