VÝPOČTY PRO PRAXI

Řezné otáčky

Jak z řezné rychlosti a průměru vrtáku spočítat otáčky. HSS 20 m/min, slinutý karbid 80 m/min.





Fotografie: JJ Harrison, CC BY-SA 3.0, a Hardyplants, CC0, obě Wikimedia Commons, adresy v kapitole Zdroje

Učební materiál pro žáky oboru. Obsahuje hlavní vzorec, tabulku otáček pro vrtáky Ø1 až Ø50, řešené příklady, posuv a strojní čas, cvičení a test s řešením. Všude počítáme s 3,14 a stejně zaokrouhlujeme.

Odborný výcvik
Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů

Zpracoval: Michl Ondřej, 2.OZ
Datum: 6. 11. 2026

Obsah

ZÁKLAD

1	Řezná rychlost a otáčky	3
2	Vzorec krok za krokem	6

OTÁČKY

3	Tabulka otáček	10
4	Řešené příklady	13
5	Otáčky na skutečném stroji	17

POSUV A ČAS

6	Posuv a strojní čas	20

JINÉ PRÁCE A MATERIÁLY

7	Soustružení, frézování a jiné materiály	24

DÍLNA

8	Vrtání v praxi	29

OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ

9	Cvičení a test	34
10	Řešení	36

NA ZÁVĚR

11	Tahák, slovníček a zdroje	38

JAK SE S MANUÁLEM UČIT

1. Začni kapitolami 1 a 2. Vzorec si odvoď sám a spočítej si ho na kalkulačce.
2. Tabulku z kapitoly 3 měj u stroje. Na papíře ale počítej, ať umíš i bez ní.
3. Řešené příklady z kapitoly 4 si zakryj a zkus je sám. Kapitola 5 tě naučí zvolit stupeň na stroji.
4. Na konci si ověř znalosti cvičeními a testem. Řešení je až za nimi.

Příručka platí obecně a nepopisuje žádný konkrétní stroj. Když se tvůj stroj chová jinak nebo katalog nástroje uvádí jiné hodnoty, platí návod ke stroji, katalog a pokyn učitele odborného výcviku, zkráceně UOV.

HLAVNÍ PRAVIDLO

$$n = (vc \cdot 1000) / (3{,}14 \cdot d)$$

n otáčky v ot/min · vc řezná rychlost v m/min · d průměr vrtáku v mm

HSS, rychlořezná ocel

vc = 20 m/min

$$n = 20\,000 / (3{,}14 \cdot d)$$

zhruba 6 400 / d, přesněji 6 369 / d

Slinutý karbid

vc = 80 m/min

$$n = 80\,000 / (3{,}14 \cdot d)$$

zhruba 25 500 / d, přesněji 25 478 / d

1

ZÁKLAD

1 Řezná rychlost a otáčky

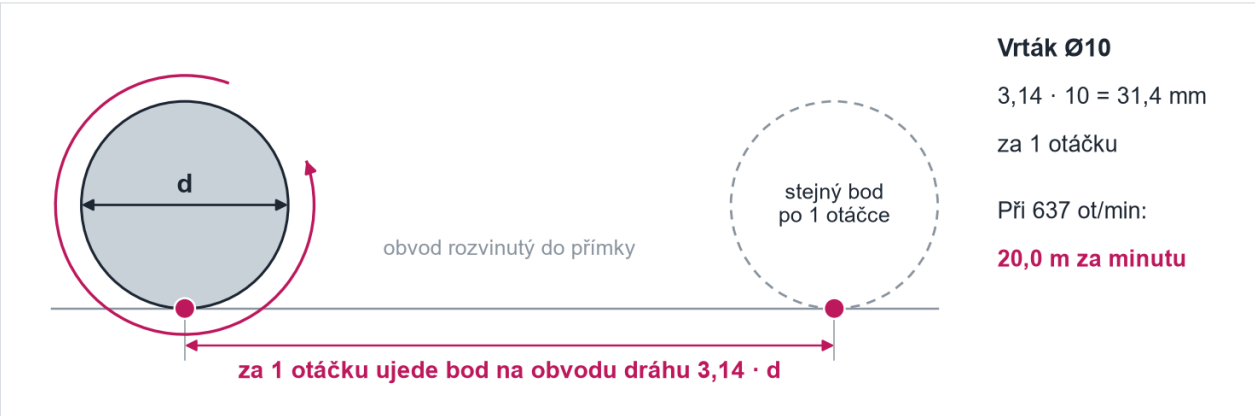
Co je řezná rychlost, co jsou otáčky, proč na nich záleží a co udělají příliš vysoké a příliš nízké otáčky.

Vrtačka, soustruh i frézka se nastavují v **otáčkách**. Katalogy a tabulky ale většinou udávají **řeznou rychlost**. Tato příručka ukazuje, jak z jedné hodnoty dostaneš druhou a co s tím dál. Všechno se točí kolem jednoho vzorce a dvou čísel: **20 m/min pro vrták z HSS** a **80 m/min pro vrták ze slinutého karbidu**.

Dvě veličiny, které si lidé pletou

Značka	Název	Jednotka	Co znamená
vc	řezná rychlost	m/min	Jak rychle se pohybuje bod na obvodu nástroje vůči materiálu. Kolik metrů ujede břit za minutu.
n	otáčky	ot/min	Kolikrát se nástroj otočí za minutu. Tohle nastavuješ na stroji.
d	průměr	mm	Průměr vrtáku. U soustružení průměr obrobku, u frézování průměr frézy.

Proč se nezadávají rovnou otáčky? Protože o teplotě a opotřebení břitu rozhoduje rychlost, kterou břit jede materiálem. Tu určuje materiál nástroje a obrobku. Otáčky pro stejnou rychlost jsou u každého průměru jiné, takže by jich tabulka musela mít stovky. Jedna řezná rychlost a vzorec stačí.



Obr. 1.1 Bod na obvodu vrtáku ujede za jednu otáčku dráhu 3,14 · d. Právě z toho vychází celý výpočet.

Příklad si můžeš představit. Vrták Ø10 má obvod 31,4 mm. Když se točí 637krát za minutu, ujede bod na obvodu 20,0 m. To je řezná rychlost 20,0 m/min, tedy hodnota pro HSS.

Co je HSS a co karbid

- **HSS** je rychlořezná ocel. Je houževnatá, dá se ostřit a odpustí víc. Výchozí hodnota v této příručce je **vc = 20 m/min**.
- **Slinutý karbid**, zkráceně karbid, se říká také tvrdokov nebo SK. Je tvrdý a odolný teplu, ale křehčí. Nesnáší rázy a chvění. Výchozí hodnota je **vc = 80 m/min**.
- V této příručce proto karbid jede čtyřikrát rychleji. Potřebuje ale tuhý stroj a pevné upnutí.

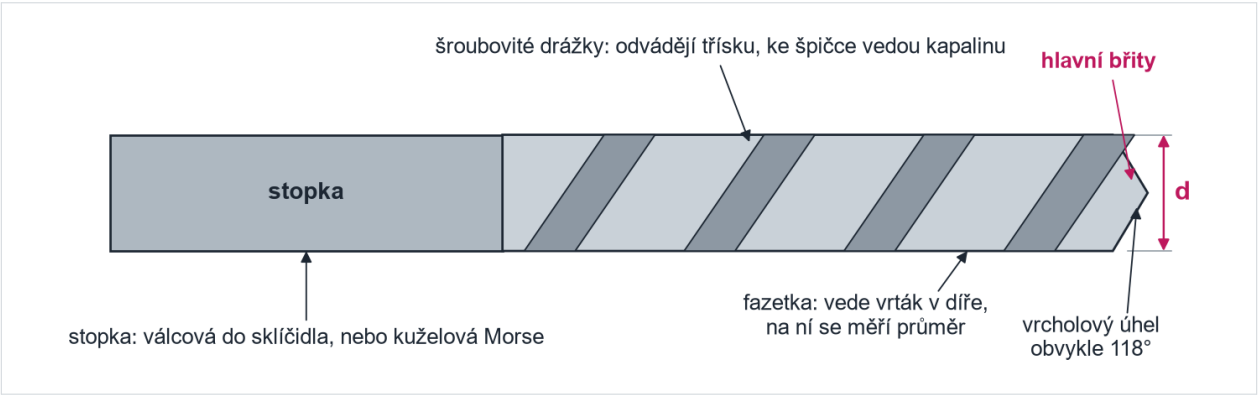


Obr. 1.2 Sada šroubovitých vrtáků v kovové krabičce.
Vlastník obrázku: Emrys2, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drill_set_1.jpg

PAMATUJ

Hodnoty 20 a 80 m/min jsou výchozí pravidlo pro vrtáky v oceli. Přednost má vždy katalog nástroje a pokyn UOV. UOV je učitel odborného výcviku. Jiné materiály a rozmezí najdeš v kapitole 7.

Kde se vrták měří



Obr. 1.3 Části šroubovitého vrtáku. Do vzorce patří d, tedy jmenovitý průměr vrtáku.

Průměr bývá vyražený na stopce. U malých vrtáků je špatně čitelný, proto použij posuvné měřidlo a měř přes fazetky. Neměř přes špičku ani přes drážky.

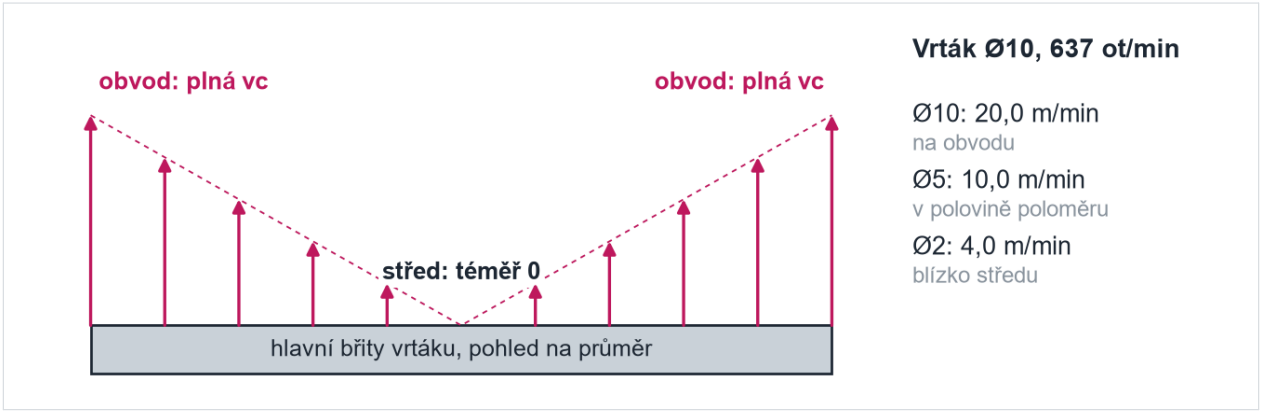
Větší vrtáky mívají kuželovou stopku Morse a do stroje se upínají přímo nebo přes redukční pouzdro.



Obr. 1.4 Šroubovité vrtáky s kuželovou stopkou Morse v několika velikostech.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DrillsMorseTaperShank1234.jpg

Celý břit nejede stejně rychle

Řezná rychlost ze vzorce platí pro obvod vrtáku. Směrem ke středu klesá, protože bod blíž ose opisuje menší kružnici. Přímo uprostřed je rychlost téměř nulová a materiál se tam spíš vytlačuje, než řeže.



Obr. 1.5 Rychlost na hlavním břitu roste od středu k obvodu. Nejvíc proto trpí rohy vrtáku na obvodu.

Z toho plynou dvě věci, které uvidíš v praxi. Přehřátý vrták se nejdřív opotřebuje na **rohách na obvodu**, kde je rychlost největší. A velkou díru **předvrtáváš**, aby střed nového vrtáku nemusel tlačit do plného materiálu.

Proč na otáčkách záleží

Ze všech řezných podmínek nejvíc ovlivňuje trvanlivost nástroje právě řezná rychlost, potom posuv a nejméně hloubka řezu. Rychlost určuje, kolik tepla v místě řezu vznikne. Na otáčkách závisí i čas práce, kvalita díry a bezpečnost, protože přetížený vrták se může zlomit nebo obrobek strhnout.

