

TECHNOLÓGIA TVÁRNENIA – Strihanie

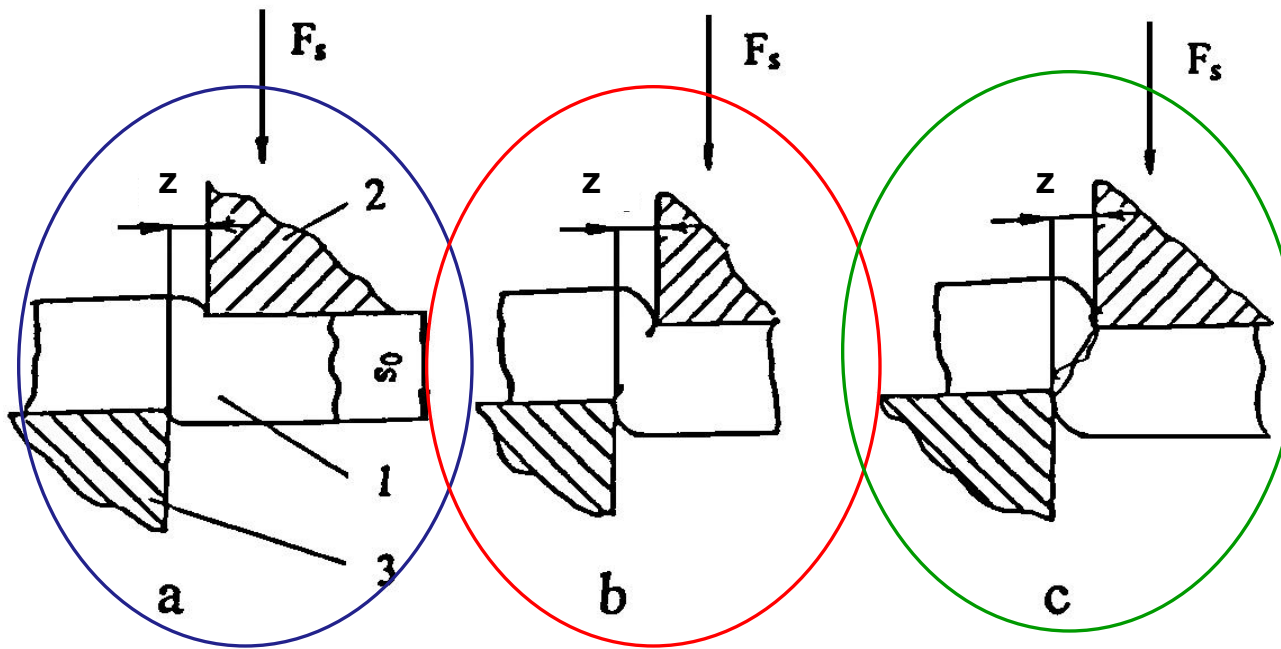
Strihanie – fázy strihania

Pružná fáza – začína pri kontakte strižných hrán so strihaným materiálom a končí dosiahnutím medze sklzu R_e v rovine strihu. Táto fáza prebieha počas vnikania strižnej hrany do vzdialenosti asi 5 až 8 % z hrúbky strihaného materiálu.

Fáza tvárnej deformácie – napätie sa zvyšuje až na hodnotu medze pevnosti v strihu. Hĺbka vniku strižníka do materiálu je 10 až 25 % hrúbky strihaného materiálu. V mieste kontaktu strižných hrán s materiálom sa začínajú **vytvárať mikrotrhliny**.

Fáza porušenia – nastáva po prekročení hodnoty medze pevnosti v strihu, kedy dochádza k vzniku a šíreniu trhlín po sklzových rovinách. Po ich spojení sa materiál oddelí. Oddelenie materiálu nastane skôr ako prejde strižník celou hrúbkou materiálu. Vzdialenosť, ktorú prejde strižník od okamihu dotyku s materiálom po jeho oddelenie je definovaná ako **hrúbka čistého strihu**.

Strihanie – fázy strihania



Pružná fáza

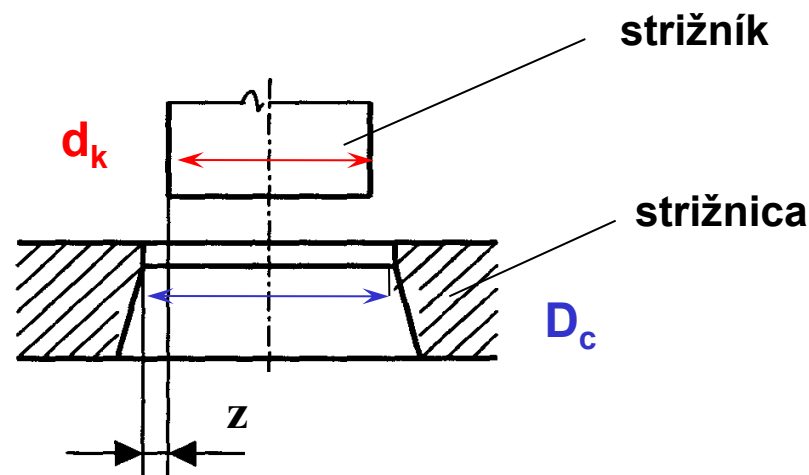
Fáza porušenia

Fáza tvárnej deformácie

Strihanie – strižná medzera

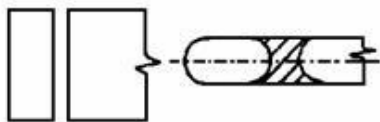
$$z = \frac{v}{2}$$

$$v = D_c - d_k$$

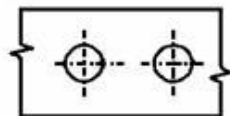


Na tvar strižnej plochy výrazne vplýva **strižná medzera z** , čo je vzdialenosť medzi strižnými hranami. Pri strihaní na strižných nástrojoch sa používa pojem **strižná vôľa v** . **Strižná vôľa** je rozdiel medzi rozmerom pracovných častí strižníka a strižnice. **Strižná medzera** je polovica strižnej vôle a má byť po celom obvode, medzi strižníkom a strižnicou, rovnaká.

Operácie strihania



a



b



c



d



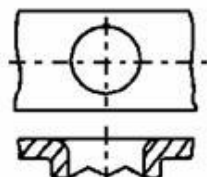
e



f



g



h



i

Operácie strihania

a – jednoduché strihanie,

b – dierovanie,

c – vystrihovanie,

d – ostrihovanie,

e – pristrihovanie,

f – nastrihovanie,

g – prestrihovanie,

h – pretrhávajúce,

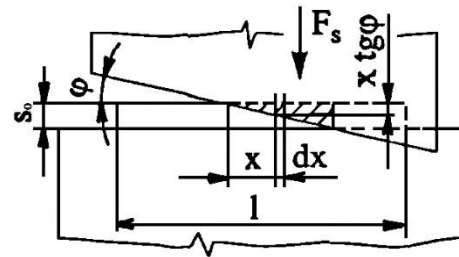
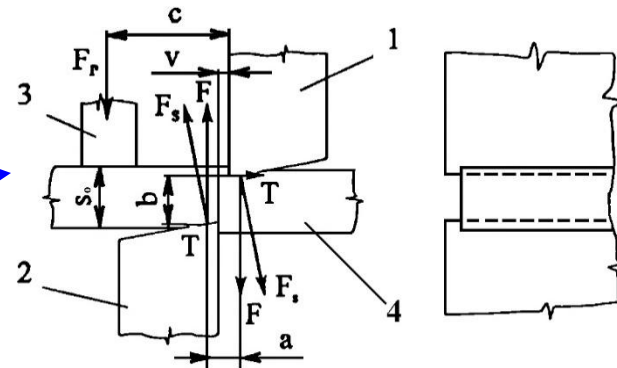
i – vysekávajúce

Procesy strihania

Proces strihania materiálu sa realizuje **na nožniciach**
a **na strižných nástrojoch na lisoč**

Strihanie **na nožniciach**:

- rovnobežnými nožmi,
- sklonenými nožmi,
- kotúčovými nožmi,
- kmitajúcimi nožmi.

