TEORIE ODBORNÉHO VÝCVIKU

2. ročník

Soustružení a frézování: klasicky i CNC. Teorie řezání, druhy obrábění a strojů, základy programování a přesné měření.





Fotografie strojů: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0

Teorie k odbornému výcviku pro žáky oboru Obráběč kovů. Obsahuje postupy, výpočty, ukázky programů, otázky a řešení.

Odborný výcvik
Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů

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

Obsah

ZAČÍNÁME

1 Co tě ve 2. ročníku čeká **3**
Bezpečnost na CNC stroji · Klasické a CNC obrábění · Příprava výroby

TEORIE OBRÁBĚNÍ

2 Teorie řezání a nástroje **5**
Úhly břitu · Řezné podmínky · Tříska · Řezné kapaliny · Materiály nástrojů · Vyměnitelné břitové destičky · Opotřebení nástroje · Trvanlivost · Orientační řezné podmínky

SOUSTRUŽENÍ A FRÉZOVÁNÍ

3 Soustružení: rozdělení, stroje, klasická práce **13**
Rozdělení podle práce · Druhy soustruhů · Upínání · Nože · Kužel · Závity · Drsnost · Vnitřní soustružení · Upichování a zápichy · Postup na klasickém soustruhu · Chyby

4 Frézování: rozdělení, stroje, klasická práce **23**
Rozdělení podle práce · Sousledné a nesousledné · Druhy frézek · Frézy · Přesné ustavení · Dělicí hlava · Drážka pro pero · Upínání · Výběr frézy · Šestihran na dělicí hlavě · Chyby

KLASICKÝ STROJ A CNC

5 Klasický stroj a CNC: v čem je rozdíl **32**
Srovnání strojů · Kdy je výhodnější který stroj · Co zůstává na tobě

6 Základy CNC **34**
Osy na soustruhu a frézce · Důležité body · Program · Ukázky Mikroprog S a F · Korekce · Postup práce · Režimy · Oblouky · Posuvy a otáčky · Mikroprog a Heidenhain · Obrys a tabulka bodů · Chyby začátečníků

PŘESNOST

7 Měření a tolerance **44**
Další měřidla · Tolerance a uložení · Drsnost · Geometrické požadavky · Úchylkoměr v praxi · Čtení tolerancí · Stupně IT · Měření závitu · Měření přesných děr

PROCVIČENÍ A OVĚŘENÍ

8 Řešené úlohy a materiály v praxi **49**
Obrábění různých materiálů · Úlohy 1 až 7 · Stejný díl klasicky a na CNC · Vzájemná poloha ploch · Ekonomika v dílně

9 Kontrolní otázky a řešení **52**
Otázky · Řešení · Slovníček · Zdroje

JAK SE S MANUÁLEM UČIT

1. Kapitoly 2 až 4 platí pro klasické i CNC obrábění.
2. Než si otevřeš kapitolu 6, měj jasno v řezných podmínkách.
3. Výpočty si počítej sám a teprve potom kontroluj.
4. Podrobné postupy pro Mikroprog a Heidenhain najdeš v jejich samostatných manuálech.

Pořadí témat a hodnoty pro konkrétní stroj určuje UOV podle školní osnovy.

1

ZAČÍNÁME

1 Co tě ve 2. ročníku čeká

Co tě v ročníku čeká, bezpečnost na CNC stroji a podklady, které se připravují před obráběním.

V prvním ročníku ses naučil pracovat rukama a na klasických strojích. Teď pochopíš, proč obrábění funguje, jaké jsou druhy soustružení a frézování a jak se stejná práce dělá na CNC stroji. Předpokládá se, že umíš číst měřidla a znáš základní bezpečnost z 1. ročníku.