Příliš vysoké a příliš nízké otáčky

	Příliš vysoké otáčky	Příliš nízké otáčky
Co uvidíš	tříska mění barvu do modra, kouř, vrták modrá	práce jde pomalu, povrch bývá horší
Co uslyšíš	pískání	drnčení, když vrták moc tlačíš
Co se stane s vrtákem	přehřátí, opálené rohy, rychlé otupení	při stejném tlaku na páku větší posuv na otáčku, tenký vrták se může zlomit
Co s tím	sniž otáčky, přidej chlazení, zkontroluj ostrost	zvol správný stupeň podle výpočtu, uber tlak

POZOR

Nejnebezpečnější záměna je vzít otáčky pro karbid a vrtat vrtákem z HSS. Ø10 v karbidu má 2 548 ot/min. HSS by v tu chvíli jel 80 m/min, tedy čtyřikrát rychleji, než má. Takový vrták rychle shoří.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Řezná rychlost vc je rychlost bodu na obvodu nástroje v m/min. Otáčky n nastavuješ na stroji.
- Výchozí hodnoty pro vrták v oceli: **HSS 20 m/min, slinutý karbid 80 m/min**.
- Rychlost na břitu klesá od obvodu ke středu. Obvod se proto opotřebuje první.
- Příliš vysoké otáčky pálí nástroj, příliš nízké zdržují a přetěžují vrták na otáčku.
- Katalog nástroje a pokyn UOV mají přednost před výchozí hodnotou.

2

ZÁKLAD

Vzorec krok za krokem

Odkud se vzal vzorec, proč je v něm 1000, jak to spočítat na kalkulačce, z hlavy a jak zaokrouhlovat.

Vzorec není třeba se učit nazpaměť jako básničku. Stačí čtyři kroky a vždycky si ho odvodíš znovu.

1. **Jedna otáčka.** Bod na obvodu ujede délku obvodu: 3,14 · d. Vychází v milimetrech, protože průměr vrtáku máš v milimetrech.
2. **Minuta.** Za minutu se vrták otočí n-krát, takže bod ujede 3,14 · d · n milimetrů.
3. **Metry na milimetry.** Tahle dráha za minutu je řezná rychlost, jenže v mm/min. Řezná rychlost se ale udává v m/min. Jeden metr má 1000 mm, takže vc · 1000 = 3,14 · d · n.

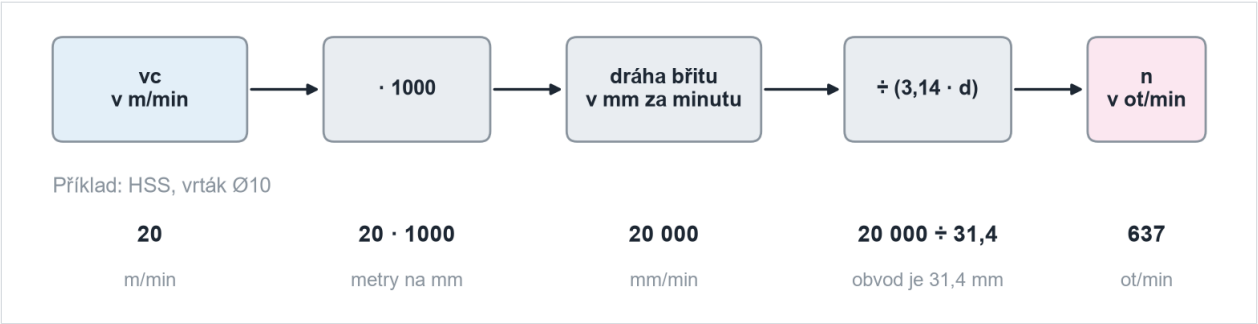
4. **Vyjádři n.** Obě strany vydělíš výrazem 3,14 · d a dostaneš hlavní vzorec.

HLAVNÍ PRAVIDLO

n = (vc · 1000) / (3,14 · d)

n otáčky v ot/min · vc řezná rychlost v m/min · d průměr vrtáku v mm

HSS, rychlořezná ocel	Slinutý karbid
vc = 20 m/min	vc = 80 m/min
n = 20 000 / (3,14 · d)	n = 80 000 / (3,14 · d)
zhruba 6 400 / d, přesněji 6 369 / d	zhruba 25 500 / d, přesněji 25 478 / d



Obr. 2.1 Cesta od řezné rychlosti k otáčkám a stejná cesta s čísly pro vrták Ø10 z HSS.

Proč je tam 1000

Násobení 1000 nedělá nic jiného, než že převede metry na milimetry. Průměr je totiž v milimetrech a jednotky musejí sedět. Když tisícovku zapomeneš, vyjde pro Ø10 z HSS 0,64 ot/min, tedy skoro stojící vrták. Takový výsledek hned poznáš jako nesmysl.

Jednotky si můžeš zkontrolovat i na papíře. V čitateli je m/min krát mm/m, což dá mm/min. Ve jmenovateli jsou mm. Milimetry se pokrátí a zbude 1/min, tedy otáčky za minutu.

Proč 3,14

Číslo 3,14 je zaokrouhlené π. V celé příručce počítáme s **3,14**, aby ti vycházelo totéž na papíře i na kalkulačce. S přesným π by vyšlo pro Ø10 z HSS 636,6 místo 636,9 ot/min. Na stroji to nic nemění. Když v jiné tabulce uvidíš hodnotu o pár otáček jinou, není to chyba.

Jak se vzorec otáčí

Hledáš	Vzorec	Kdy to potřebuješ
otáčky n	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)	Máš vc a průměr. Nejčastější případ.
řeznou rychlost vc	vc = (3,14 · d · n) / 1000	Stroj běží na daných otáčkách a chceš vědět, jak rychle jede břit.
průměr d	d = (vc · 1000) / (3,14 · n)	Máš otáčky a chceš vědět, pro jaký vrták se hodí.

Jak na kalkulačce



Obr. 2.2 Dva způsoby, jak spočítat otáčky pro vrták Ø10 z HSS. Oba dávají stejný výsledek.

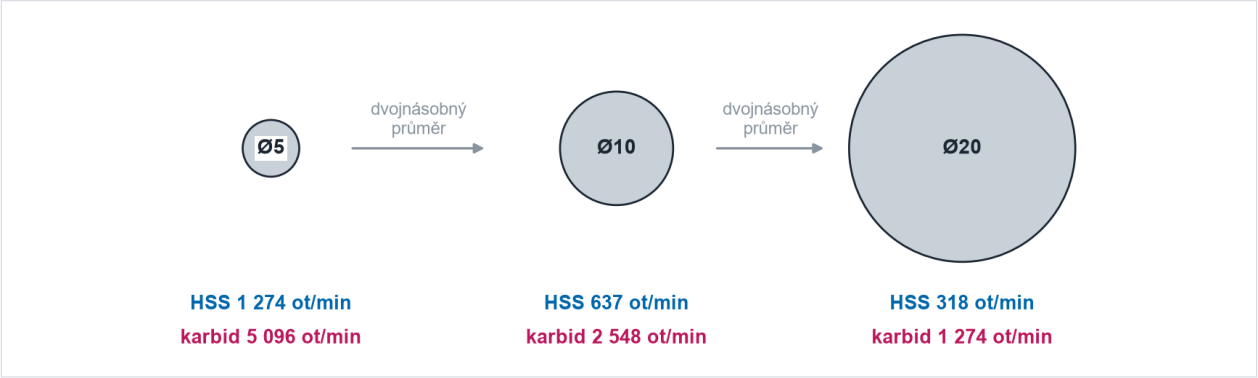
> **POZOR**
> Častá chyba: 20000 ÷ 3,14 · 10. Kalkulačka počítá zleva, a tak ti vyjde 63 694. To je stokrát víc, než má být. Buď dělíš dvakrát za sebou, nebo dáš jmenovatel do závorky. Výsledek si vždycky porovnej s odhadem z hlavy.

Z hlavy, zhruba

Když vydělíš 20 000 číslem 3,14, vyjde 6 369. Pro karbid 25 478. Na odhad si stačí zapamatovat **6 400 / d pro HSS** a **25 500 / d pro karbid**. Odhad nepatří do výpočtu. Slouží jen ke kontrole, že jsi někde neudělal chybu o řád.

Průměr	HSS přesně	HSS z hlavy	Karbid přesně	Karbid z hlavy
Ø2	3 185	3 200	12 739	12 750
Ø5	1 274	1 280	5 096	5 100
Ø10	637	640	2 548	2 550
Ø20	318	320	1 274	1 275
Ø25	255	256	1 019	1 020

- **Vrták o dvojnásobném průměru** má poloviční otáčky. Ø10 má 637, Ø20 má 318 ot/min.
- **Karbid je čtyřnásobek HSS.** Spočítáš HSS a vynásobíš čtyřmi. Ø10: 637 · 4 = 2 548 ot/min.
- **Zapamatuj si jeden průměr.** Ø10 z HSS je asi 640 ot/min. Od něj snadno odhadneš ostatní.



Obr. 2.3 Stejná řezná rychlost, jiný průměr. Čím větší vrták, tím méně otáček.

Jak zaokrouhlovat

V celé příručce platí stejná pravidla. Podle nich jsou spočítané všechny tabulky, příklady i řešení. Co se zaokrouhlí, s tím se dál počítá, takže se výsledek nemění podle toho, kdo ho počítá.

Co	Jak zaokrouhlit	Příklad
Obvod 3,14 · d	nezaokrouhluj	3,14 · 6,8 = 21,352
Otáčky n	na celé ot/min, od 0,5 nahoru	636,94 → 637
Stupeň na stroji	nejbližší nižší stupeň, viz kapitola 5	796 → 630
Skutečná vc	na jedno desetinné místo	3,14 · 8 · 630 / 1000 = 15,8
Rychlost posuvu vf	na celé mm/min, ze zaokrouhlených otáček	0,15 · 637 = 95,55 → 96
Dráha L	nezaokrouhluj	30 + 0,3 · 10 = 33
Čas t	minuty na 2 místa, sekundy na celé	33 / 96 = 0,34 min, 33 · 60 / 96 = 20,6 → 21 s

CO SI ZAPAMATOVAT

- n = (vc · 1000) / (3,14 · d). HSS: n = 20 000 / (3,14 · d). Karbid: n = 80 000 / (3,14 · d).
- Číslo 1000 převádí metry na milimetry.
- Na kalkulačce dělíš dvakrát za sebou. Výsledek si zkontroluj odhadem 6 400 / d nebo 25 500 / d.
- Dvojnásobný průměr znamená poloviční otáčky. Karbid má čtyřikrát víc otáček než HSS.
- Otáčky zaokrouhluj na celé číslo. Na stroji pak vol nejbližší nižší stupeň.

3

OTÁČKY

Tabulka otáček

Otáčky pro vrták Ø1 až Ø50 v HSS i karbidu, vypočtené s 3,14, a grafy, ve kterých je vidět celý průběh.

Všechny tabulky jsou spočítané programem podle vzorce s 3,14 a pravidel z kapitoly 2. Najdi průměr vrtáku a přečti otáčky ve sloupci podle materiálu nástroje. Hodnoty jsou **výpočet**. Na stroji vždy zvol nejbližší nižší stupeň a zkontroluj, jestli je stroj vůbec zvládne.

TIP

Jak tabulku použít: Ø12 z HSS je 531 ot/min. Ø12 z karbidu je 2 123 ot/min. Celé průměry od Ø1 do Ø50 jsou v hlavní tabulce na další straně. Průměry s půlkou najdeš hned tady.