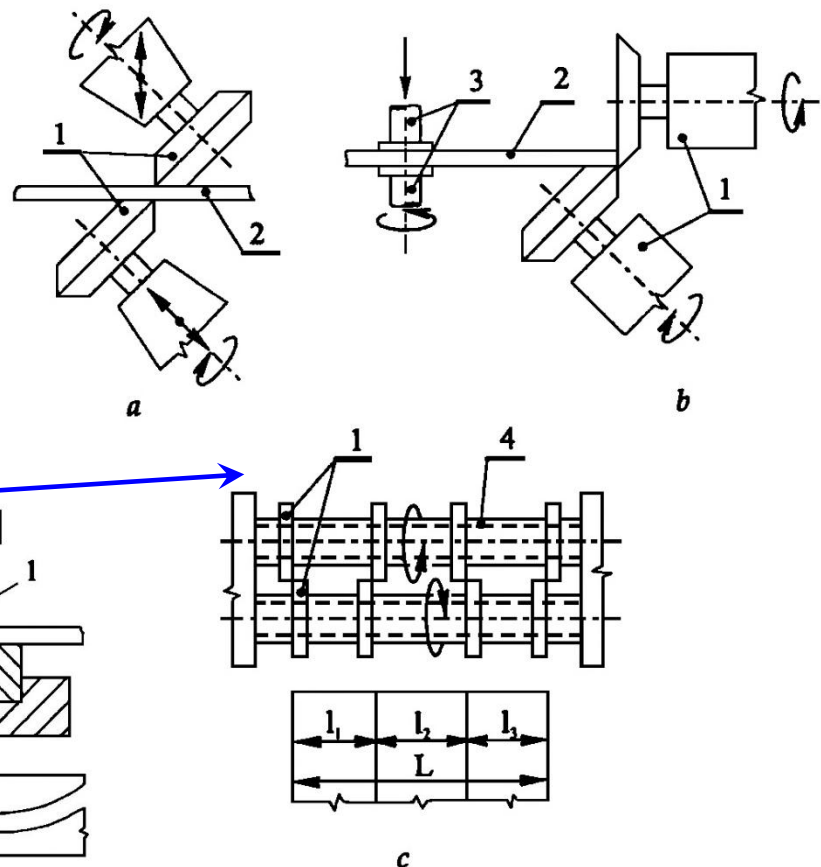


Procesy strihania

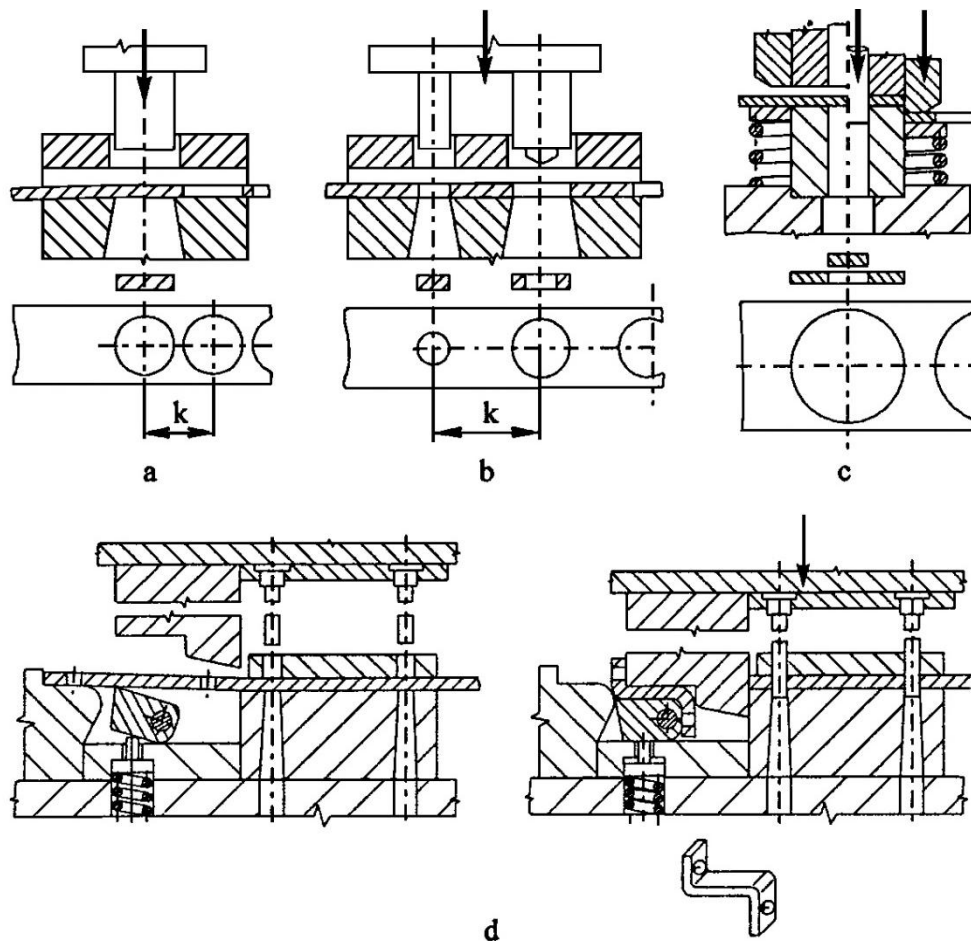
Proces strihania materiálu sa realizuje **na nožniciach**
a **na strižných nástrojoch na lisoch**

Strihanie **na nožniciach**:

- rovnobežnými nožmi,
- sklonenými nožmi,
- kotúčovými nožmi:
 - jednokotúčové,
 - dvojkotúčové,
 - viackotúčové,
- kmitajúcimi nožmi.



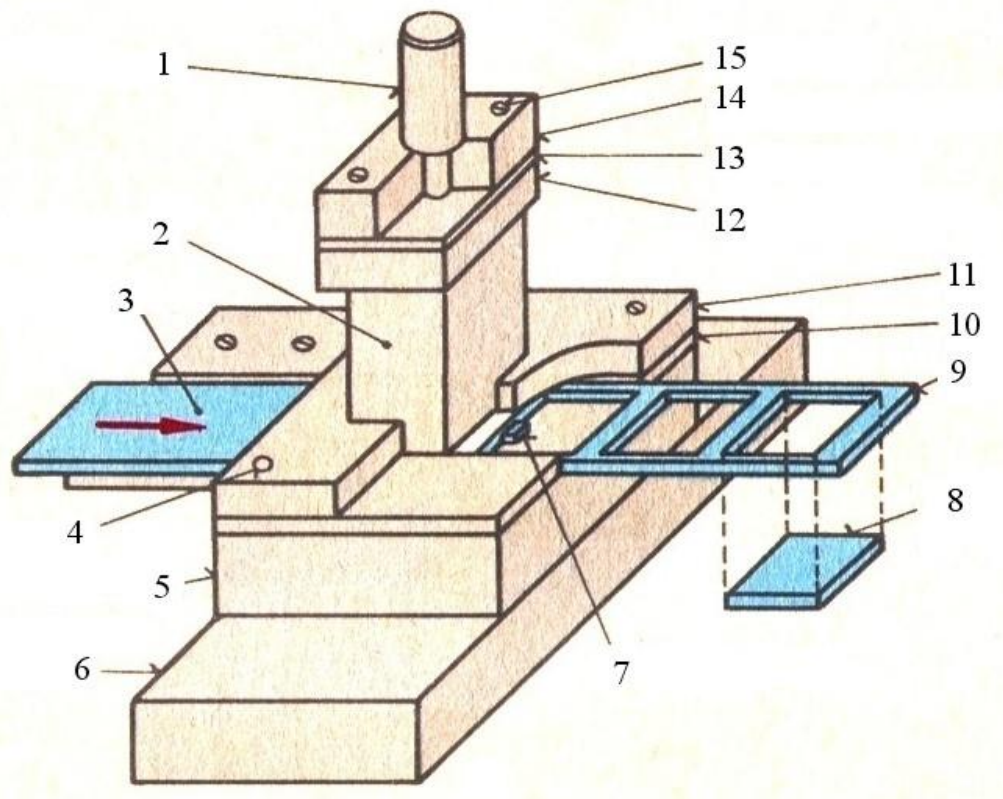
Nástroje na strihanie



Principiálne schémy strižných nástrojov

- a – jednoduchý,
- b – postupový,
- c – zlúčený,
- d – združený, k – krok

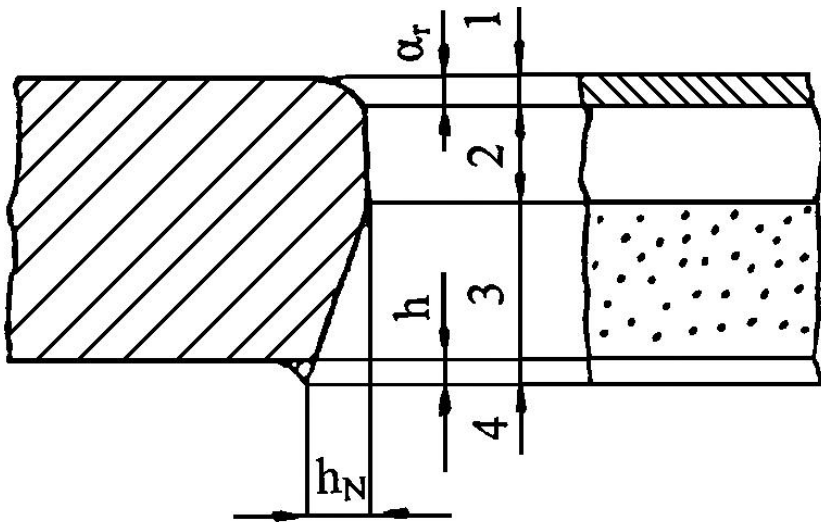
Nástroje na strihanie



Uzatvorený strižný nástroj (s vedením strižníka voči strižnici)

- 1 – upínacia stopka,
- 2 – strižník,
- 3 – polotovár (pás plechu),
- 4 – kolík,
- 5 – strižnica,
- 6 – základová doska,
- 7 – doraz,
- 8 – výstrižok,
- 9 – odpad (perforovaný polotovár),
- 10 – vodiaca doska,
- 11 – vodiaca lišta,
- 12 – dolná upínacia doska,
- 13 – oporná doska,
- 14 – horná upínacia doska,
- 15 – skrutka

Strihanie – kvalita strižnej plochy



Tvar a kvalita strižnej plochy

1 – pásmo zaoblenia ($0,06s_0$),
 2 – pásmo plastického strihu ($0,1s_0$),
 3 – pásmo porušenia materiálu ($0,8s_0$),
 4 – pásmo odtlačenia od strižnice ($0,04s_0$),
 α_r – zaoblenie strižnej plochy, h – výška ostriny,
 h_N – hĺbka nerovnosti strižnej plochy

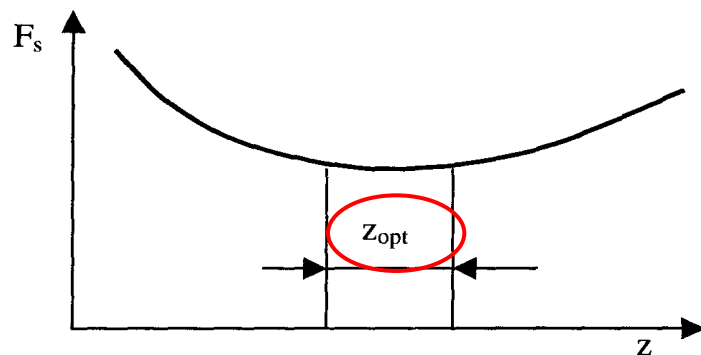
Pre materiály s hrúbkou $s_0 \leq 3$ mm, platí:

$$z = 0,32cs_0\sqrt{\tau_{ps}}$$

Pre materiály s hrúbkou $s_0 > 3 \text{ mm}$, platí:

$$z = 0,32(1,5c_{s_0} - 0,015)\sqrt{\tau_{ps}}$$

Strihanie – kvalita strižnej plochy



$$z_{opt} = (0,03 až 0,12)s_0$$



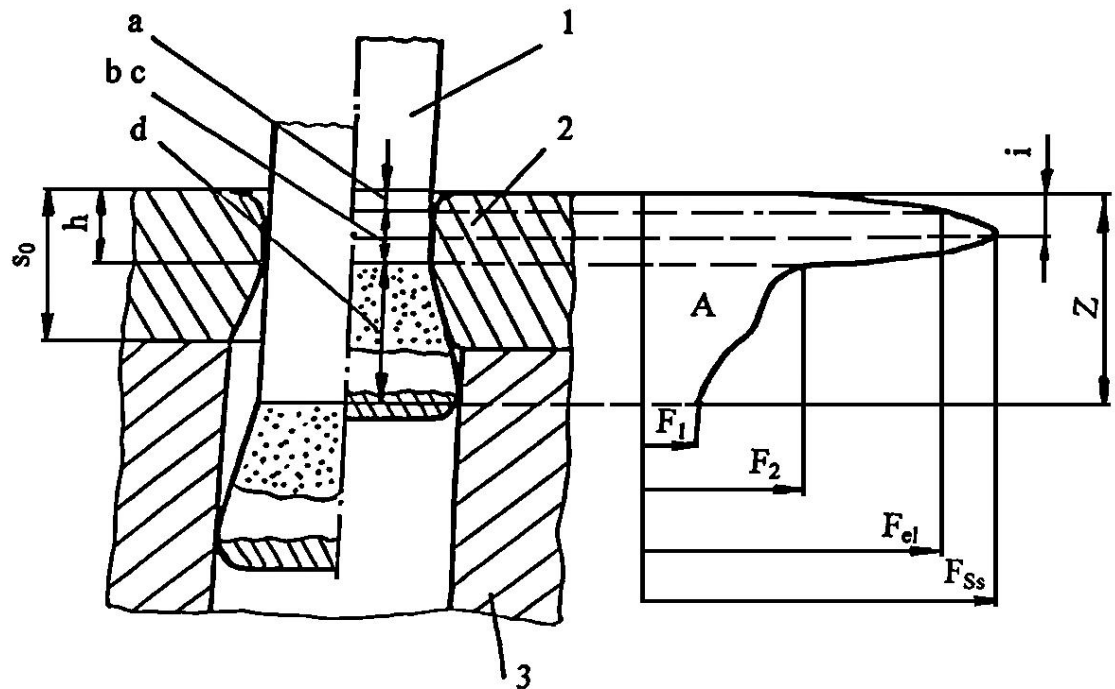
Sila a práca pri strihaní

$$F_S = k S \tau_s$$

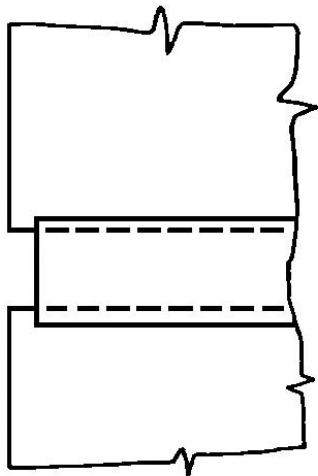
$$S = L_{S\check{C}} s_0$$

$$k = (1,1 \text{ až } 1,3)$$

$$A_S = F_S h \psi$$



Strihanie rovnými nožmi

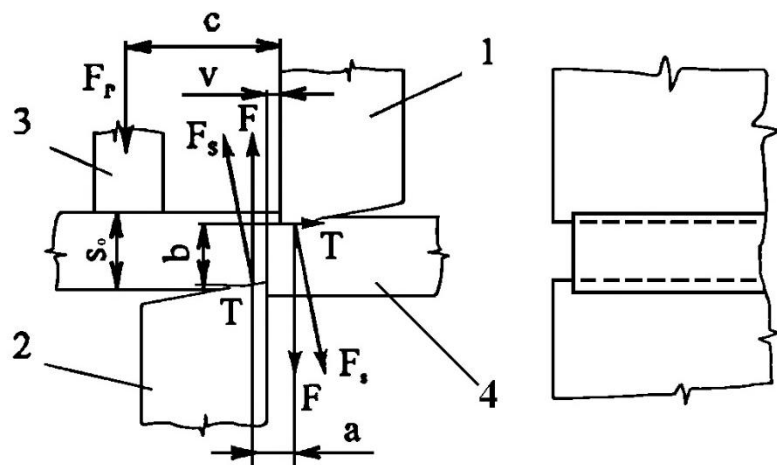


$$A_S = F_S h \psi$$

Strihanie rovnými nožmi – príklad

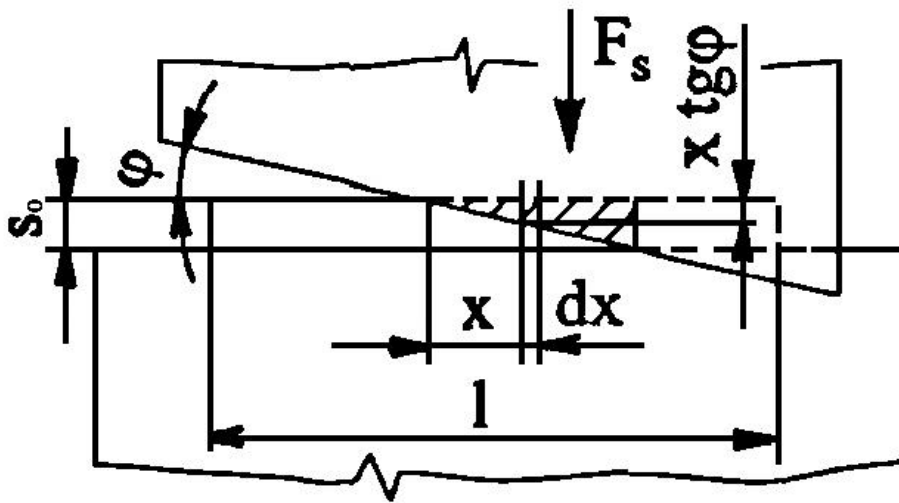
Materiál STN 41 1700.0 ($R_m = 700$ až 850 MPa) s hrúbkou $s_0 = 3,3$ mm,
 $\tau_s = 502$ až 586 MPa, $b = 500$ mm

$$F_S = k S \tau_s = 1,3 \cdot 1\,650 \cdot 586 = 1\,256\,970 \text{ N} = 1\,257 \text{ kN}$$



$$A_S = F_S h \psi = 1\,257 \cdot 3,3 \cdot 0,75 = 3\,111 \text{ J}$$

Strihanie šikmými nožmi



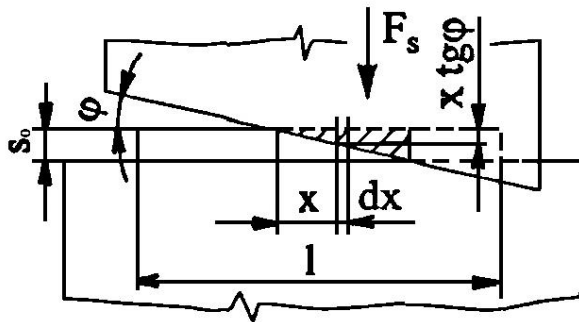
$$F_s = k S \tau_s$$

$$A_s = F_s h' \psi$$

Strihanie šikmými nožmi – príklad

Materiál STN 41 1700 ($R_m = 700$ až 850 MPa) s hrúbkou $s_0 = 3,3$ mm,
 $\tau_s = 502$ až 586 MPa, $b = 500$ mm, $\varphi = 4^\circ$

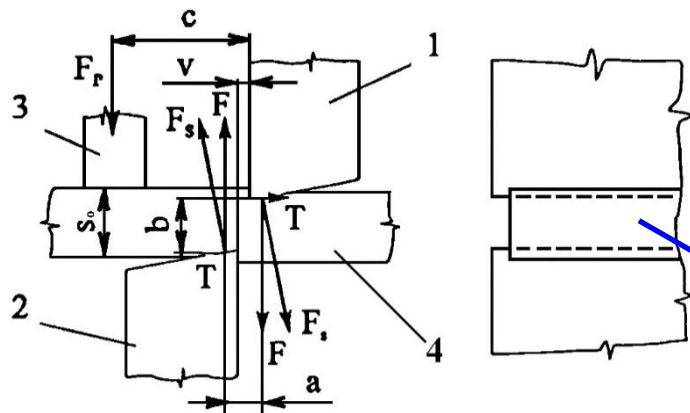
$$F_S = kS\tau_s = 1,3 \cdot \frac{1}{2} \frac{3,3^2}{\tan 4} \cdot 586 = 59\,342 \text{ N} = 59,3 \text{ kN}$$



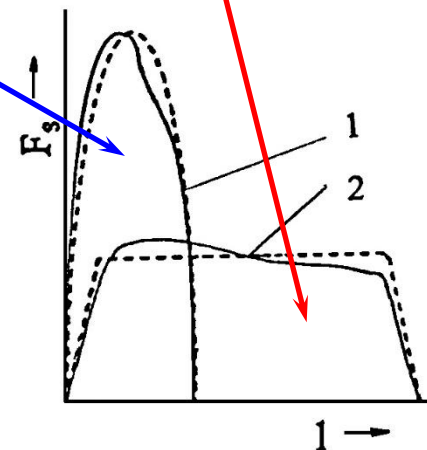
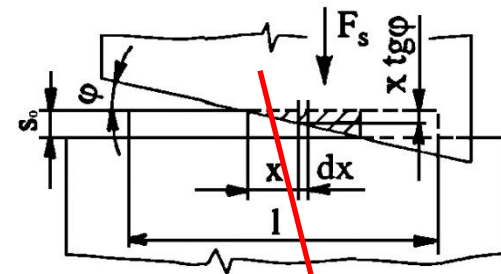
$$A_S = F_S h' \psi = 59,3 \cdot (3,3 + 500 \cdot \tan 4) \cdot 0,75 = 1\,701,8 \text{ J}$$