Téma	Co budeš umět	Kapitola
Teorie řezání	vysvětlit řezný klín, zvolit nástroj a řezné podmínky	2
Soustružení	rozlišit druhy a stroje, klasicky obrobit kužel a závit	3
Frézování	rozlišit druhy a stroje, použít dělicí hlavu	4
Klasický a CNC stroj	říct, kdy se hodí který, a co se mění pro obsluhu	5
Základy CNC	orientovat se v osách, přečíst a napsat jednoduchý program	6
Měření a tolerance	použít přesná měřidla a pochopit uložení	7
Řešené úlohy	spočítat a porovnat postup na reálných příkladech	8
Kontrolní otázky	ověřit si znalosti a zkontrolovat se podle řešení	9

Bezpečnost na CNC stroji

- Platí všechna pravidla z 1. ročníku. Stroj navíc jede sám a velmi rychle, rychloposuvem to může být metry za minutu.
- Program spouštěj jen se svolením UOV a **po kontrole v simulaci**.
- Při prvním spuštění použij provoz po blocích a sníž posuvy potenciometrem.
- Ruku měj u tlačítka STOP. Sleduj, kam stroj jede, a počítej s tím, že chyba v jediném čísle znamená kolizi.
- Kryty a dveře nevyřazuj. Do pracovního prostoru nesahej, dokud se stroj nezastaví.
- Před výměnou nástroje vždy vyjeď do bezpečné polohy.

POZOR

Kolize na CNC stroji se stane rychleji, než stihneš zareagovat. Nejdůležitější ochrana je příprava: správná nula, správné korekce, simulace.

Klasické a CNC obrábění: dvě cesty ke stejnému dílu

Díl z výkresu můžeš vyrobit klasicky, nebo na CNC. Obě cesty mají stejný základ: čtení výkresu, upnutí, řezné podmínky a měření. Liší se tím, kdo řídí pohyb.

- **Klasický stroj**: rozhoduješ se průběžně. Slyšíš řez, vidíš třísku a hned reaguješ. Každý kus ale závisí na tobě.
- **CNC stroj**: rozhoduješ se předem, do programu. Pak hlídáš, jestli vše běží podle plánu, a měříš.



Obr. 1.1 Dvě cesty ke stejnému dílu: klasický soustruh v dílně s kolečky a pákami pro ruční ovládání (vlevo) a uzavřené CNC soustružnické centrum Haas s panelem řízení na univerzitě Penn State (vpravo). Ani jeden z nich není školní stroj. *Vlastník obrázku: vlevo Claude villetaneuse, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CFBS_-_Tour_fabriqué_par_Cazeneuve.JPG; vpravo Nathaniel C. Sheetz, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Small_CNC_Turning_Center.jpg*

Příprava výroby

Než se začne obrábět, je potřeba připravit podklady. Tohle platí pro oba způsoby:

Podklad	Co v něm je	Kdo ho používá
Výkres	tvar, rozměry, tolerance, materiál	všichni
Technologický postup	pořadí operací, stroje, nástroje, řezné podmínky	obsluha, seřizovač
Seřizovací list	nástroje, upnutí, nula, korekce	seřizovač a obsluha CNC
NC program	dráhy nástrojů pro konkrétní stroj	CNC stroj
Kontrolní plán	co, jak často a čím měřit	obsluha a kontrola

CO SI ZAPAMATOVAT

- Klasický stroj i CNC mají stejný základ: čtení výkresu, upnutí, řezné podmínky a měření.
- Na klasickém stroji se rozhoduješ průběžně, na CNC předem, do programu.
- Program spouštěj jen se svolením UOV a po kontrole v simulaci.
- První spuštění dělej po blocích se sníženým posuvem a s rukou u tlačítka STOP.