Průměry s půlkou

Ø (mm)	HSS vc 20	Karbid vc 80	Ø (mm)	HSS vc 20	Karbid vc 80
1,5	4 246	16 985	7,5	849	3 397
2,5	2 548	10 191	8,5	749	2 997
3,5	1 820	7 279	9,5	670	2 682
4,5	1 415	5 662	10,5	607	2 426
5,5	1 158	4 632	11,5	554	2 215
6,5	980	3 920	12,5	510	2 038

Celé průměry Ø1 až Ø50

Ø (mm)	HSS vc 20	Karbid vc 80	Ø (mm)	HSS vc 20	Karbid vc 80
1	6 369	25 478	26	245	980
2	3 185	12 739	27	236	944
3	2 123	8 493	28	227	910
4	1 592	6 369	29	220	879
5	1 274	5 096	30	212	849
6	1 062	4 246	31	205	822
7	910	3 640	32	199	796
8	796	3 185	33	193	772
9	708	2 831	34	187	749
10	637	2 548	35	182	728
11	579	2 316	36	177	708
12	531	2 123	37	172	689
13	490	1 960	38	168	670
14	455	1 820	39	163	653
15	425	1 699	40	159	637
16	398	1 592	41	155	621
17	375	1 499	42	152	607
18	354	1 415	43	148	593
19	335	1 341	44	145	579
20	318	1 274	45	142	566
21	303	1 213	46	138	554
22	290	1 158	47	136	542
23	277	1 108	48	133	531
24	265	1 062	49	130	520
25	255	1 019	50	127	510

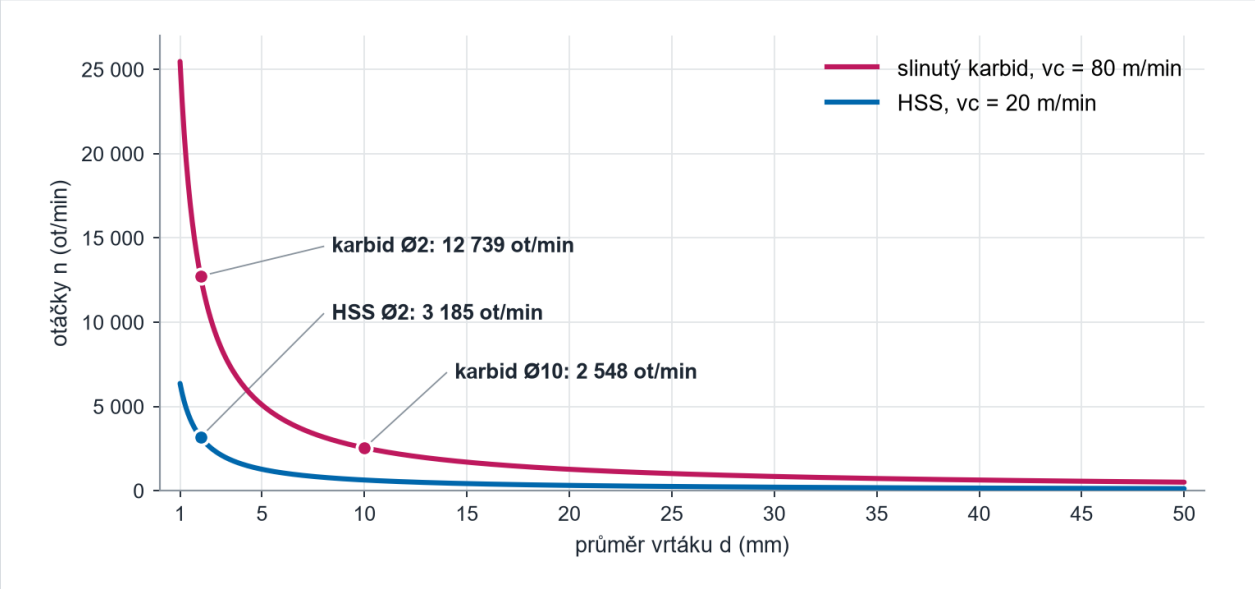
Vrtáky pod závit

Díru pod závit vrtáš často. Vrták spočítáš jako průměr závitu minus stoupání, takže M10 potřebuje 1000a0−00a01,5 = 8,5 mm.

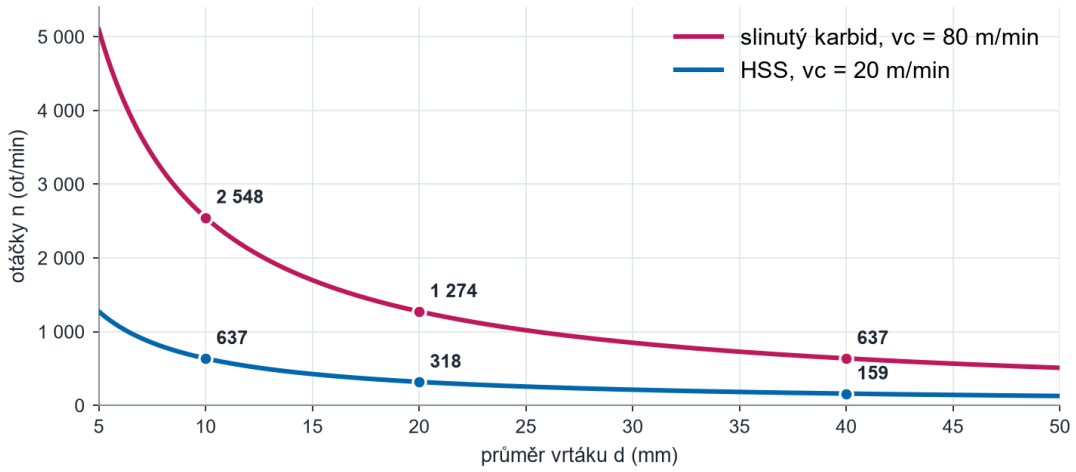
Závit	Vrták Ø (mm)	HSS vc 20	Karbid vc 80
M5	4,2	1 517	6 066
M6	5	1 274	5 096
M8	6,8	937	3 747
M10	8,5	749	2 997
M12	10,2	624	2 498
M16	14	455	1 820

Graf otáček podle průměru

Křivky mají tvar hyperboly. U malých průměrů otáčky prudce rostou, u velkých se mění jen málo. Proto na malé vrtáky skoro žádná vrtačka nestačí a u velkých vrtáků už je rozdíl mezi Ø40 a Ø50 malý.



Obr. 3.1 Otáčky pro vrtáky Ø1 až Ø50. Karbid leží vždy čtyřikrát výš než HSS. Přesné hodnoty jsou v tabulkách.



Obr. 3.2 Výřez pro Ø5 až Ø50, kde pracuješ nejčastěji. Dvojnásobný průměr znamená poloviční otáčky.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Otáčky čti podle průměru a materiálu vrtáku. HSS je modrý sloupec, karbid růžový.
- U malých průměrů otáčky rychle rostou, u velkých se mění málo.
- Hodnoty v tabulce jsou výpočet, ne nastavení stroje. Stroj má své stupně a svou mez.

4

OTÁČKY

Řešené příklady

Dvanáct příkladů od lehkých po těžší. Vždy vzorec, dosazení a výsledek.

Příklady jdou od nejlehčích po těžší. U každého si nejdřív zakryj řešení a zkus to sám. Všechny výsledky jsou spočítané s 3,14 podle pravidel z kapitoly 2.

Základ: otáčky z průměru

Příklad 1 **Vrták Ø8 z HSS**	
Zadání	Vrtáš do oceli vrtákem Ø8 z HSS. vc = 20 m/min. Jaké jsou otáčky?
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (20 · 1000) / (3,14 · 8) = 20 000 / 25,12 = 796,18
Výsledek	**n = 796 ot/min**

Příklad 2 Vrták Ø10 z HSS

Zadání	Vrták Ø10 z HSS, vc = 20 m/min.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (20 · 1000) / (3,14 · 10) = 20 000 / 31,4 = 636,94
Výsledek	**n = 637 ot/min**
Poznámka	Odhad z hlavy: 6 400 / 10 = 640. Sedí.

Příklad 3 Vrták Ø12,5 z HSS

Zadání	Vrták Ø12,5 z HSS, vc = 20 m/min. Průměr s desetinou se počítá úplně stejně.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (20 · 1000) / (3,14 · 12,5) = 20 000 / 39,25 = 509,55
Výsledek	**n = 510 ot/min**

Příklad 4 Vrták Ø10 z karbidu

Zadání	Vrták Ø10 ze slinutého karbidu, vc = 80 m/min.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (80 · 1000) / (3,14 · 10) = 80 000 / 31,4 = 2 547,77
Výsledek	**n = 2 548 ot/min**
Poznámka	Kontrola: 637 · 4 = 2 548. U jiných průměrů se to může lišit o pár otáček kvůli zaokrouhlení.

Srovnání HSS a karbidu

Příklad 5 Kolikrát rychleji jede karbid

Zadání	Vrták Ø6. Spočítej otáčky pro HSS a karbid a porovnej je.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
HSS	n = (20 · 1000) / (3,14 · 6) = 20 000 / 18,84 = 1 061,57 → 1 062 ot/min
Karbid	n = (80 · 1000) / (3,14 · 6) = 80 000 / 18,84 = 4 246,28 → 4 246 ot/min
Poměr	4 246 / 1 062 = 4,00, přesně 80 / 20 = 4
Výsledek	**Karbid se točí čtyřikrát rychleji.**
Poznámka	Poměr nezávisí na průměru. Vyjde stejně pro každý vrták, protože se liší jen vc.

Příklad 6 Velký vrták

Zadání	Vrták Ø32 z HSS, vc = 20 m/min.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (20 · 1000) / (3,14 · 32) = 20 000 / 100,48 = 199,04
Výsledek	**n = 199 ot/min**
Poznámka	Karbid Ø32 by měl 796 ot/min. To je stejně jako HSS Ø8, protože průměr je čtyřikrát větší a rychlost čtyřikrát větší.

Víc kroků a jiné otázky

Příklad 7 Díra pod závit M8

Zadání	Pod závit M8 potřebuješ vrták Ø6,8 z HSS, vc = 20 m/min.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (20 · 1000) / (3,14 · 6,8) = 20 000 / 21,352 = 936,68
Výsledek	**n = 937 ot/min**

Příklad 8 Dva vrtáky na jednu díru

Zadání	Díru Ø16 předvrtáš vrtákem Ø6 a pak vrtáš Ø16, oba z HSS. Jaké otáčky nastavíš?
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d), pro každý vrták zvlášť
Předvrtání	n = (20 · 1000) / (3,14 · 6) = 20 000 / 18,84 = 1 061,57 → 1 062 ot/min
Vrtání	n = (20 · 1000) / (3,14 · 16) = 20 000 / 50,24 = 398,09 → 398 ot/min
Výsledek	**Ø6: 1 062 ot/min, Ø16: 398 ot/min**
Poznámka	Po každé výměně vrtáku přepočítej a změň otáčky. Zapomenuté vysoké otáčky u velkého vrtáku jsou častá chyba.

Příklad 9 Jak rychle jede vrták, který běží na 800 ot/min

Zadání	Vrták Ø10 z HSS se točí 800 ot/min. Jaká je skutečná řezná rychlost? Je to v pořádku?
Vzorec	vc = (3,14 · d · n) / 1000
Dosazení	vc = (3,14 · 10 · 800) / 1000 = 25 120 / 1000 = 25,12
Výsledek	**vc = 25,1 m/min**
Poznámka	To je víc než výchozích 20 m/min. Pro HSS podle hlavního pravidla sniž otáčky na 637 nebo nejbližší nižší stupeň.

Příklad 10 Pro jaký vrták se hodí 1 000 ot/min

Zadání	Stroj je nastavený na 1 000 ot/min a nechceš přepínat. Jaký největší vrták z HSS můžeš použít, aby vc nebyla přes 20 m/min?
Vzorec	d = (vc · 1000) / (3,14 · n)
Dosazení	d = (20 · 1000) / (3,14 · 1000) = 20 000 / 3 140 = 6,37
Výsledek	**d = 6,37 mm. Vezmi nejbližší menší běžný vrták, například Ø6.**
Poznámka	Větší vrták by při stejných otáčkách jel rychleji než 20 m/min.

Příklad 11 Jiná řezná rychlost

Zadání	Vrtáš konstrukční ocel a UOV ti řekne, že máš počítat s vc = 25 m/min pro HSS. Vrták Ø10.
Vzorec	n = (vc · 1000) / (3,14 · d)
Dosazení	n = (25 · 1000) / (3,14 · 10) = 25 000 / 31,4 = 796,18
Výsledek	**n = 796 ot/min**
Poznámka	Vzorec zůstává. Mění se jen vc. Stejný příklad najdeš v příručce pro 1. ročník.