Strihanie šikmými nožmi

$$F_{S_{RN}} = 1\,257\text{ kN}$$



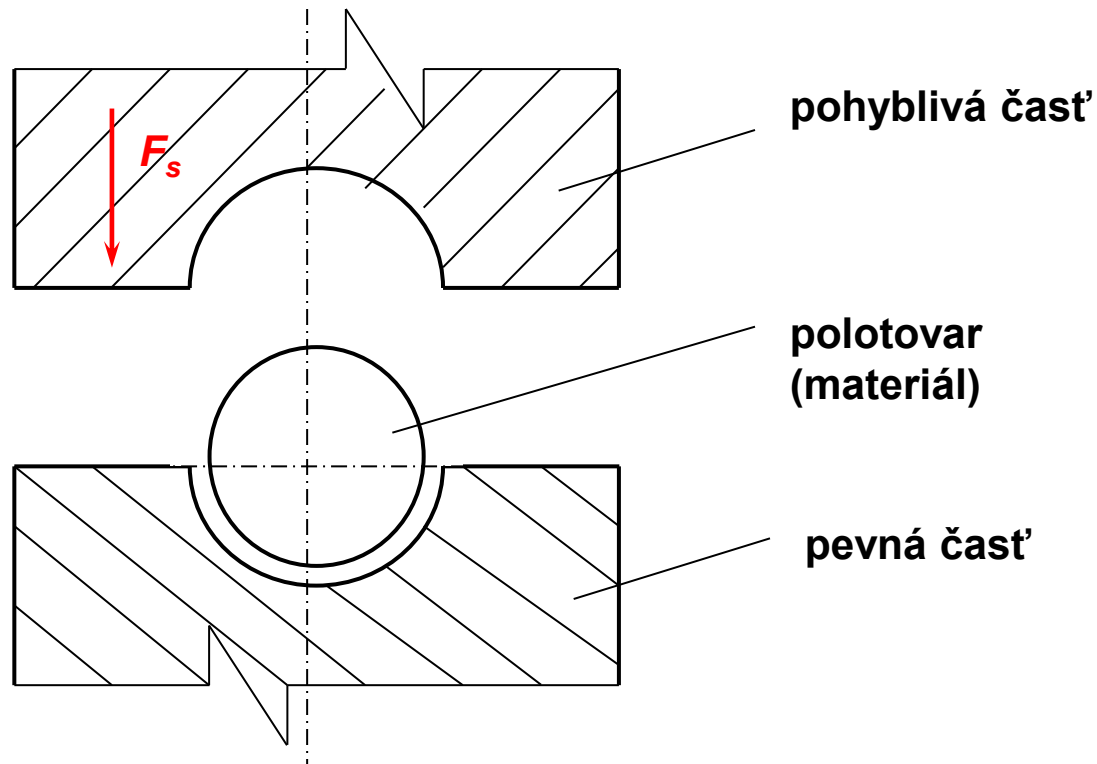
$$F_{S_{\text{šN}}} = 59,3\text{ kN}$$



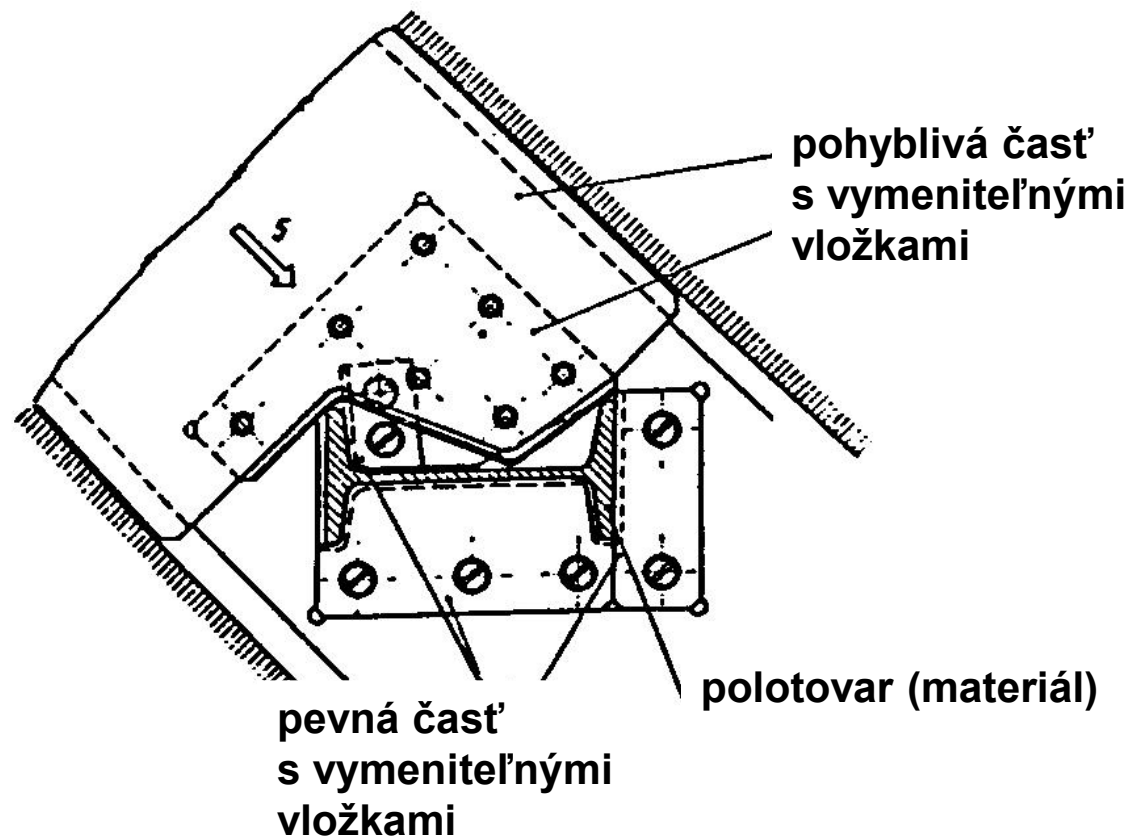
Priebeh strižných síl

1 – pri **rovnoobežných nožoch**, 2 – **pri sklonených nožoch**,
 — — skutočný priebeh strižnej sily, - - - - teoretický priebeh strižnej sily,
 F_s – strižná sila, $l(h)$ – dráha pohyblivého noža

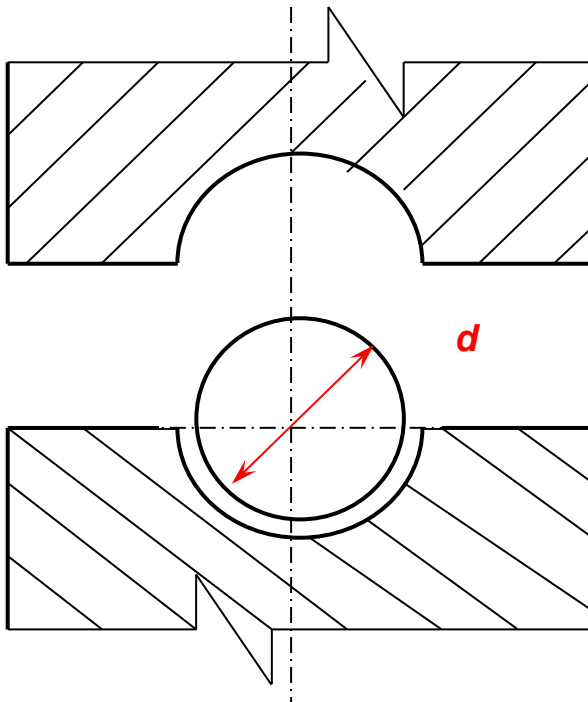
Strihanie profilovými nožnicami



Strihanie profilovými nožnicami



Strihanie profilovými nožnicami

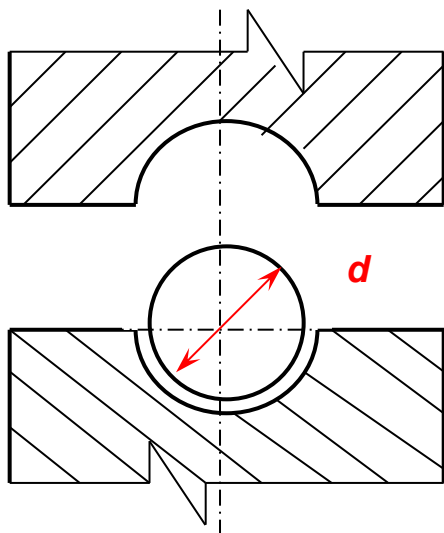


$$F_S = k S \tau_s$$

$$A_S = F_S h \psi$$

Strihanie profilovými nožnicami – príklad

Materiál STN 41 2010.0 ($R_m = 450$ až 650 MPa) s priemerom $d = 26$ mm,
 $\tau_s = 502$ až 586 MPa.



$$F_s = k S \tau_s = 1,3 \cdot \frac{\pi 26^2}{4} \cdot 586 = 404461,83 \text{ N} = 405 \text{ kN}$$

$$A_s = F_s h \psi = 405 \cdot 26 \cdot 0,45 = 4738,50 \text{ J}$$

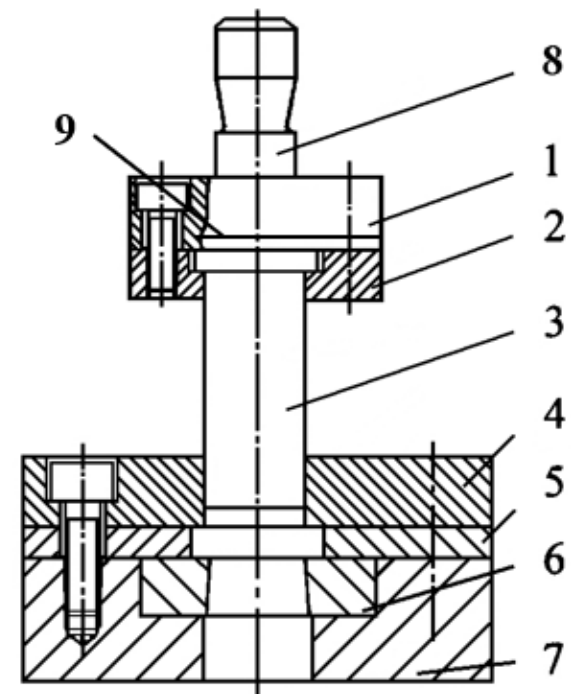
Strižný nástroj s vedením vodiacou doskou

Strižné nástroje sú:

- **Otvorené** nástroje (bez vedenia strižníka voči strižnici),
- **Uzatvorené** nástroje (strižník je vedený voči strižnici, napr. vodiacou doskou, vodiacimi stĺpikmi, strižnicou a iné).

Jednoduchý uzatvorený strižný nástroj

- 1 – horná upínacia doska, 2 – dolná upínacia doska,
3 – strižník, 4 – vodiaca doska, 5 – vodiace lišty,
6 – strižnica, 7 – základová doska,
8 – upínacia stopka, 9 – oporná doska

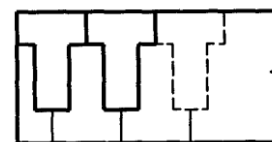
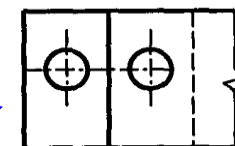
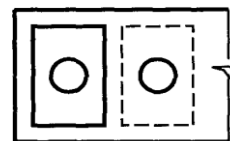


Nástrihový plán

Nástrihové plány (NP) delíme:

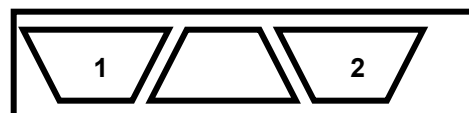
- podľa druhu odpadu na:

- NP s odpadom,
- NP s čiastočným odpadom,
- NP bez odpadu.