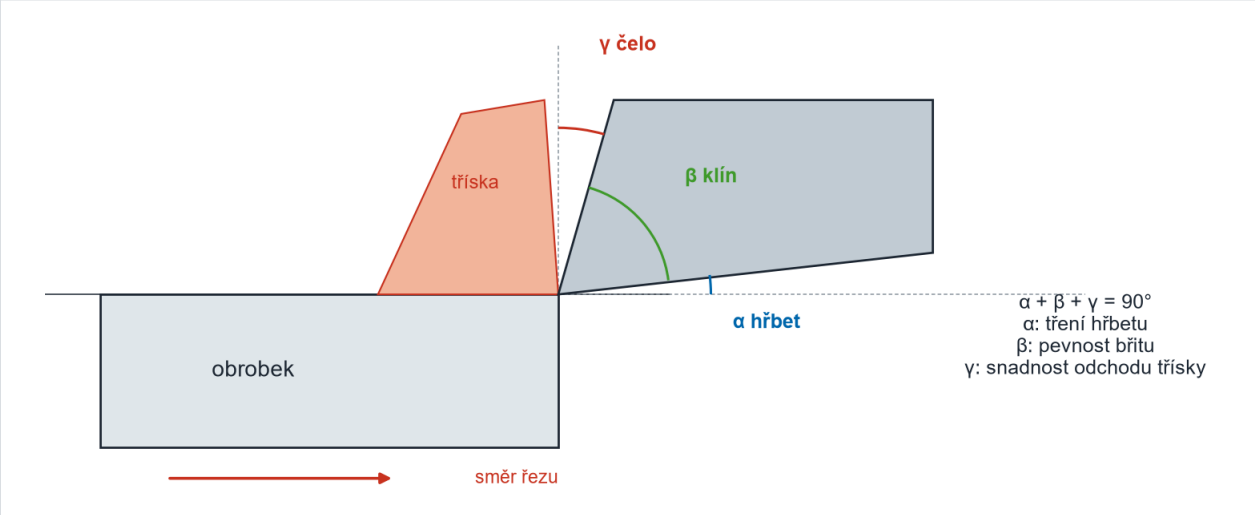
2

TEORIE OBRÁBĚNÍ

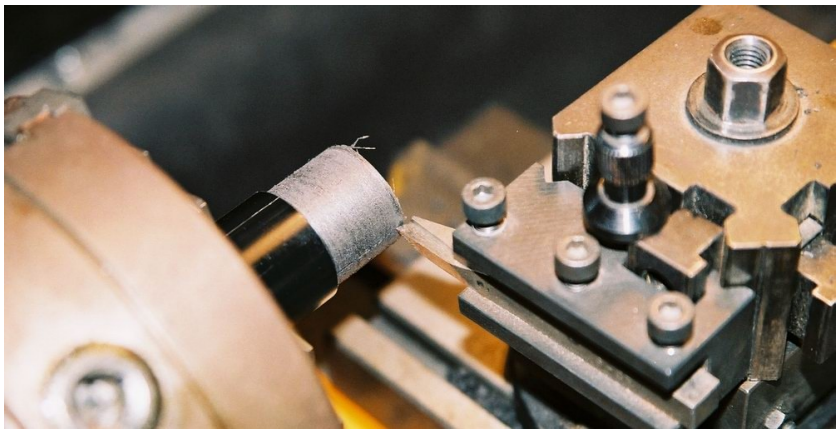
Teorie řezání a nástroje

Řezný klín a jeho úhly, řezné podmínky, tříska, kapaliny, materiály nástrojů, destičky a opotřebení.

Všechny nástroje, od pilníku po frézu, fungují na stejném principu: **břit ve tvaru klínu** se zařezává do materiálu a odděluje třísku.



Obr. 2.1 Řezný klín a jeho úhly.



Obr. 2.2 Nůž upnutý v nožové hlavě při podélném soustružení.
Vlastník obrázku: Greudin, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour-chariotage-couteau.jpg

Úhly břitu

Úhel	Název	Co ovlivňuje
α	úhel hřbetu	aby hřbet nástroje netřel o obrobek, malý: 5° až 12°
β	úhel břitu	pevnost břitu: větší β vydrží víc, ale řeže hůř
γ	úhel čela	jak snadno tříska odchází: velký pro měkké, malý nebo záporný pro tvrdé materiály

Řezné podmínky

n = (1000 · vc) / (π · d)	otáčky, ot/min
vf = f · n	soustružení, posuv mm/min
vf = fz · z · n	frézování, posuv mm/min

vc	řezná rychlost (m/min)
f	posuv na otáčku (mm/ot)
fz	posuv na zub (mm/zub)
z	počet zubů
ap	hloubka řezu (mm)

Příklad

Soustružení Ø50, destička z tvrdokovu, ocel C45, vc = 180 m/min, f = 0,25 mm/ot. Otáčky: **n = 180 000 / (3,14 · 50) = 1146 ot/min**. Posuv: **vf = 0,25 · 1146 = 287 mm/min**.

Tříska

- **Dlouhá stuha** je nebezpečná a omotává se. Pomůže větší posuv nebo jiný utvářeč na destičce.
- **Krátká spirálka, písmeno C nebo 6** je ideál.
- **Modrá tříska** u oceli je známka vysoké teploty. Při obrábění tvrdokovem je běžná, u nástroje HSS je příliš mnoho.
- **Nárůstek** je materiál přilepený na břitu. Zhoršuje povrch a řeší se vyšší vc nebo ostřejším břitem.