Příklad 12 Deska se třemi dírami

Zadání	Na jedné desce vrtáš díry Ø5, Ø8,5 a Ø12. Připrav si otáčky pro HSS i karbid.
Vzorec	n = 20 000 / (3,14 · d) a n = 80 000 / (3,14 · d)
Ø5	HSS 1 274, karbid 5 096
Ø8,5	HSS 749, karbid 2 997
Ø12	HSS 531, karbid 2 123
Výsledek	**Tři vrtáky, tři různé otáčky. Začni tím největším číslem u nejmenšího vrtáku.**
Poznámka	Otáčky si napiš k výkresu, než začneš vrtat. U stroje se pak nespleteš.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Postup je vždy stejný: vzorec, dosazení, výpočet, zaokrouhlení na celé otáčky.
- Karbid má čtyřikrát víc otáček. Poměr nezávisí na průměru.
- Pro každý vrták na jedné díře nebo desce platí jiné otáčky.
- Stejný vzorec otočíš, když hledáš vc nebo průměr.

OTÁČKY

5 Otáčky na skutečném stroji

Stupně otáček klasické vrtačky, co zvolit, co dělat, když výpočet přesáhne mez stroje.

Výpočet ti dá číslo. Stroj ale umí jen to, co umí. Klasická vrtačka má obvykle několik pevných stupňů otáček. Ty se mění přehozením řemene nebo pákami podle štítku na stroji. Vrtačky a CNC stroje s plynulou regulací nastaví téměř přesně vypočtenou hodnotu, ale i ony mají svou nejvyšší a nejnižší mez.

Než si cokoli nastavíš, potřebuješ vědět tři věci:

1. Jaké stupně otáček stroj má. Bývají na štítku.
2. Jak se mezi nimi přepíná a jestli to smíš dělat jen při stojícím vřetenu.
3. Jaká je nejvyšší a nejnižší hodnota.

Stupně bývají odstupňované násobkem, ne po stejném rozdílu. Proto jsou nízké stupně blízko sebe a vysoké daleko.



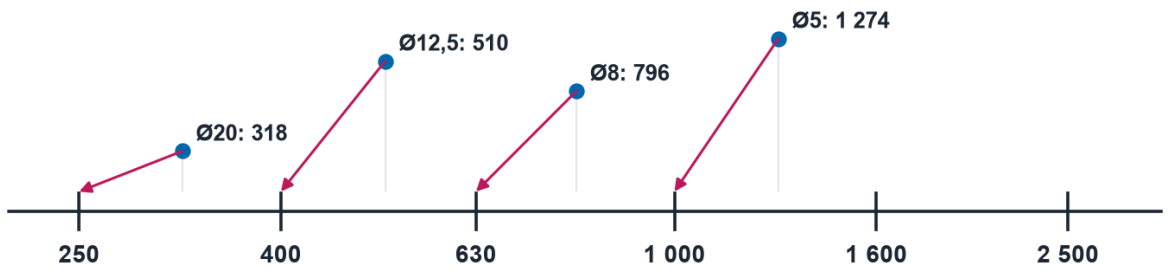
Obr. 5.1 Sloupová vrtačka s pracovním stolem. Stupně otáček a způsob přepínání jsou u každého stroje jiné.
Vlastník obrázku: Hardyplants, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Induction_motor_drill_press.jpg

Modelový stroj pro příklady

Abychom mohli počítat, používáme v této příručce modelovou řadu **250, 400, 630, 1 000, 1 600, 2 500 ot/min**. Modelová řada je vymyšlená jen pro počítání. Tvůj stroj má svou vlastní. Na konci kapitoly si doplníš skutečné hodnoty svého stroje.

Který stupeň zvolit

Pravidlo je jednoduché: **vol nejbližší nižší stupeň**. Nižší otáčky znamenají nižší řeznou rychlost. Vrták se méně hřeje a jen trochu déle pracuje. Vyšší stupeň by znamenal překročení rychlosti, kterou jsi chtěl dodržet.



stupně otáček na modelovém stroji (ot/min), pro příklady v této kapitole

Obr. 5.2 Z vypočtených otáček HSS se jde vždy k nejbližšímu nižšímu stupni. Modelová řada.

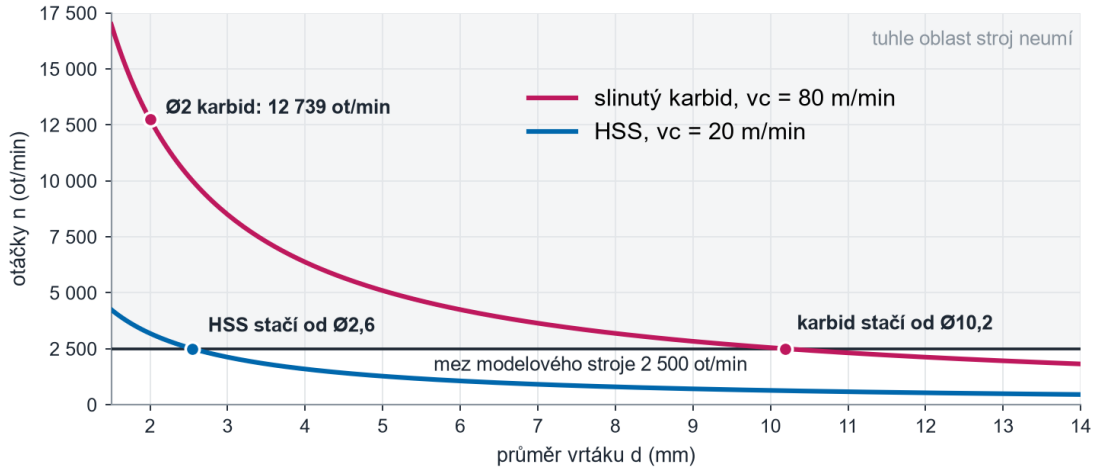
Vrták HSS	Výpočet n	Nižší stupeň	Skutečná vc	Oproti 20
Ø4	1 592	1 000	12,6 m/min	−37 %
Ø5	1 274	1 000	15,7 m/min	−21 %
Ø8	796	630	15,8 m/min	−21 %
Ø10	637	630	19,8 m/min	−1 %
Ø12	531	400	15,1 m/min	−24 %
Ø16	398	250	12,6 m/min	−37 %
Ø20	318	250	15,7 m/min	−21 %

Poslední sloupec ukazuje, o kolik se skutečná vc liší od 20 m/min. Někde je to velký skok, protože mezi stupni jsou mezery. Někdy je naopak vyšší stupeň jen o málo výš, třeba u Ø4 je výpočet 1 592 a stupeň 1 600 ot/min. O tom rozhodne UOV. Sám na vyšší stupeň nepřepínej.

Stejné je to i dole. Když výpočet vyjde pod nejnižší stupeň, například Ø30 z HSS má 212 ot/min a nejnižší modelový stupeň je 250, stroj níž neumí a vc vyjde 23,6 m/min. U velkého vrtáku se proto poraď s UOV. Možná patří na jiný, větší stroj.

Když výpočet vyjde víc, než stroj umí

Vrták Ø2 ze slinutého karbidu má podle vzorce **12 739 ot/min**. Tolik obyčejná vrtačka neumí. Mez stroje nesmíš překročit. Nastavíš nejvyšší otáčky, které stroj dovolí, a podle nich spočítáš skutečnou řeznou rychlost a posuv.



Obr. 5.3 Vše nad čarou stroj neumí. Malé průměry, hlavně z karbidu, leží daleko nad mezí stroje.

Příklad 13 **Ø2 z karbidu na modelovém stroji**	
Zadání	Vrták Ø2 ze slinutého karbidu. Nejvyšší otáčky stroje jsou 2 500 ot/min.
Výpočet	n = (80 · 1000) / (3,14 · 2) = 80 000 / 6,28 = 12 738,85 → 12 739 ot/min
Porovnání	12 739 je víc než 2 500, proto nastavíš 2 500 ot/min.
Rychlost vc	vc = (3,14 · 2 · 2 500) / 1000 = 15,7 m/min
Výsledek	**Jedeš 2 500 ot/min a vc je 15,7 m/min, ne 80.**
Poznámka	Karbidový vrták tady výhodu nevyužije. Na malé díry na klasickém stroji se proto víc hodí vrták z HSS.

Spočítat si můžeš i opačnou otázku: od jakého průměru už stroj plnou vc stačí. Použiješ otočený vzorec d = (vc · 1000) / (3,14 · n). Průměr zaokrouhluješ nahoru na desetiny, aby otáčky nepřesáhly mez.

Mez stroje (ot/min)	HSS stačí od Ø (mm)	Karbid stačí od Ø (mm)
2 500	2,6	10,2
3 000	2,2	8,5
4 000	1,6	6,4
6 000	1,1	4,3

Karbid na klasické vrtačce

Slinutý karbid je křehký. Nesnáší rázy a chvění, a proto potřebuje tuhý stroj a pevné upnutí. Ruční posuv a stroj s vůlí ve vřetenu mu nesvědčí. Katalog výrobce ISCAR uvádí pro malé karbidové vrtáky Ø0,8 až 2,9 mm, že házení nemá překročit 0,01 mm a že nad 10 000 ot/min má být soustava dynamicky vyvážená. Takové podmínky běžná vrtačka často nesplní.

POZOR

Karbidový vrták použij, jen když ti ho dá UOV a stroj je k tomu vhodný. Na obyčejné vrtačce s ručním posuvem je pro běžnou práci rozumnější HSS.

Doplň si údaje ze svého stroje

Přepiš si hodnoty přímo ze štítku a návodu stroje nebo se zeptej UOV. Výrobní číslo ani přesné typy si nevymýšlej. Prázdná kolonka je lepší než hádaná.

Údaj	Hodnota na mém stroji
Stroj, označení	
Stupně otáček (ot/min)	
Nejnižší a nejvyšší otáčky	
Jak se otáčky přepínají	
Největší vrták do oceli	
Pokyny UOV	

CO SI ZAPAMATOVAT

- Vol nejbližší nižší stupeň. Vyšší stupeň jen s UOV.
- Mez stroje se nikdy nepřekračuje. Nastav nejvyšší otáčky a přepočítej vc.
- Ø2 z karbidu by chtěl 12 739 ot/min. Malé vrtáky proto klasická vrtačka plnou rychlostí neutáhne.
- Skutečnou vc zjistíš otočeným vzorcem vc = (3,14 · d · n) / 1000.
- Hodnoty svého stroje si přepiš ze štítku, nehádej je.

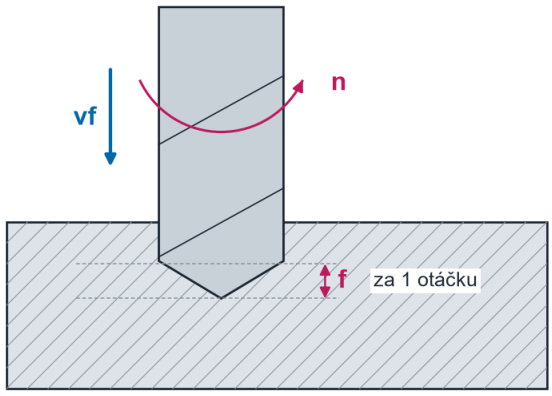
6

POSUV A ČAS

Posuv a strojní čas

Rychlost posuvu, posuv na otáčku podle průměru, délka dráhy se špičkou vrtáku a strojní čas.

Otáčky říkají, jak rychle se vrták točí. Posuv říká, jak rychle jde dolů. Teprve obojí dohromady určí, jestli vrták řeže správně a jak dlouho práce potrvá.



Co je co

f — **posuv na otáčku v mm/ot**
o kolik se vrták zanoří za jednu otáčku

n — **otáčky v ot/min**
kolik těch otáček stihne za minutu

vf — **rychlost posuvu v mm/min**
jak rychle vrták skutečně jede dolů

$$vf = f \cdot n$$

Obr. 6.1 Posuv na otáčku f, otáčky n a rychlost posuvu vf.

$$vf = f \cdot n$$

vf rychlost posuvu v mm/min · f posuv na otáčku v mm/ot · n otáčky v ot/min

Jaký posuv na otáčku

Posuv na otáčku roste s průměrem vrtáku. Silnější vrták snese větší zatížení. Tabulka je orientační a platí pro šroubovitý vrták se dvěma břity z HSS. Hodnoty pocházejí z podkladů University of Florida. Přepočetli jsme je z palců a zaokrouhlili. Menší hodnoty ber pro tvrdší a pevnější materiály, větší pro měkčí.