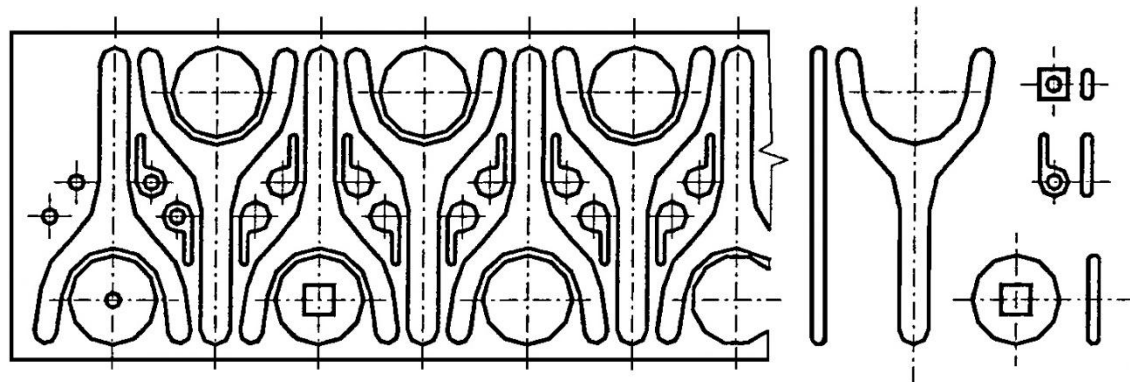
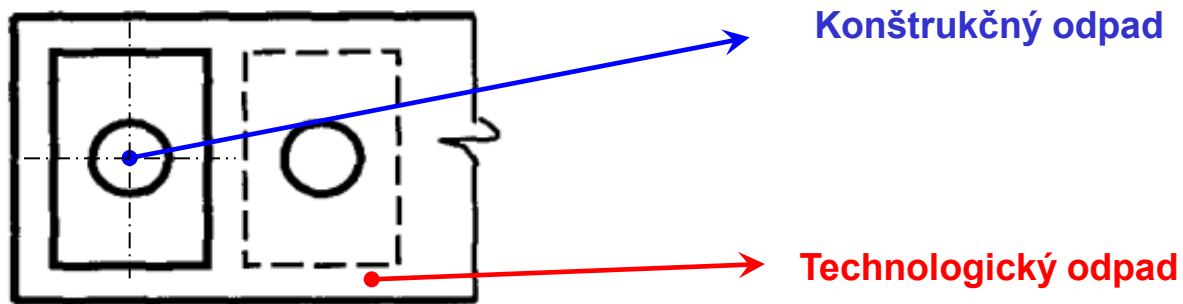


- podľa počtu radov na:

- jednoradový NP,
- dvojradový NP,
- viacradový NP,
- s otáčaním pásu.



Nástrihový plán



Nástrihový plán – využitelnost' polotovaru (VP)

$$\eta = \frac{nS_v}{S_p} 100 \text{ (\%)}$$

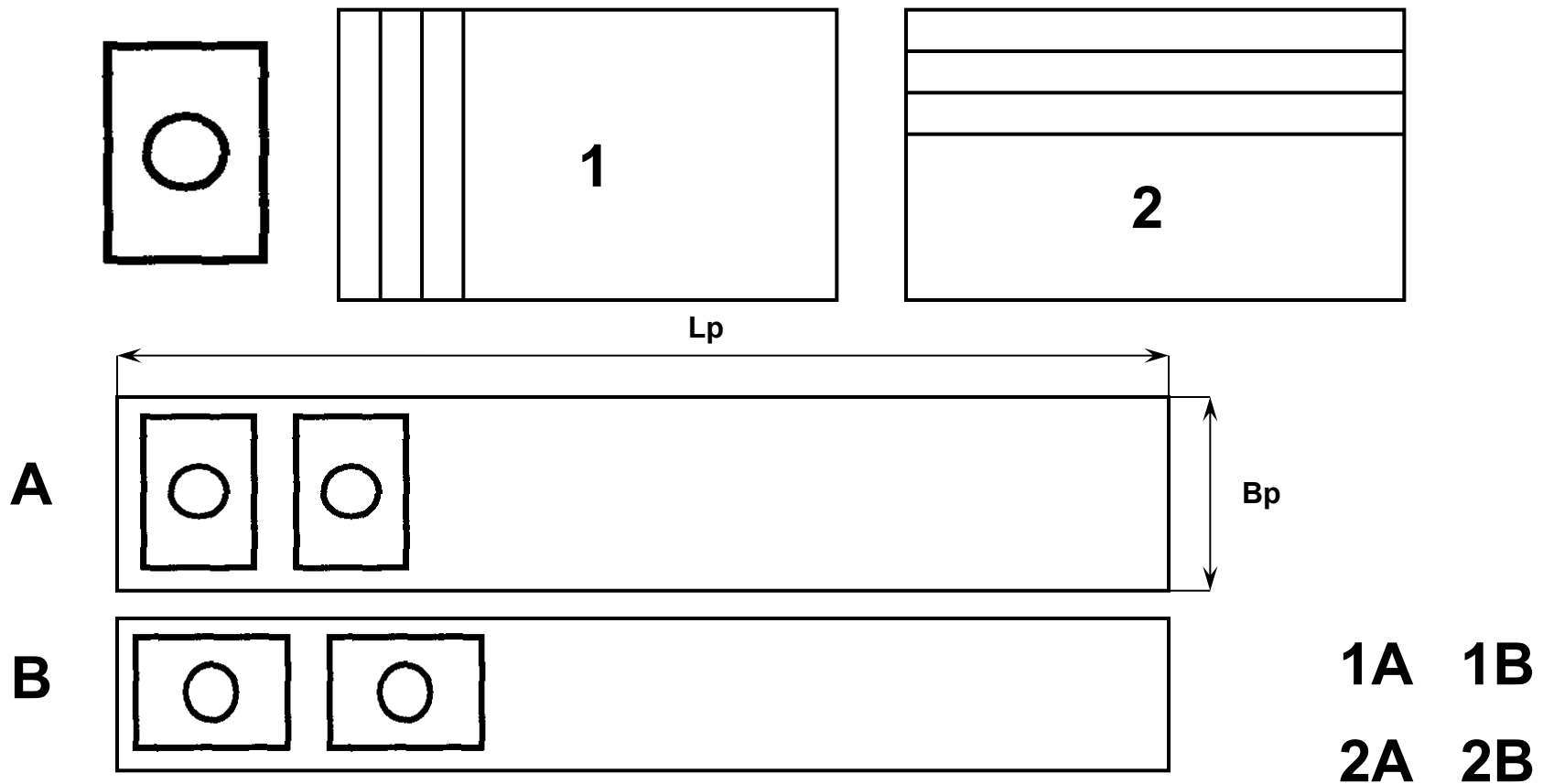
VP na páse

$$\eta = \frac{nS_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{pásu}}} 100 \text{ (\%)}$$

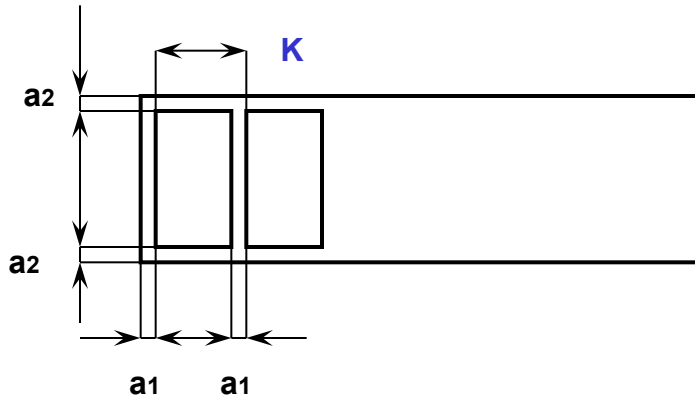
VP na tabuli

$$\eta = \frac{n_t n_p S_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{tabule}}} 100 \text{ (\%)}$$

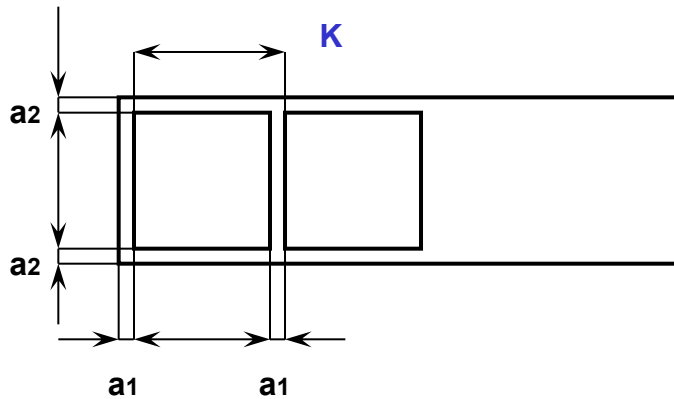
Nástrihový plán – príklad



Nástrihový plán

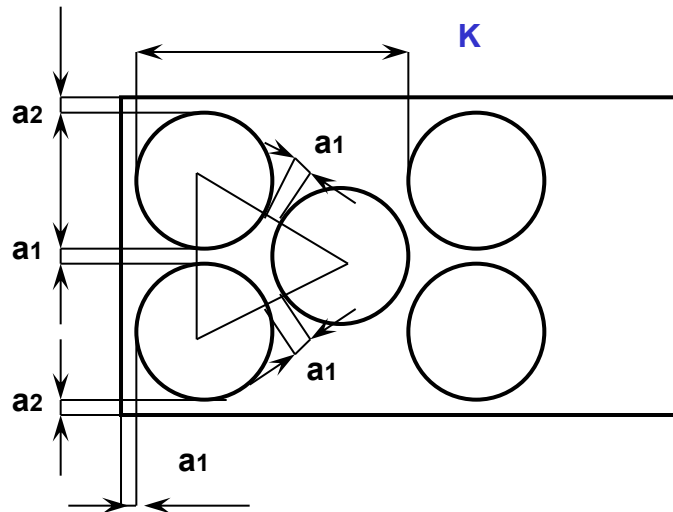
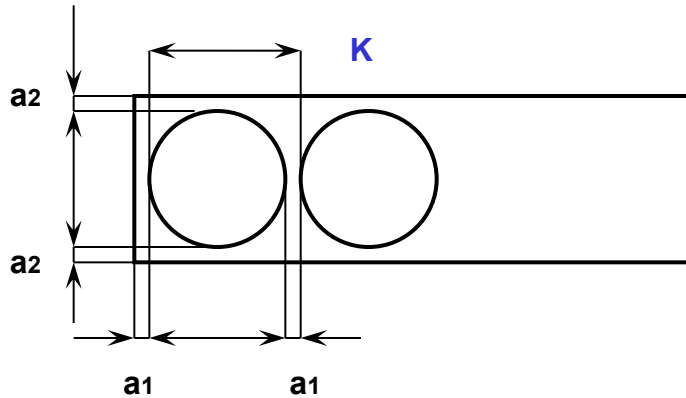