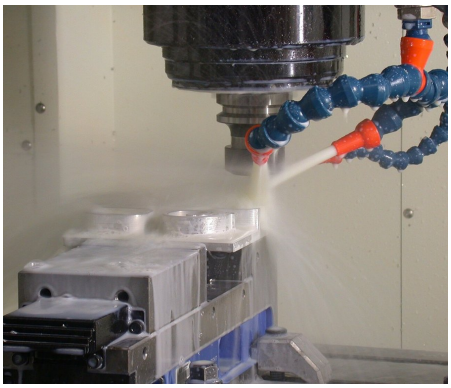
Obr. 2.3 Dlouhá tříska vzniklá při soustružení.
Vlastník obrázku: Niharsd.mech, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_chip.jpg



Obr. 2.4 Vzorky třísek různých tvarů a blok slisovaných třísek.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SwarfSamples.jpg

Řezné kapaliny

Emulze hlavně chladí a odplavuje třísky, olej víc maže. Litina se obvykle obrábí za sucha. Kapalina dráždí pokožku, proto si ruce po práci umyj a ošetři krémem. Emulze se nesmí vylévat do odpadu.



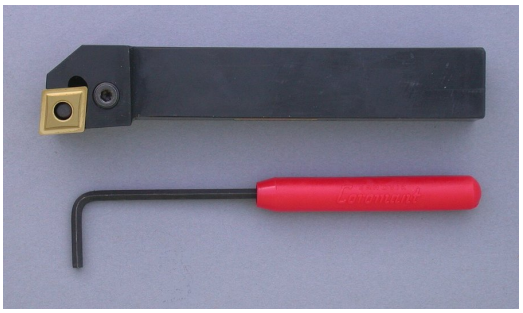
Obr. 2.5 Obráběcí centrum Makino S33: řezná kapalina stříká z trysek přímo k nástroji.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Makino-S33-MachiningCenter-example.jpg

Materiály nástrojů

Materiál	Označení	Vlastnosti	Typické vc na oceli
Rychlořezná ocel	HSS	houževnatá, dá se ostřit, snese menší teploty	20 až 40 m/min
Slinutý karbid	SK, tvrdokov	tvrdý, odolný teplu, křehčí, většinou s povlakem	120 až 300 m/min
Cermet	CT	velmi dobrý povrch při dokončování	200 až 400 m/min
Keramika a CBN	CA, BN	kalené oceli a litiny, velmi vysoké rychlosti	dle výrobce

Vyměnitelné břitové destičky

Místo ostření se destička pootočí nebo vymění. Označení podle ISO říká, jak vypadá. Například:

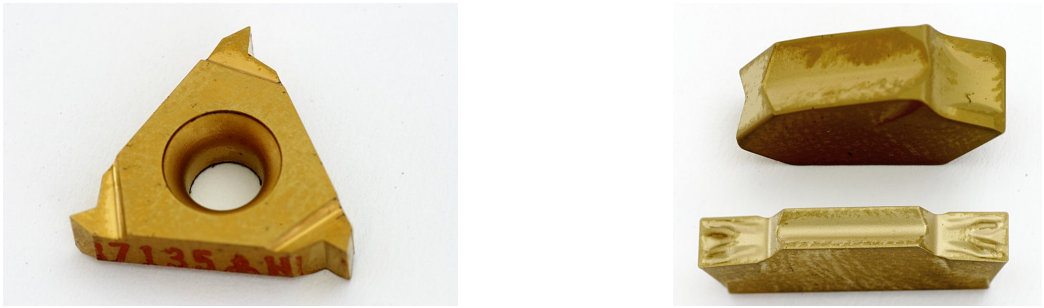


Obr. 2.6 Soustružnický nůž s držákem, destičkou z tvrdokovu a klíčem na její upnutí.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LatheCarbideTippedTool.jpg