Průměr vrtáku	Posuv f (mm/ot)	Hodnota v příkladech
do Ø3	do 0,05	Ø2: 0,04
Ø3 až Ø6	0,05 až 0,1	Ø5: 0,08 · Ø6: 0,10
Ø6 až Ø13	0,1 až 0,2	Ø8: 0,12 · Ø10: 0,15 · Ø12: 0,18
Ø13 až Ø25	0,2 až 0,3	Ø16: 0,22 · Ø20: 0,25
nad Ø25	0,3 až 0,5	Ø32: 0,35

Výrobci uvádějí podobné hodnoty, ale platí pro konkrétní řady nástrojů. Europa Tool má pro vrták z HSS v nelegované oceli Ø5: 0,11 a Ø10: 0,22 mm/ot. Mapal má pro karbidový vrták ve stejné oceli Ø6,03: 0,10 a Ø10,99: 0,16 mm/ot.

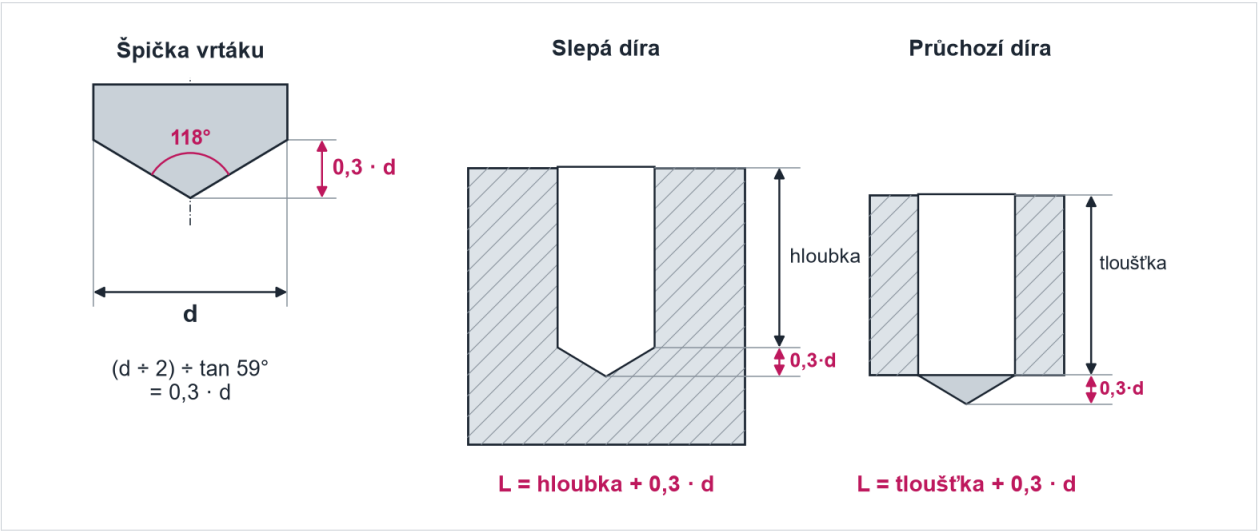
> **PAMATUJ**
> Na vrtačce s ručním posuvem posuv nenastavuješ. Cítíš ho přes páku. Přesto se ho vyplatí znát. Ø10 s posuvem 0,15 mm/ot jde za 7 otáček asi o 1 mm. Když jde vrták mnohem rychleji, tlačíš moc.

Příklady na rychlost posuvu

Příklad 14	**Vrták Ø10 z HSS**
Zadání	Vrták Ø10 z HSS, f = 0,15 mm/ot.
Otáčky	n = (20 · 1000) / (3,14 · 10) = 20 000 / 31,4 = 636,94 → 637 ot/min
Vzorec	vf = f · n
Dosazení	vf = 0,15 · 637 = 95,55
Výsledek	**vf = 96 mm/min**
Poznámka	Dosazuj otáčky, které jsou skutečně nastavené. Na stupni 630 ot/min je vf = 0,15 · 630 = 94,5, tedy 95 mm/min. Na CNC stroji se posuv zadává v programu, v mm/min nebo v mm/ot podle řízení.

Délka dráhy

Vrták musí urazit víc, než je samotná hloubka. Špička je kuželová. Než řeže plným průměrem, musí do materiálu vjet celá.



Obr. 6.2 Délka špičky u vrcholového úhlu 118° je asi 0,3 · d. Přidává se k hloubce slepé díry i k tloušťce u průchozí díry.

$$L = \text{hloubka} + 0{,}3 \cdot d$$

L dráha vrtáku v mm · hloubka nebo tloušťka v mm · d průměr vrtáku v mm

Číslo 0,3 je běžná orientace. Plyne z geometrie špičky s vrcholovým úhlem 118°. U vrtáku s úhlem 130° je špička 0,23 · d, u 140° 0,18 · d. Výsledek se tím změní jen málo.

V praxi se ještě přidává **náběh**, tedy vzdálenost, ze které vrták přijíždí, než začne řezat. U průchozí díry se navíc nechává **přeběh**, aby špička bezpečně vyšla ven. Na CNC stroji je náběh součástí programu. Na vrtačce jde jen o to, že páku spouštíš o kousek dřív. V příkladech ho počítáme jen tam,

kde je to v zadání. Skutečnou hodnotu určí seřízení stroje nebo UOV.

Strojní čas

t = L / vf

t čas v minutách · L dráha v mm · vf rychlost posuvu v mm/min

Čas v minutách vynásob 60 a máš sekundy. Podle pravidel z kapitoly 2 sekundy počítej rovnou z dráhy: L · 60 / vf. Strojní čas znamená čistý čas řezu. Upnutí, přípravu a měření nezahrnuje. Při výplachu je skutečný čas delší.

Příklad 15 Slepá díra Ø10

Zadání	Vrták Ø10 z HSS, hloubka 30 mm, f = 0,15 mm/ot, n = 637 ot/min.
Dráha	L = 30 + 0,3 · 10 = 33 mm
Posuv	vf = 0,15 · 637 = 95,55 → 96 mm/min
Čas	t = 33 / 96 = 0,34 min
Výsledek	**t = 0,34 min, tedy 21 s**

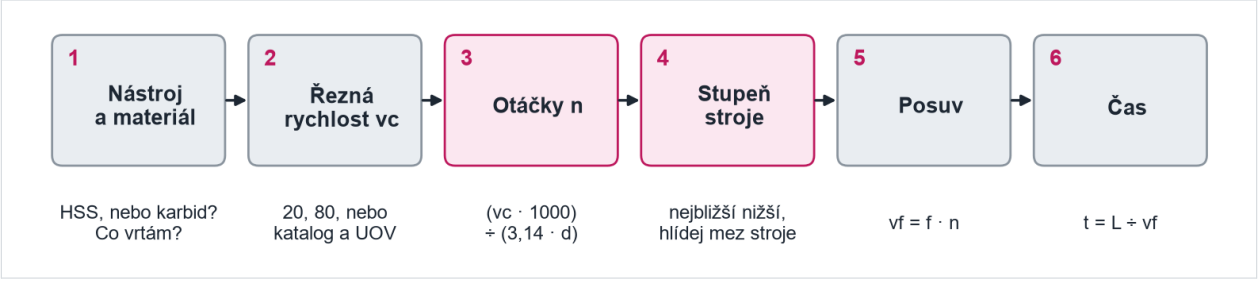
Příklad 16 Průchozí díra s náběhem

Zadání	Deska tloušťky 25 mm, vrták Ø8 z HSS, f = 0,12 mm/ot, náběh 2 mm.
Otáčky	n = 796 ot/min
Dráha	L = 25 + 0,3 · 8 + 2 = 29,4 mm
Posuv	vf = 0,12 · 796 = 95,52 → 96 mm/min
Čas	t = 29,4 / 96 = 0,31 min
Výsledek	**t = 0,31 min, tedy 18 s**

Příklad 17 Kolik času ušetří karbid

Zadání	Díra Ø12, hloubka 40 mm. Pro srovnání stejný posuv f = 0,18 mm/ot u obou vrtáků.
Dráha	L = 40 + 0,3 · 12 = 43,6 mm
HSS	n = 531, vf = 96 mm/min, t = 43,6 / 96 = 0,45 min = 27 s
Karbid	n = 2 123, vf = 382 mm/min, t = 43,6 / 382 = 0,11 min = 7 s
Výsledek	**HSS 27 s, karbid 7 s, tedy asi čtyřikrát kratší čas.**
Poznámka	Platí to, jen když stroj plné otáčky karbidu umí a nástroj snese stejný posuv.

Celý postup na jednom místě



Obr. 6.3 Šest kroků od nástroje a materiálu po strojní čas. Kroky 3 a 4 jsou hlavní obsah této příručky.

CO SI ZAPAMATOVAT

- vf = f · n. Dosazuj otáčky, které jsou skutečně nastavené.
- Posuv na otáčku roste s průměrem vrtáku. Tabulka je orientační.
- L = hloubka + 0,3 · d. Číslo 0,3 je délka špičky u úhlu 118°.
- t = L / vf. Strojní čas je jen čistý čas řezu.

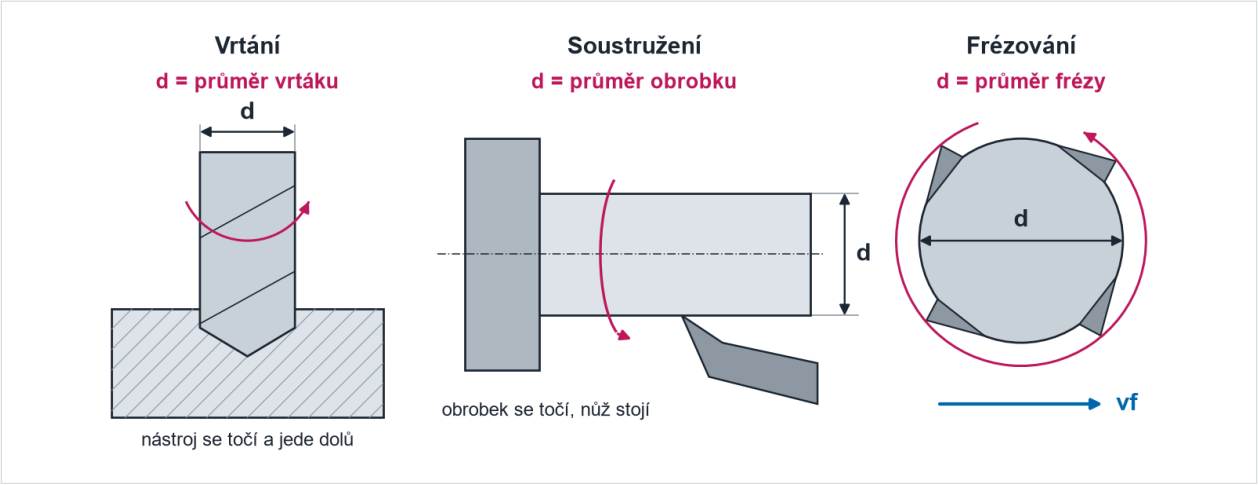
7

JINÉ PRÁCE A MATERIÁLY

7 Soustružení, frézování a jiné materiály

Stejný vzorec na soustruhu a frézce. Orientační rychlosti pro další materiály s uvedeným zdrojem.

Vzorec pro otáčky není jen pro vrtáky. Stejný výpočet platí pro všechny rotační nástroje i obrobky. Mění se jen to, co je d, a jak se počítá posuv.

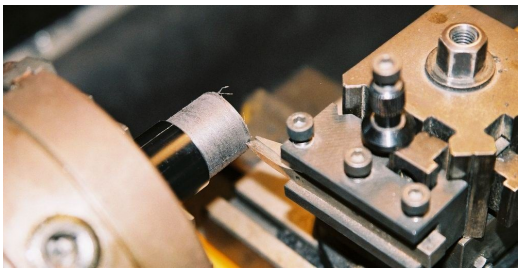


Obr. 7.1 Vzorec je pořád stejný. Do d dosadíš průměr toho, co se točí a řeže.