$$a_1 = a_2 = 1,2 \cdot s_0$$



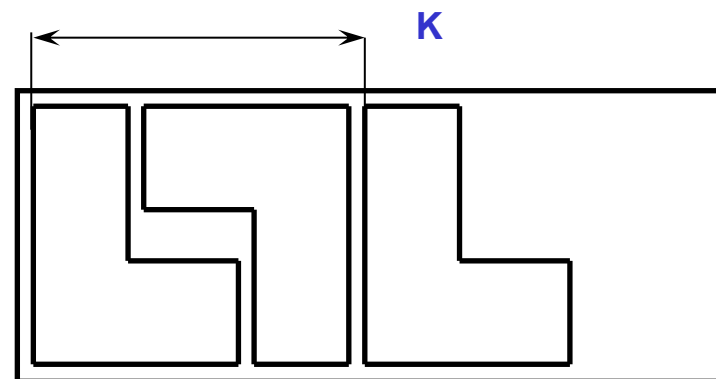
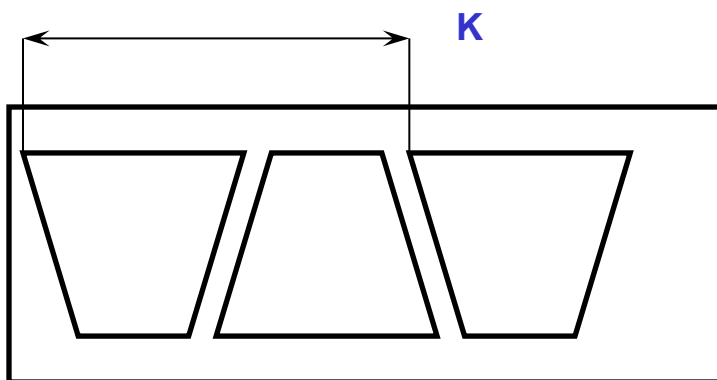
$$a_1 = a_2 = s_0$$

Nástrihový plán



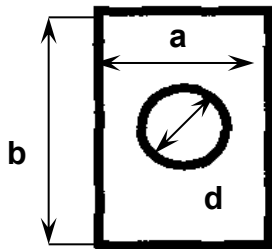
$$a_1 = a_2 = 0,8.s_0$$

Nástrihový plán



Nástrihový plán – príklad

Pre súčiastku z materiálu STN 41 1500 ($R_m = 500$ a σ_{620} MPa) formát plechu 1000x2000 mm s hrúbkou $s_0 = 2$ mm navrhnete nástrihový plán a vypočítajte využitelnosť materiálu. Ročná séria je 52 000 ks. Ďalej vypočítajte strižnú silu a strižnú prácu a navrhnete výrobné zariadenie.



Rozmery súčiastky: $a = 30$ mm, $b = 53$ mm, $d = 10$ mm

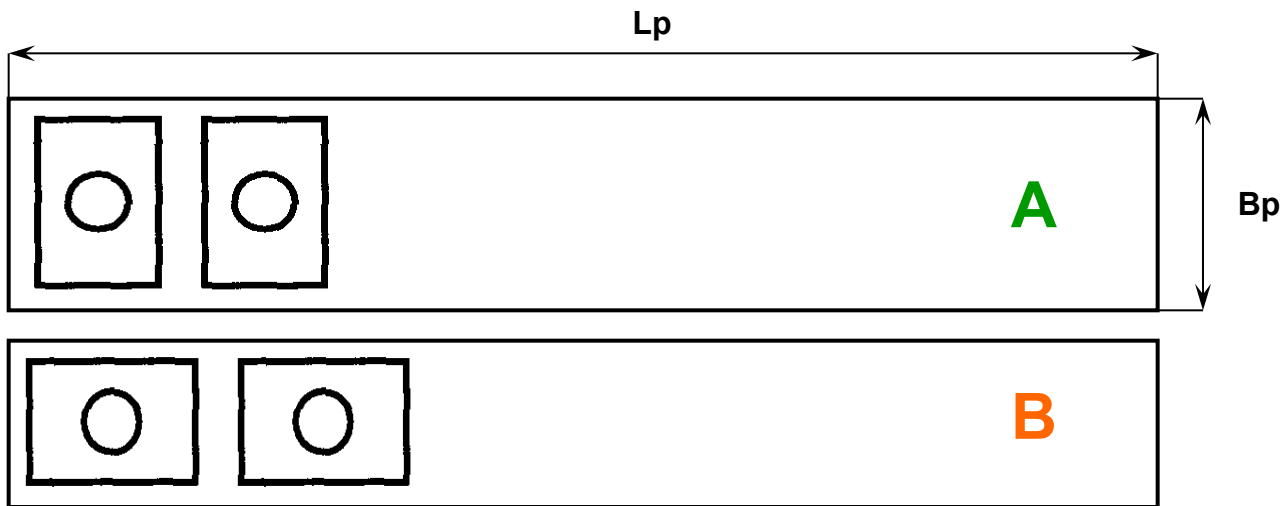
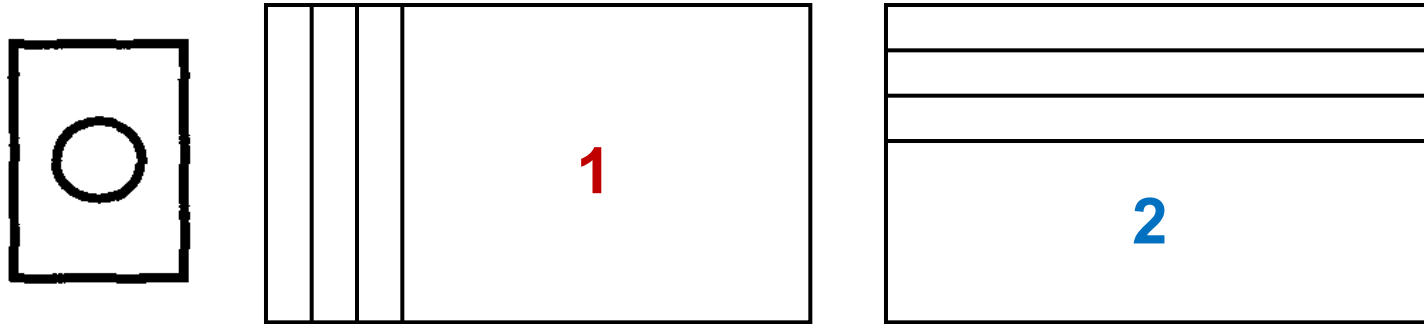
Využitelnosť materiálu: $\eta = ?$.

Strižnú silu $F_s = ?$.

Strižnú prácu $A_s = ?$.

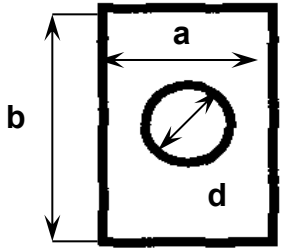
Výrobné zariadenie.

Nástrihový plán – príklad



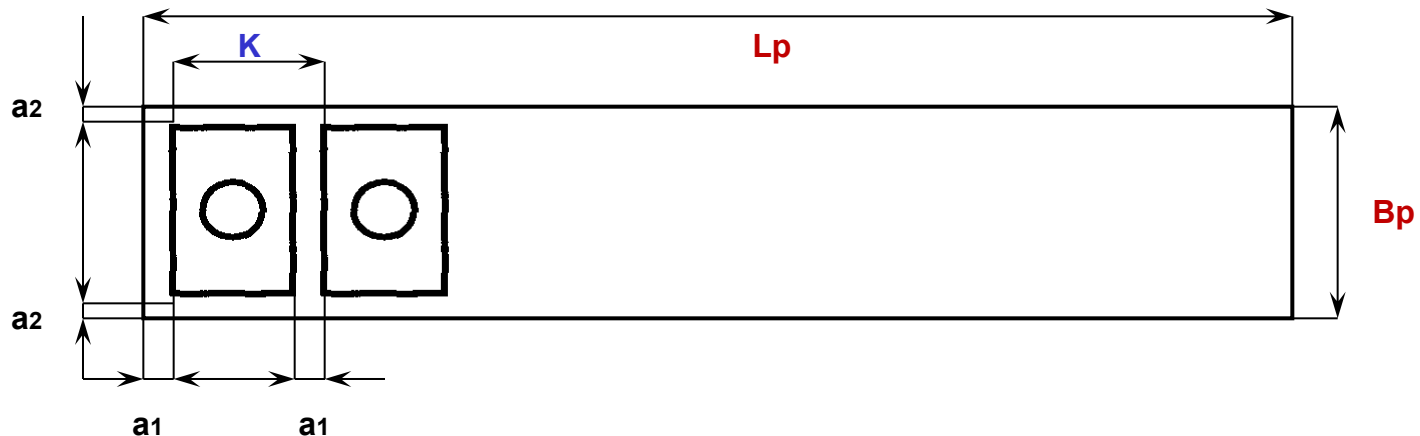
1A 1B
2A 2B

Nástrihový plán – príklad



Pre súčiastku z materiálu STN 41 1500 ($R_m = 500$ až 620 MPa) formát plechu 1000×2000 mm s hrúbkou $s_0 = 2$ mm navrhnete nástrihový plán a vypočítajte využiteľnosť materiálu. Ročná séria je 52 000 ks. Ďalej vypočítajte strižnú silu a strižnú prácu a navrhnete výrobné zariadenie. Rozmery súčiastky: $a = 30$ mm, $b = 53$ mm, $d = 10$ mm.