Soustružení

Při soustružení se točí **obrobek**, proto je d **průměr obrobku** v místě řezu. Posuv se počítá stejně jako u vrtáku: vf = f · n.

Když se průměr při další třísce zmenší, otáčky by se měly zvýšit, aby zůstala stejná vc.



Obr. 7.2 Podélné soustružení na soustruhu. Do vzorce patří průměr obrobku.
Vlastník obrázku: Greudin, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour-chariotage-couteau.jpg

Příklad 18	**Soustružení Ø40**
Zadání	Soustružíš průměr 40 mm, vc = 120 m/min, f = 0,15 mm/ot. Stejné zadání najdeš v příručce k CNC soustruhu.
Otáčky	n = (120 · 1000) / (3,14 · 40) = 120 000 / 125,6 = 955,41 → 955 ot/min
Posuv	vf = 0,15 · 955 = 143,25
Výsledek	**n = 955 ot/min, vf = 143 mm/min**

Vrtání na soustruhu je zvláštní případ. Vrták stojí v koníku a točí se obrobek. Přesto do vzorce patří **průměr vrtáku**, protože ten určuje rychlost na břitu. Průměr obrobku tady nehraje roli.

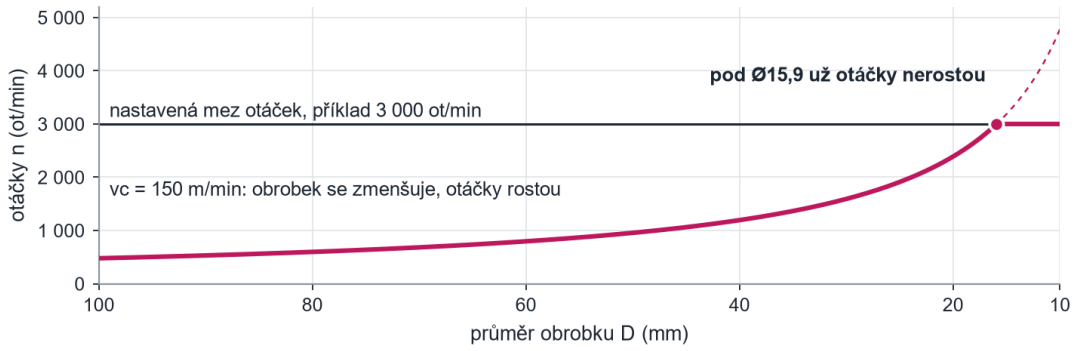
Řežeš na obvodu vrtáku, proto rozhoduje jeho průměr, i když se točí obrobek.



Obr. 7.3 Vrtání na soustruhu ve škole: vrták ve sklíčidle v koníku. Snímek z galerie oboru na webu školy.
Vlastník obrázku: Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie

Konstantní řezná rychlost

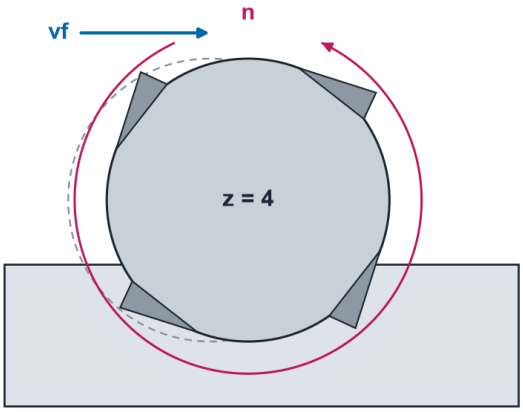
CNC soustruh umí držet stejnou řeznou rychlost. Při čelním soustružení se průměr zmenšuje, a tak řízení samo zvyšuje otáčky. Kvůli bezpečnosti je potřeba nastavit jejich nejvyšší mez.



Obr. 7.4 Konstantní řezná rychlost při zmenšování průměru. Přerušovaná křivka ukazuje, co by otáčky chtěly, kdyby je mez nezastavila.

Frézování

U frézy je d **průměr frézy**. Otáčky se počítají stejně. Posuv se ale neudává na otáčku, protože fréza má víc břitů. Udává se **na zub**.



Posuv u frézy jde přes zuby

- **fz** — **posuv na zub v mm**: o kolik fréza popojede, než řeže další zub
- **z** — **počet zubů**: spočítej je na fréze
- **n** — **otáčky v ot/min**: stejný vzorec, d je průměr frézy
- **vf** — **rychlost posuvu v mm/min**: jak rychle jede fréza materiálem

$$vf = fz \cdot z \cdot n$$

Obr. 7.5 Rychlost posuvu frézy je posuv na zub krát počet zubů krát otáčky. Přerušovaně je poloha před popojetím, pro názornost zvětšeno.





Obr. 7.6 Stopkové frézy drážkovací, válcová a kulová (vlevo) a čelní fréza s karbidovými břity (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterSlotEndMillBallnose.jpg; vpravo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterCarbideTippedFaceMill-INT40.jpg

Příklad 19	**Karbidová stopková fréza Ø16**
Zadání	Fréza Ø16, z = 4, vc = 150 m/min, fz = 0,05 mm.
Otáčky	n = (150 · 1000) / (3,14 · 16) = 150 000 / 50,24 = 2 985,67 → 2 986 ot/min
Vzorec	vf = fz · z · n
Dosazení	vf = 0,05 · 4 · 2 986 = 597,2
Výsledek	**n = 2 986 ot/min, vf = 597 mm/min**
Poznámka	Hodnoty vc a fz jsou z orientační tabulky pro tvrdokov dále v této kapitole.

Hodnoty pro jiné materiály

Hlavní hodnoty 20 a 80 m/min jsou **výchozí pro vrtáky v oceli**. U jiných materiálů a nástrojů se liší. V tabulce jsou rozmezí z doložených zdrojů. Berou se jako **orientační**. Ostatní zdroje mohou uvádět jiná čísla, protože výrobci je stanovují pro svůj konkrétní nástroj.

Materiál	Vrták HSS vc (m/min)	Ø10 HSS n (ot/min)	Karbidový vrták vc (m/min)	Upřesnění ke karbidu
Konstrukční ocel S235	25 až 35	796 až 1 115	70 až 75	ocel do 700 N/mm²
Ocel C45	15 až 25	478 až 796	55 až 70	ocel do 1 200 N/mm²
Austenitická nerez	6 až 12	191 až 382	30 až 45	nerez do 700 N/mm²
Litina	20 až 30	637 až 955	75 až 120	tvárná litina GJS do 500 N/mm²
Hliník	60 až 100	1 911 až 3 185	dle katalogu	uváděné hodnoty se velmi liší

Odkud čísla jsou. HSS pro ocel, litinu a hliník je z příručky pro 1. ročník. HSS pro nerez je přepočet 20 až 40 sfm z podkladů University of Florida. Karbid je z tabulky řezných podmínek Mapal pro řadu ECU-Drill Uni, při různých způsobech chlazení. Karbidové vrtáky jiných výrobců mají jiné hodnoty. ISCAR uvádí pro Ø0,8 až 2,9 mm v nelegované oceli s nízkým obsahem uhlíku 50 až 100 m/min. Europa Tool uvádí pro svou řadu vrtáků z HSS v nelegované oceli 35 až 45 m/min.

Jak do toho zapadá 20 a 80

- **HSS 20 m/min** leží na spodním okraji rozmezí 20 až 40 m/min z příručky pro 2. ročník. Pro S235 je 1. ročník vyšší, 25 až 35. Pro C45 je 20 uprostřed rozmezí 15 až 25. Je to opatrná výchozí hodnota do oceli.
- **Karbid 80 m/min** je blízko hodnot pro vrtáky z katalogů výše. Rozmezí 120 až 300 m/min z příručky pro 2. ročník je obecné pro slinutý karbid. V tabulce níže jsou podobné hodnoty pro soustružení a frézování. Nepřenášej je na vrták.
- Poměr 4 : 1 vychází z hodnot 20 a 80. Není to fyzikální zákon. Zdroje uvádějí různé poměry, například podklady University of Florida násobí rychlost pro karbid číslem 2,5.

Soustružení a frézování s tvrdokovem

Materiál	Soustružení vc (m/min)	f (mm/ot)	Frézování vc (m/min)	fz (mm/zub)
Ocel S235	180 až 280	0,1 až 0,4	150 až 250	0,05 až 0,2
Ocel C45	150 až 250	0,1 až 0,4	130 až 220	0,05 až 0,15
Nerez	100 až 180	0,1 až 0,3	80 až 150	0,03 až 0,12
Litina	120 až 250	0,1 až 0,4	120 až 220	0,05 až 0,2
Hliník	300 až 800	0,1 až 0,4	300 až 800	0,05 až 0,2

Tabulka je převzatá z příručky pro 2. ročník a je také orientační. U stopkových fréz menších průměrů se bere posuv na zub podstatně menší, například 0,01 až 0,05 mm.

POZOR

Pořadí platnosti: 1. katalog konkrétního nástroje, 2. pokyn UOV, 3. teprve potom výchozí 20 a 80 m/min z této příručky. Podmínky se liší podle tvrdosti materiálu, chlazení, délky vrtáku a stavu stroje. Když si nejsi jistý, začni níž a přidávej postupně.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Vzorec je stejný pro vrtání, soustružení i frézování. Mění se jen význam d.
- Soustružení: d je průměr obrobku. Frézování: d je průměr frézy. Vrtání na soustruhu: d je průměr vrtáku.
- Frézování: vf = fz · z · n.
- 20 a 80 m/min jsou výchozí pro vrtáky v oceli. Jiné materiály mají jiné hodnoty, viz tabulka.
- Katalog nástroje a pokyn UOV mají přednost.

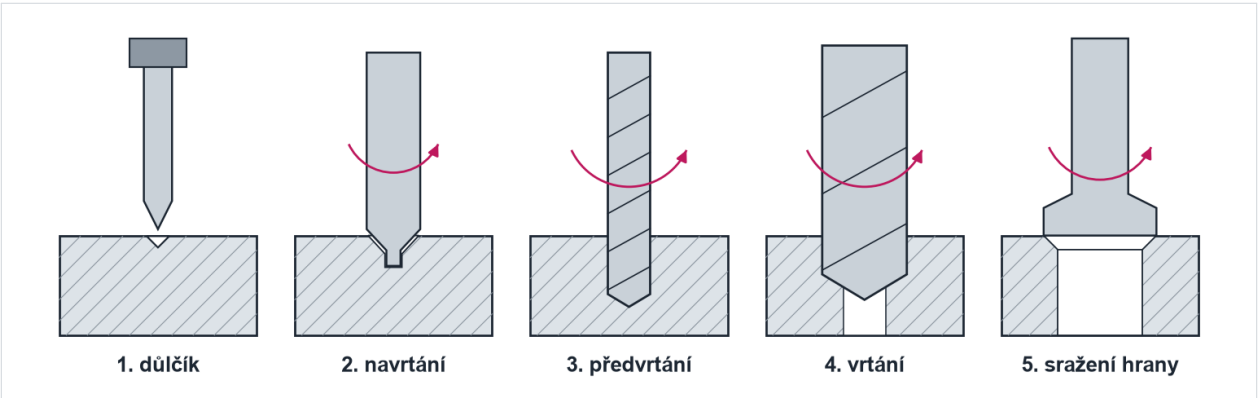
8 Vrtání v praxi

DÍLNA

Navrtání, výplach, chlazení, jak poznat špatné otáčky, typické chyby, závady a bezpečnost u vrtačky.

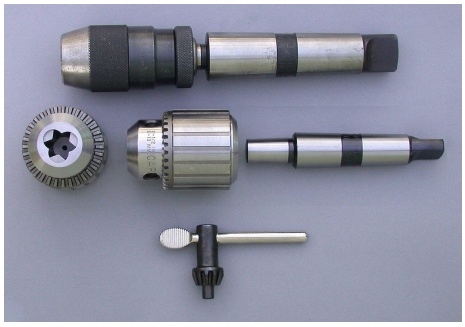
Správné otáčky nestačí, když vrták nejede rovně nebo se v díře ucpe. V této kapitole je to, co se u vrtačky děje kolem výpočtu.