1A



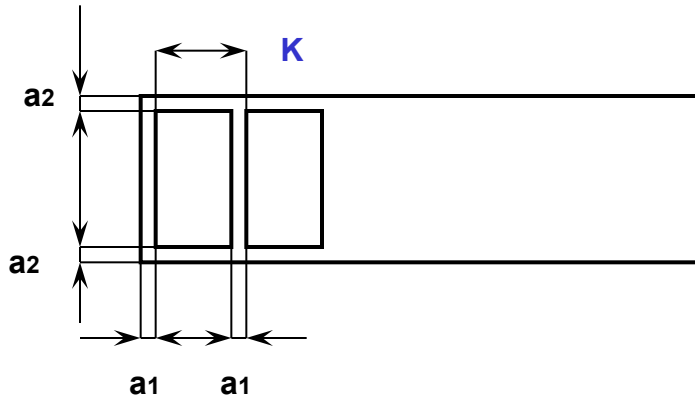
$$a_1 = a_2 = 1,2 \cdot s_0 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm}$$

$$L_p = 1000 \text{ mm}$$

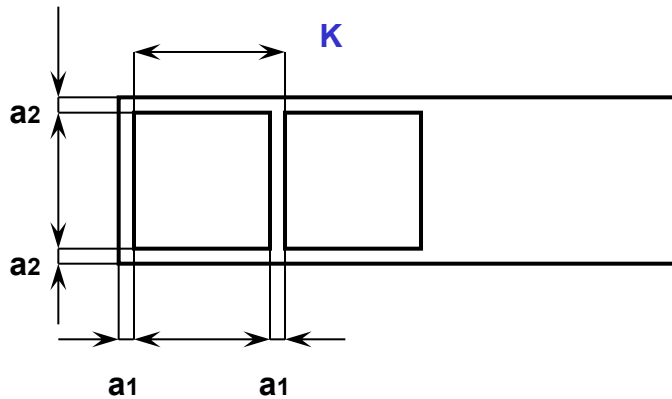
$$B_p = b + 2 \cdot a_2 = 53 + 4,8 = 57,8 = 58 \text{ mm}$$

$$K = a + a_1 = 30 + 2,4 = 32,4 \text{ mm}$$

Nástrihový plán



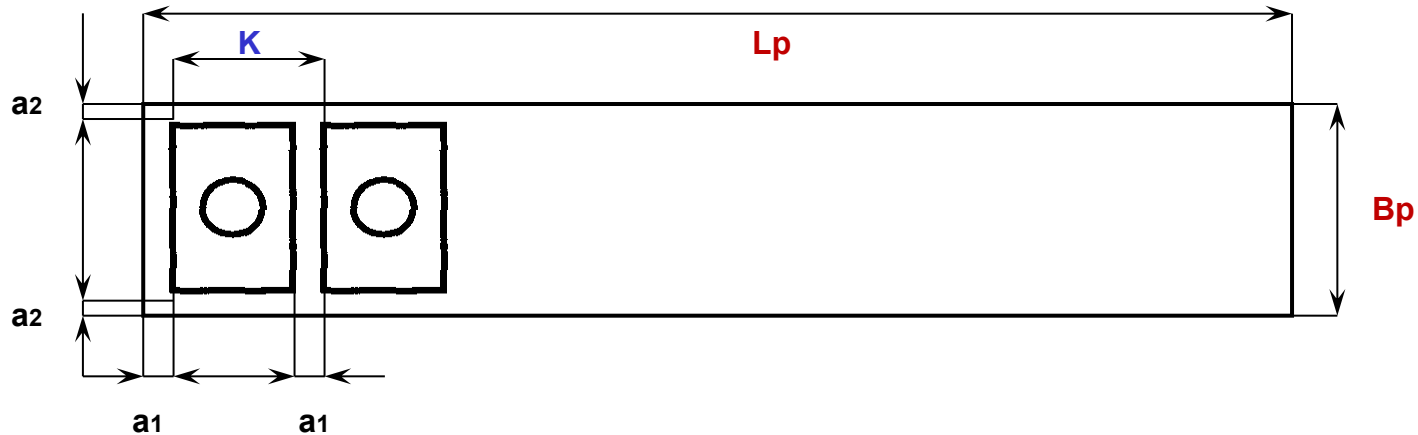
$$a_1 = a_2 = 1,2 \cdot s_0$$



$$a_1 = a_2 = s_0$$

Nástrihový plán – príklad

1A



Rozmery pásu:

$$L_p = 1000 \text{ mm}$$

$$B_p = b + 2 \cdot a_2 = 53 + 4,8 = 57,8 = \mathbf{58 \text{ mm}}$$

$$K = a + a_1 = 30 + 2,4 = \mathbf{32,4 \text{ mm}}$$

Počet pásov z tabule:

$$n_t = 2000 : 58 = 34,48 = \mathbf{34 \text{ ks}}$$

Počet výstrižkov na páse:

$$n_p = 1000 : 32,4 = 30,8 = \mathbf{30 \text{ ks}}$$

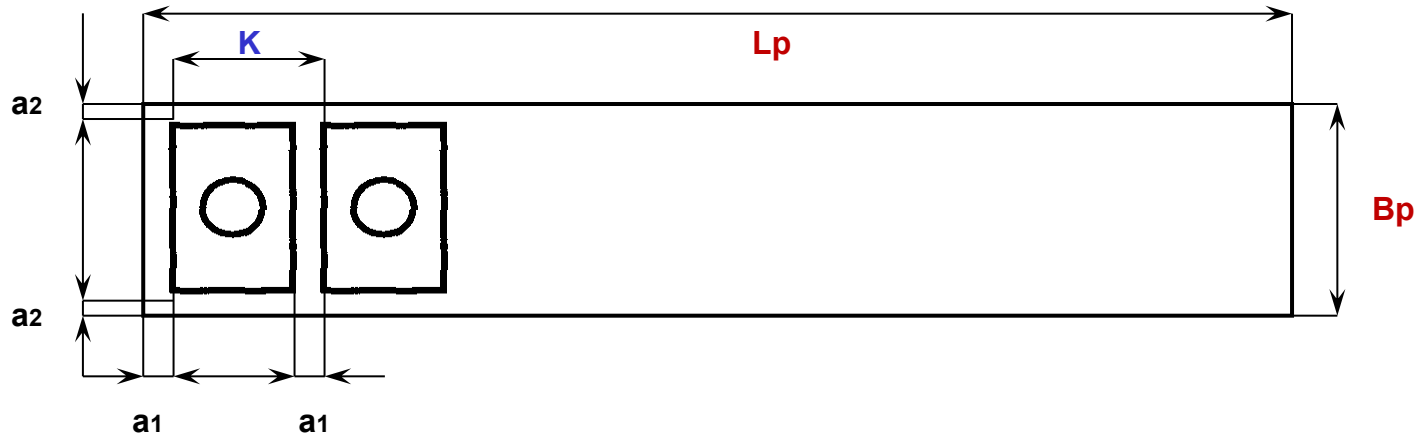
Počet tabúl' plechu:

$$\text{- súčiastok z 1 tabule: } 34 \cdot 30 = \mathbf{1\,020 \text{ ks}}$$

$$\text{- tabúl' plechu: } 52\,000 : 1\,020 = 50,98 = \mathbf{51 \text{ ks}}$$

Nástrihový plán – príklad

1A



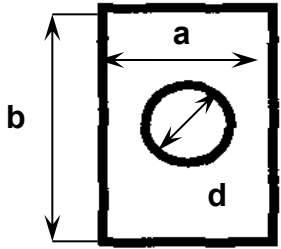
**Plocha
súčiastky:**

$$S = a \cdot b - \frac{\pi d^2}{4} = 30.53 - \frac{\pi 10^2}{4} = 1590 - 78,54 = 1511,46 \text{ mm}^2$$

**Využitelnosť
polotovaru:**

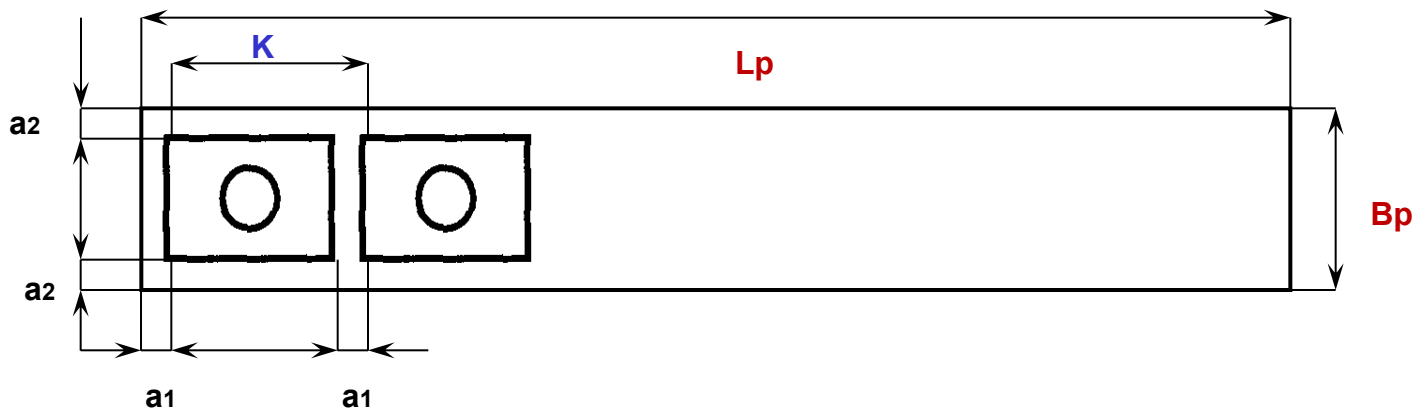
$$\eta = \frac{n_t n_p S_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{tabule}}} = \frac{34 \cdot 30 \cdot 1511,46}{1000 \cdot 2000} 100 = \frac{1541689,2}{2000000} 100 = 77,08 \text{ (\%)}$$

Nástrihový plán – príklad



Pre súčiastku z materiálu STN 41 1500 ($R_m = 500$ až 620 MPa) formát plechu 1000×2000 mm s hrúbkou $s_0 = 2$ mm navrhnete nástrihový plán a vypočítajte využiteľnosť materiálu. Ročná séria je 52 000 ks. Ďalej vypočítajte strižnú silu a strižnú prácu a navrhnete výrobné zariadenie. Rozmery súčiastky: $a = 30$ mm, $b = 53$ mm, $d = 10$ mm.