Postup vrtání



Obr. 8.1 Od důlčíku po sražení hrany. Předvrtání se používá u větších děr.

1. **Orýsuj a označ střed** důlčíkem. Vrták se chytne a nesjede.
2. **Upni obrobek** do svěráku a svěrák pojisti proti protočení. Malé díly nikdy nedrž v ruce.
3. **Upni nástroj** do sklíčidla, **vyndej klíč** a nastav otáčky.
4. **Navrtej** navrtávákem, když jde o přesnou polohu.
5. **Předvrtej** větší díru menším vrtákem. Od Ø8 výš se vrtá po stupních.
6. **Vrtej plynule**, přidávej kapalinu a v hluboké díře vyjížděj.
7. **Před provrtáním uber tlak**. Vrták by se mohl zaseknout.
8. **Sraz hrany** záhlubníkem a změř díru.

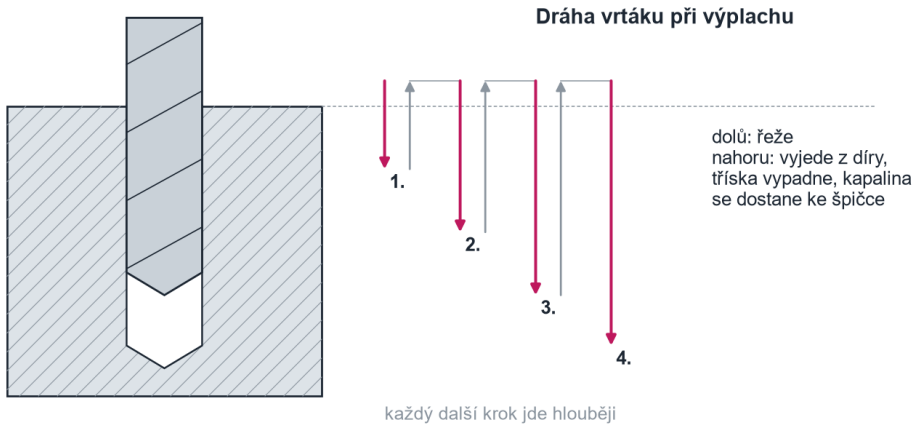




Obr. 8.2 Sklíčidla s kuželovou stopkou a klíč (vlevo). Strojní svěrák k upnutí obrobku (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChuckDrillKeyedKeylessArbor.jpg; vpravo Germ Halter, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maschinenschraubstock_DDR_Ansicht_von_oben.jpg

Výplach třísek

Čím hlubší díra, tím hůř odcházejí třísky a tím hůř se ke špičce dostane kapalina. Třísky se v drážkách slisují, vrták se začne zadírat a může se zlomit. Proto se v hluboké díře vyjíždí, říká se tomu **výplach**.



Obr. 8.3 Při výplachu jde vrták po krocích. Po každém kroku vyjede, tříska vypadne a kapalina se dostane ke špičce.

Podklady University of Florida uvádějí, že u děr hlubších než 3 · d je vhodné snížit otáčky a posuv, a to až o polovinu, zvlášť když se ke špičce nedostane kapalina. ISCAR u karbidových vrtáků doporučuje při délce větší než 6 · d snížit posuv o 20 %. Konkrétní hodnoty pro tvůj nástroj jsou v jeho katalogu.

Chlazení a mazání

Kapalina odvádí teplo, maže břit a pomáhá odplavit třísky. Podle materiálu:

- **Ocel**: emulze, u C45 emulze nebo olej.
- **Litina**: obvykle za sucha.
- **Hliník**: s mazáním, jinak se tříska lepí na břit.



Obr. 8.4 Šroubovitý vrták HSS v hliníku s mazáním. *Vlastník obrázku: JJ Harrison (https://www.jjharrison.com.au/), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSS_Twist_Drill_into_Aluminium_with_Lubricant.jpg*

Jak poznat špatné otáčky

Otáčky si můžeš ověřit i smysly. Podívej se na třísku, všimni si její barvy a poslouchej zvuk. Tabulka je orientační, u karbidu a u různých materiálů vypadá tříska jinak. U litiny je drobivá tříska normální.





Obr. 8.5 Různé tvary třísek z obrábění (vlevo). Dlouhá spirálová tříska (vpravo) se umí navinout, proto ji odstraňuj jen za klidu a háčkem.
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SwarfSamples.jpg; vpravo Niharsd.mech, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_chip.jpg

Co vidíš nebo slyšíš	Co to obvykle znamená	Co udělat
Stejné třísky z obou drážek, v oceli souvislá spirála	Vrták je ostrý a podmínky jsou v pořádku	Pokračuj
Tříska z jedné drážky	Nestejné břity, jeden řeže víc	Vrták naostřit nebo vyměnit
Modrá tříska u vrtáku z HSS v oceli	Příliš vysoké otáčky nebo chybí chlazení	Snížit otáčky, chladit
Modrající vrták, kouř	Přehřátí, nebo tupý vrták	Hned zastavit, zkontrolovat otáčky a ostří
Prášek místo třísky v oceli	Tupý vrták, nebo se materiál jen dře	Naostřit, zkontrolovat posuv
Dlouhá tříska, která se navíjí	Malý posuv nebo dlouhý řez bez vyjetí	Přidat posuv, vyjíždět
Pískání	Vysoké otáčky, tupý vrták, málo kapaliny	Zpomalit, zkontrolovat ostří
Drnčení, chvění	Špatné upnutí, velký posuv, příliš dlouhý vrták	Upnout pevněji, ubrat tlak, kratší vrták

Závady a jejich příčiny

Závada	Příčina	Náprava
Díra mimo střed	Chybí důlčík, tupý vrták	Důlčík, navrtání, naostřit
Vrták se zlomí	Třísky v drážkách, velký tlak při výstupu	Vyjíždět, snížit tlak před provrtáním
Díra je větší než vrták	Nestejné břity	Správně naostřit
Rychlé otupení rohů	Vysoká řezná rychlost	Přepočítat otáčky, snížit stupeň
Vylomený břit u karbidu	Ráz, chvění, slabé upnutí, nevhodný stroj	Pevně upnout, poradit se s UOV o nástroji a stroji
Otřepy na výstupu	Velký posuv na konci, tupý vrták	Před provrtáním ubrat, podložit

Typické chyby ve výpočtu

Chyba	Co se stane	Jak se jí vyhnout
Dosazen poloměr místo průměru	Ø10 vyjde 1 274 místo 637 ot/min, dvojnásobek	Do vzorce vždy patří průměr d
Prohozené HSS a karbid	Otáčky se liší čtyřikrát	Před výpočtem se podívej na nástroj
Otáčky po předchozím vrtáku	Ø6 má 1 062, Ø16 jen 398 ot/min	Po výměně vrtáku přepni stupeň
Zaměněné vc a vf	Jiné veličiny i jednotky	vc je v m/min, vf v mm/min

Bezpečnost u vrtačky



Obr. 8.6 Značky, které se týkají práce u vrtačky. Které přesně platí na tvém pracovišti, určuje jeho značení. *Vlastník obrázku: značky podle ISO 7010, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), například https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISO_7010_M004.svg*

- **Žádné rukavice** u běžící vrtačky. Rotující část je zachytí i s rukou.
- **Ochranné brýle** vždy. Třísky odlétají.
- **Přiléhavý oděv**, svázané vlasy, žádné šperky.
- **Obrobek pevně upnutý**, svěrák zajištěný proti protočení. V ruce nikdy.
- **Klíč ze sklíčidla** vyndej hned po upnutí. Teprve pak zapínej.
- **Třísky** odstraňuj jen za klidu a háčkem, ne rukou ani vzduchem.
- **Otáčky** přepínej podle návodu stroje. Řemen jen při vypnutém stroji.
- **Nouzové zastavení** si najdi dřív, než začneš.



Obr. 8.7 Ochranné brýle. U vrtačky jsou samozřejmost. *Vlastník obrázku: Jacek Halicki, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2023_Okulary_ochronne_(1).jpg*

POZOR

Když se vrták zasekne, nesnaž se ho vytáhnout za chodu ani obrobek chytat rukou. Vypni stroj. Teprve když stojí, řeš, co se stalo. Každou závadu nahlas UOV.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Pořadí práce: důlčík, upnutí, klíč pryč, navrtání, předvrtání, vrtání, ubrání před provrtáním, sražení hrany.
- Hluboká díra chce výplach. Třísky v drážkách lámou vrták.
- Tříska, barva a zvuk prozradí, jestli jsou otáčky v pořádku.
- Rukavice nikdy. Brýle vždy. Obrobek upnutý. Klíč ze sklíčidla pryč.

9 Cvičení a test

OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ

Dvacet dva cvičení od lehkých po souhrnná a test se čtrnácti otázkami.

Počítej s 3,14 a zaokrouhluj podle kapitoly 2. Tabulky z kapitoly 3 si tentokrát zakryj. Řešení je v kapitole 10. Výsledek si tam porovnej až po dopočítání.

Základ: otáčky

1. Spočítej otáčky: vrták Ø5, HSS, vc = 20 m/min.
2. Spočítej otáčky: vrták Ø16, HSS, vc = 20 m/min.
3. Spočítej otáčky: vrták Ø4, karbid, vc = 80 m/min.
4. Spočítej otáčky: vrták Ø20, karbid, vc = 80 m/min.
5. Spočítej otáčky: vrták Ø10,2, HSS, pod závit M12, vc = 20 m/min.
6. Spočítej otáčky: vrták Ø8,5, karbid, pod závit M10, vc = 80 m/min.

Srovnání a otočený vzorec

7. Vrták Ø14. Spočítej otáčky pro HSS a karbid. Kolikrát je karbid rychlejší?
8. Odhadni z hlavy otáčky HSS pro Ø16. Potom je spočítej přesně a porovnej.
9. Vrták Ø12 z HSS běží 1 000 ot/min. Jaká je skutečná vc? Je to víc než 20 m/min?
10. Stroj běží na 500 ot/min. Jaký největší průměr z HSS odpovídá vc = 20 m/min?

Stroj a jeho mez

11. Modelový stroj: 250, 400, 630, 1 000, 1 600, 2 500 ot/min. Vrták Ø10 z karbidu. Který stupeň zvolíš a jaká bude skutečná vc?

12. Stejný stroj. Vrták Ø12 z HSS. Který stupeň zvolíš a jaká bude skutečná vc?

13. Stejný stroj. Vrták Ø3 z karbidu. Stačí stroj? Co nastavíš a jaká bude vc?

14. Stroj má nejvýše 3 000 ot/min. Od jakého průměru karbidový vrták plnou vc 80 m/min stačí? Zaokrouhli nahoru na desetiny.

Posuv a strojní čas

15. Vrták Ø12 z HSS, n podle vzorce, f = 0,18 mm/ot. Spočítej rychlost posuvu.

16. Průchozí díra, tloušťka 30 mm, vrták Ø8 z HSS, f = 0,12 mm/ot, bez náběhu. Spočítej čas.

17. Slepá díra hloubky 30 mm, vrták Ø16, na stroji nastaveno 250 ot/min, f = 0,22 mm/ot. Spočítej čas.

18. Série 30 děr Ø6 z HSS, hloubka 15 mm, f = 0,10 mm/ot. Kolik minut trvá samotné vrtání?

Soustružení, frézování a souhrn

19. Soustružíš Ø50, vc = 150 m/min, f = 0,2 mm/ot. Spočítej n a vf.

20. Fréza Ø20, z = 3, vc = 120 m/min, fz = 0,06 mm. Spočítej n a vf.

21. Čelní fréza Ø40, z = 5, vc = 180 m/min, fz = 0,1 mm. Spočítej n a vf.

22. Souhrnná úloha. Deska tloušťky 20 mm, vrták Ø10 z HSS, modelový stroj, f = 0,15 mm/ot. Spočítej n, stupeň, skutečnou vc, vf, L a t.

Test

U každé otázky je správná jedna odpověď. Zkus to bez listování zpět, tam kde to jde.

1. Co udává řezná rychlost vc?

a) Kolikrát se vrták otočí za minutu.
b) Jak rychle se pohybuje bod na obvodu nástroje.
c) Jak rychle jde vrták dolů.