1B



$$a_1 = a_2 = 1,2 \cdot s_0 = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ mm}$$

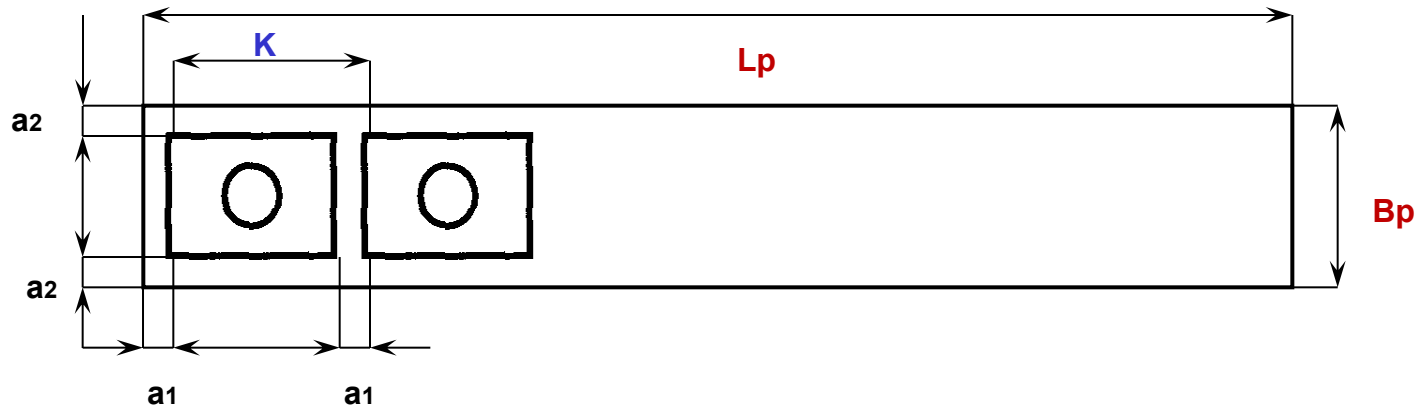
$$K = b + a_1 = 53 + 2,4 = 55,4 \text{ mm}$$

$$L_p = 1000 \text{ mm}$$

$$B_p = a + 2 \cdot a_2 = 30 + 4,8 = 34,8 = 35 \text{ mm}$$

Nástrihový plán – príklad

1B



Rozmery pásu:

$$L_p = 1000 \text{ mm}$$

$$B_p = a + 2 \cdot a_2 = 30 + 4,8 = 34,8 = \mathbf{35 \text{ mm}}$$

$$K = b + a_1 = 53 + 2,4 = \mathbf{55,4 \text{ mm}}$$

Počet pásov z tabule:

$$n_t = 2000 : 35 = 57,14 = \mathbf{57 \text{ ks}}$$

Počet výstrižkov na páse:

$$n_p = 1000 : 55,4 = 18,05 = \mathbf{18 \text{ ks}}$$

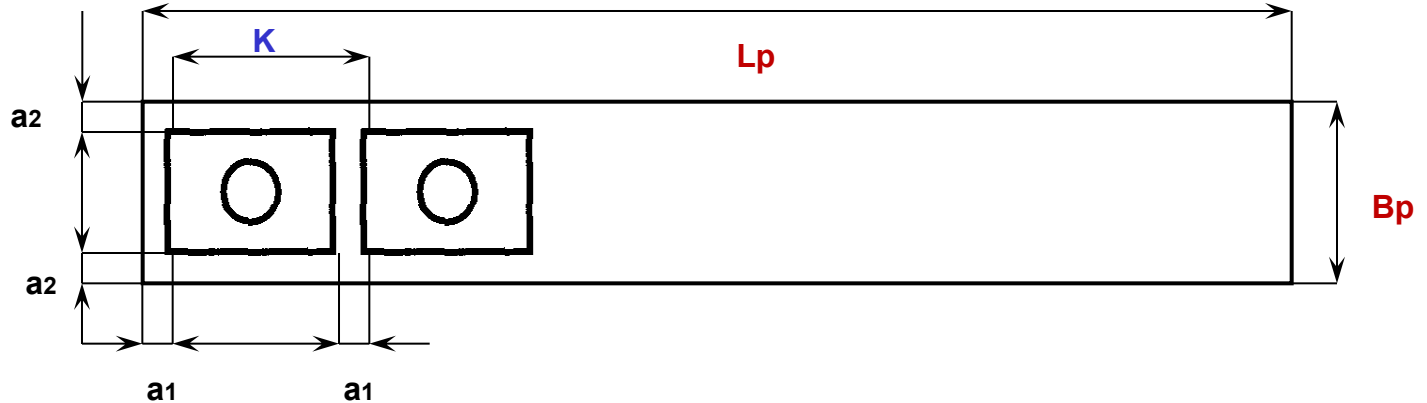
Počet tabúl' plechu:

$$\text{- súčiastok z 1 tabule: } 57 \cdot 18 = 1\,026 \text{ ks}$$

$$\text{- tabúl' plechu: } 52\,000 : 1\,026 = 50,68 \text{ ks} = \mathbf{51 \text{ ks}}$$

Nástrihový plán – príklad

1B



**Plocha
súčiastky:**

$$S = a \cdot b - \frac{\pi d^2}{4} = 30 \cdot 53 - \frac{\pi 10^2}{4} = 1590 - 78,54 = 1511,46 \text{ mm}^2$$

**Využitelnosť
polotovaru:**

$$\eta = \frac{n_t n_p S_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{tabule}}} = \frac{57 \cdot 18 \cdot 1511,46}{1000 \cdot 2000} 100 = \frac{1550757,96}{2000000} 100 = 77,5 \text{ (\%)}$$

Nástrihový plán – príklad

1A Využitelnosť polotovaru:

$$\eta = \frac{n_t n_p S_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{tabule}}} = \frac{34.30.1511,46}{1000.2000} 100 = \frac{1541689,2}{2000000} 100 = 77,08 \text{ (\%)}$$

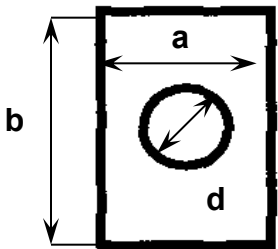
1B Využitelnosť polotovaru:

$$\eta = \frac{n_t n_p S_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{tabule}}} = \frac{57.18.1511,46}{1000.2000} 100 = \frac{1550757,96}{2000000} 100 = 77,5 \text{ (\%)}$$

2A 2B

Nástrihový plán – príklad

1B



Pre súčiastku z materiálu STN 41 1500 ($R_m = 500$ až 620 MPa) formát plechu 1000×2000 mm s hrúbkou $s_o = 2$ mm navrhnete nástrihový plán a vypočítajte využiteľnosť materiálu. Ročná séria je 52 000 ks. Ďalej vypočítajte strižnú silu a strižnú prácu a navrhnete výrobné zariadenie.

Rozmery súčiastky: $a = 30$ mm, $b = 53$ mm, $d = 10$ mm

Využiteľnosť polotovaru:

$$\eta = \frac{n_t n_p S_{\text{výstrižku}}}{S_{\text{tabule}}} = \frac{57.18.1511,46}{1000.2000} 100 = \frac{1550757,96}{2000000} 100 = 77,5 \%$$

Výpočet strižnej sily:

$$F_s = k S \tau_s = k \cdot [2(a + b) + \pi d] s_o \cdot \tau_s = 1,3 \cdot [2(30 + 53) + 2\pi 5] \cdot 2.458 \\ = 1,3 \cdot (166 + 31,42) \cdot 2.458 = 235087,74 \text{ N} = 235,1 \text{ kN}$$

Výpočet strižnej práce:

$$A_s = F_s h \psi = 235,1 \cdot 2 \cdot 0,55 = 258,61 \text{ J}$$

Voľba výrobného zariadenia: LEN 40P (400 kN)

Polotovarov na ročnú sériu: 51 ks tabúl'

Odporučená literatúra

BAČA, J., BÍLIK, J. *Technológia tvárnenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2000. ISBN 80-227-1339-2.

BENKO, B., MÄSIAR, H., KOTRAS, P. *Technológia tvárnenia, zlievania a zvárania. Návod na cvičenia*. Bratislava : STU Bratislava, 1991. 171 s. ISBN 80-227-0340-0.

BÍLIK, J. et al. *Technológia tvárnenia. Návod na cvičenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2004. 201 s. ISBN 80-227-2099-2.

BLAŠČÍK, F. et al. *Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvárania*. Bratislava: Alfa Bratislava, 1988.

ČABELKA, J. et al. *Mechanická technológia*. Bratislava: SAV Bratislava, 1967.

HRIVŇÁK, A., EVÍN, E., SPIŠÁK, E. *Technológia plošného tvárnenia*. Bratislava : Alfa Bratislava, 1990. 264 s. ISBN 80-05-00439-7.

Odporučená literatúra

KALPAKJIAN, S. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts : PE-USR, 2006. 895 pp. ISBN 0-13-148965-8.

KOSTKA, P. *Metal forming*. Bratislava : SjF STU Bratislava, 2002. 117 p. ISBN 80-227-1801-7.

LIPA, Z. et al. *Priemyselné technológie a výrobné zariadenia*. Bratislava : STU Bratislava, 2003. 324 s. ISBN 80-227-1907-2.

LETKO, I. et al. *Priemyselné technológie*. Žilina: ZUSI, 2002.

MORAVEC, J.: *Technológia 1*. EDIS, 2020.

MORAVEC, J.: *Technológia tvárnenia kovov*. EDIS, 2016.

ŠUGÁR, P., ŠUGÁROVÁ, J. *Výrobné technológie – zlievanie, zvarovanie, tvárnenie*. Zvolen : TU Zvolen, 2009. 291 s. ISBN 978-80-89090-587.

VASILKO, K., BOKUČAVA, G. *Výrobné technológie*. Prešov: FVT, 2001.

TECHNOLÓGIA TVÁRNENIA – Strihanie