2. Proč je ve vzorci číslo 1000?

a) Převádí metry na milimetry.
b) Je to bezpečnostní koeficient.
c) Převádí minuty na sekundy.

3. Kolik otáček má vrták Ø10 z HSS podle hlavního pravidla?

a) 318 ot/min
b) 2 548 ot/min
c) 637 ot/min

4. Kolik otáček má vrták Ø10 z karbidu?

a) 2 548 ot/min
b) 637 ot/min
c) 5 096 ot/min

5. Co se stane s otáčkami, když se průměr vrtáku zdvojnásobí a vc zůstane?

a) Zdvojnásobí se.
b) Zůstanou stejné.
c) Klesnou na polovinu.

6. Kolikrát víc otáček má podle této příručky karbid než HSS?

a) Dvakrát.
b) Čtyřikrát.
c) Osmkrát.

7. Výpočet dal 796 ot/min. Stroj má stupně 630 a 1 000. Který zvolíš?

a) 630 ot/min
b) 1 000 ot/min
c) Je to jedno.

8. Výpočet je vyšší než největší otáčky stroje. Co uděláš?

a) Přidám víc kapaliny a překročím mez.
b) Nastavím nejvyšší otáčky stroje a přepočítám vc a posuv.
c) Dám nižší posuv a nic jiného neřeším.

9. Kolik je vf, když f = 0,2 mm/ot a n = 500 ot/min?

a) 2 500 mm/min
b) 100 mm/min
c) 10 mm/min

10. Vrták Ø10, slepá díra hloubky 30 mm. Jaká je dráha L podle orientace ze 6. kapitoly?

a) 30 mm
b) 40 mm
c) 33 mm

11. Co je d při soustružení?

a) Průměr obrobku.
b) Průměr sklíčidla.
c) Poloměr obrobku.

12. Vidíš modrou třísku při vrtání oceli vrtákem z HSS. Co to obvykle znamená?

a) Vše je v pořádku.
b) Příliš nízké otáčky.
c) Příliš vysoké otáčky nebo chybí chlazení.

13. Co u běžící vrtačky nikdy nepoužiješ?

a) Rukavice.
b) Ochranné brýle.
c) Přiléhavý pracovní oděv.

14. Co má přednost před výchozími hodnotami 20 a 80 m/min?

a) Odhad podle zvuku.
b) Katalog nástroje a pokyn UOV.
c) Největší otáčky stroje.

10 OVĚŘENÍ ZNALOSTÍ Řešení

Výpočty všech cvičení a správné odpovědi v testu.

Výsledky jsou spočítané programem s 3,14 podle pravidel z kapitoly 2. Když ti vyjde číslo o jednu nebo dvě otáčky jiné, porovnej své zaokrouhlení s tabulkou v kapitole 2.

Č.	Řešení
1	n = (20 · 1000) / (3,14 · 5) = 20 000 / 15,7 = 1 273,89 → **1 274 ot/min**
2	n = (20 · 1000) / (3,14 · 16) = 20 000 / 50,24 = 398,09 → **398 ot/min**

Č.	Řešení
3	n = (80 · 1000) / (3,14 · 4) = 80 000 / 12,56 = 6 369,43 → **6 369 ot/min**
4	n = (80 · 1000) / (3,14 · 20) = 80 000 / 62,8 = 1 273,89 → **1 274 ot/min**
5	n = (20 · 1000) / (3,14 · 10,2) = 20 000 / 32,028 = 624,45 → **624 ot/min**
6	n = (80 · 1000) / (3,14 · 8,5) = 80 000 / 26,69 = 2 997,38 → **2 997 ot/min**
7	HSS 455, karbid 1 820 ot/min. 1 820 / 455 = **4,00**, tedy čtyřikrát.
8	Odhad 6 400 / 16 = 400. Přesně 398 ot/min. **Rozdíl je 2 ot/min.**
9	vc = (3,14 · 12 · 1000) / 1000 = **37,7 m/min**. Je to skoro dvojnásobek, otáčky je třeba snížit.
10	d = 20 000 / (3,14 · 500) = 12,74, tedy **asi Ø12,7 mm**. V praxi nejbližší menší běžný průměr.
11	Výpočet 2 548 ot/min, stupeň **2 500 ot/min**. vc = (3,14 · 10 · 2 500) / 1000 = **78,5 m/min**.
12	Výpočet 531 ot/min, stupeň **400 ot/min**. vc = (3,14 · 12 · 400) / 1000 = **15,1 m/min**.
13	Výpočet 8 493 ot/min, to stroj neumí. Nastavíš **2 500 ot/min**. vc = (3,14 · 3 · 2 500) / 1000 = 23,55 → **23,6 m/min**.
14	d = 80 000 / (3,14 · 3 000) = 8,493, zaokrouhleno nahoru **Ø8,5 mm**.
15	n = 531 ot/min. vf = 0,18 · 531 = 95,58 → **96 mm/min**.
16	n = 796, vf = 96 mm/min. L = 30 + 0,3 · 8 = 32,4 mm. t = 32,4 / 96 = **0,34 min, tedy 20 s**.
17	vf = 0,22 · 250 = 55 → 55 mm/min. L = 30 + 0,3 · 16 = 34,8 mm. t = 34,8 / 55 = **0,63 min, tedy 38 s**.
18	n = 1 062, vf = 106 mm/min, L = 16,8 mm. 30 · 16,8 / 106 = **4,75 min**.
19	n = (150 · 1000) / (3,14 · 50) = 150 000 / 157 = 955,41 → **955 ot/min**. vf = 0,2 · 955 = **191 mm/min**.
20	n = (120 · 1000) / (3,14 · 20) = 120 000 / 62,8 = 1 910,83 → **1 911 ot/min**. vf = 0,06 · 3 · 1 911 = 343,98 → **344 mm/min**.
21	n = (180 · 1000) / (3,14 · 40) = 180 000 / 125,6 = 1 433,12 → **1 433 ot/min**. vf = 0,1 · 5 · 1 433 = 716,5 → **717 mm/min**.
22	n = 637, stupeň 630 ot/min, vc = 19,8 m/min, vf = 0,15 · 630 = 94,5 → 95 mm/min, L = 20 + 3 = 23 mm, **t = 0,24 min, tedy 15 s**.

Správné odpovědi v testu

1	2	3	4	5	6	7
b	a	c	a	c	b	a

8	9	10	11	12	13	14
b	b	c	a	c	a	b

> **TIP**
> Když jsi v testu udělal chybu u výpočtu, vrať se ke kapitole 4. Když u bezpečnosti nebo závad, ke kapitole 8.

NA ZÁVĚR

11 Tahák, slovníček a zdroje

Všechny vzorce na jednom místě, vysvětlení pojmů, použité zdroje a vlastníci obrázků.

Všechny vzorce na jednom místě

Co počítáš	Vzorec	Příklad
Otáčky HSS	n = 20 000 / (3,14 · d)	Ø10: 637 ot/min
Otáčky karbid	n = 80 000 / (3,14 · d)	Ø10: 2 548 ot/min
Skutečná vc	vc = (3,14 · d · n) / 1000	Ø10 na 630 ot/min: 19,8 m/min
Posuv vrtáku	vf = f · n	0,15 · 637: 96 mm/min
Posuv frézy	vf = fz · z · n	0,05 · 4 · 2 986: 597 mm/min
Dráha vrtáku	L = hloubka + 0,3 · d	30 + 0,3 · 10: 33 mm
Strojní čas	t = L / vf	33 / 96: 0,34 min, 21 s

Slovníček

Pojem	Vysvětlení	Pojem	Vysvětlení
Fazetka	úzká plocha na obvodu vrtáku, vede ho v díře	**Předvrtání**	vrtání menším vrtákem před větším průměrem
HSS	rychlořezná ocel, houževnatá, dá se ostřit	**Stupeň otáček**	pevná hodnota otáček klasického stroje
Karbid	slinutý karbid, také tvrdokov nebo SK, tvrdý a křehký	**Strojní čas t**	čistý čas řezu
Mez stroje	nejvyšší nebo nejnižší otáčky, které stroj umí	**UOV**	učitel odborného výcviku

Pojem	Vysvětlení	Pojem	Vysvětlení
Náběh	dráha, kterou nástroj urazí, než začne řezat	**Vrcholový úhel**	úhel mezi hlavními břity, obvykle 118°
Nárůstek	materiál nalepený na břitu	**Výplach**	vyjíždění z díry kvůli třískám a kapalině
Navrtávák	krátký tuhý nástroj na přesný začátek díry	**vc, vf**	řezná rychlost v m/min, rychlost posuvu v mm/min
Přeběh	dráha za koncem průchozí díry	**f, fz, z**	posuv na otáčku, posuv na zub, počet zubů

Zdroje

- Zadání autora: n = (vc · 1000) / (3,14 · d), HSS 20 m/min a karbid 80 m/min. Hlavní pravidlo této příručky.
- Vlastní školní materiály: Teorie odborného výcviku pro 1. a 2. ročník, CNC soustruh. Rozmezí pro vrtáky HSS, slinutý karbid, tabulky pro soustružení a frézování, postup vrtání a závady.
- MAPAL, Cutting data recommendations for solid carbide drills, řada ECU-Drill Uni, https://shop.mapal.com/medias/sys_master/documents/hc6/hf8/9928427700254/ECU-Drill-Uni_EN/ECU-Drill-Uni-EN.pdf
- ISCAR, Drilling Handbook, Recommended Machining Conditions for Solid Carbide Drills, D = 0,8 až 2,9 mm, https://www.iscar.com/Catalogs/Publication/english_1/Drilling_Handbook/Drilling_Handbook_flipview/files/basic-html/page148.html
- Europa Tool, HSS & HSSCo Drilling, Cutting Data, https://www.protool-ltd.co.uk/cdn/shop/files/810504_cutting_data.pdf
- University of Florida, EML2322L Drilling Speeds and Feeds. Rychlosti jsou podle dokumentu zkrácená verze údajů z Machinery's Handbook, https://web.mae.ufl.edu/designlab/Lab%20Assignments/EML2322L-Drilling%20and%20Milling%20Speeds%20and%20Feeds.pdf
- Závazné hodnoty pro konkrétní nástroj jsou v jeho katalogu. Všechny tabulky a výsledky jsou spočítané programem s 3,14.
- Skutečné obrázky mají vlastníka uvedeného pod obrázkem a v tabulce níže. Schémata a grafy bez uvedeného vlastníka jsou vlastní zpracování.

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obálka	JJ Harrison (https://www.jjharrison.com.au/), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSS_Twist_Drill_into_Aluminium_with_Lubricant.jpg
Obálka	Hardyplants, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Induction_motor_drill_press.jpg
Obr. 1.2	Emrys2, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drill_set_1.jpg

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obr. 1.4	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DrillsMorseTaperShank1234.jpg
Obr. 5.1	Hardyplants, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Induction_motor_drill_press.jpg
Obr. 7.2	Greudin, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour-chariotage-couteau.jpg
Obr. 7.3	Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie
Obr. 7.6 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterSlotEndMillBallnose.jpg
Obr. 7.6 vpravo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterCarbideTippedFaceMill-INT40.jpg
Obr. 8.2 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChuckDrillKeyedKeylessArbor.jpg
Obr. 8.2 vpravo	Germ Halter, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maschinenschraubstock_DDR_Ansicht_von_oben.jpg
Obr. 8.4	JJ Harrison (https://www.jjharrison.com.au/), Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSS_Twist_Drill_into_Aluminium_with_Lubricant.jpg
Obr. 8.5 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SwarfSamples.jpg
Obr. 8.5 vpravo	Niharsd.mech, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_chip.jpg
Obr. 8.6	značky podle ISO 7010, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), například https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ISO_7010_M004.svg
Obr. 8.7	Jacek Halicki, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2023_Okulary_ochronne_(1).jpg

PAMATUJ

Tento materiál vysvětluje obecné základy a nenahrazuje školení, návod ke stroji, katalog nástroje ani pokyny UOV. Hodnoty a možnosti vždy ověř na konkrétním stroji.

TIP

Obrázky jsou použité podle licencí uvedených u každého z nich a patří svým vlastníkům. Před použitím mimo výuku si ověř podmínky jejich licence.