Znak	Příklad	Význam
1. tvar	C	kosočtverec 80°. Dále S čtverec, T trojúhelník, D kosočtverec 55°, V 35°, R kruhová
2. úhel hřbetu	N	0°, negativní destička. Kladný hřbet například C = 7°
3. tolerance	M	přesnost rozměrů destičky
4. typ	G	s dírou a utvářečem na obou stranách
5. velikost	12	délka hrany přibližně 12 mm
6. tloušťka	04	přibližně 4,76 mm
7. rádius špičky	08	0,8 mm



Obr. 2.7 Destičky podle práce při soustružení: pro dokončování (vlevo) a pro hrubování (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteSchlicht.jpg; vpravo Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteSchrupp.jpg



Obr. 2.8 Destička pro soustružení závitů (vlevo) a destičky pro zapichování (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteGewinde.jpg; vpravo Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteStech.jpg

Označení z příkladů dohromady je **CNMG 120408**. Výrobci navíc označují skupiny materiálů barvou:

Skupina	Barva	Materiál
P	modrá	ocel
M	žlutá	korozivzdorná ocel
K	červená	litina
N	zelená	hliník a neželezné kovy
S	oranžová	žárovzdorné slitiny, titan
H	šedá	kalené materiály

Opotřebení nástroje



Obr. 2.9 Hlavní druhy poškození břitu.

Poškození	Jak vypadá	Příčina	Co udělat
Hřbetní opotřebení	rovnoměrná plocha na hřbetu	běžné stárnutí břitu, velká vc	vyměnit břit, snížit vc
Výmol na čele	prohlubeň za břitem	vysoká teplota	snížit vc, povlak
Vyštípnutí	drobné ulomené kousky	rázy, chvění, křehký břit	houževnatější materiál, tuhost
Lom	ulomený roh	přetížení, velký posuv	menší f a ap, kontrola upnutí
Nárůstek	přilepený materiál	malá vc, lepivý materiál	zvýšit vc, ostřejší břit, chlazení
Plastická deformace	stlačená špička	přehřátí	snížit vc, odolnější materiál

Trvanlivost a volba podmínek

Trvanlivost je čas, po který břit řeže, než je nutné ho vyměnit. Nejvíc ji ovlivňuje řezná rychlost, potom posuv a nejméně hloubka řezu. Když potřebuješ víc výkonu, zvětšuj nejdřív hloubku, pak posuv, a řeznou rychlost nech na konec.

Co dělat, když...

Problém	První krok	Další krok
Špatný povrch	zmenšit posuv, větší rádius	zkontrolovat vc a ostrost
Chvění	kratší vyložení, jiné otáčky	menší ap, tužší upnutí
Rychlé opotřebení	snížit vc	jiný povlak, přidat chlazení
Dlouhé třísky	větší posuv	jiný utvářeč

Orientační řezné podmínky 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

PAMATUJ

U stopkových fréz menších průměrů se bere posuv na zub podstatně menší, například 0,01 až 0,05 mm. Řiď se tabulkou výrobce.

Úhel nastavení a tvar nástroje

Úhel nastavení hlavního ostří říká, jak je břit natočený vůči obrobku. Menší úhel rozkládá sílu na delší část břitu, větší úhel je šetrnější k štíhlým dílům, protože méně tlačí do strany. Nůž s úhlem 90° zvládne osazení do rohu. Velký rádius špičky dává lepší povrch a větší pevnost, ale tlačí víc a u štíhlých dílů zvyšuje chvění.

Tepelné poměry

Většina tepla odchází s třískou, část do nástroje a jen menší část do obrobku. Čím rychleji tříska odchází, tím lépe. Přerušovaný řez při frézování zatěžuje břit tepelnými rázy. U tvrdokovu je proto někdy lepší pracovat bez nárazového chlazení.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Všechny nástroje fungují stejně: břit ve tvaru klínu se zařezává do materiálu a odděluje třísku.
- Otáčky spočítáš jako n = (1000 · vc) / (π · d). Posuv je vf = f · n při soustružení a vf = fz · z · n při frézování.
- Ideální je krátká spirálka, písmeno C nebo 6. Dlouhá stuha je nebezpečná a omotává se.
- Označení destičky podle ISO říká, jak vypadá. Například CNMG 120408 je kosočtverec 80°, hřbet 0°, hrana 12 mm.
- Trvanlivost nejvíc ovlivňuje řezná rychlost, potom posuv a nejméně hloubka řezu.

3

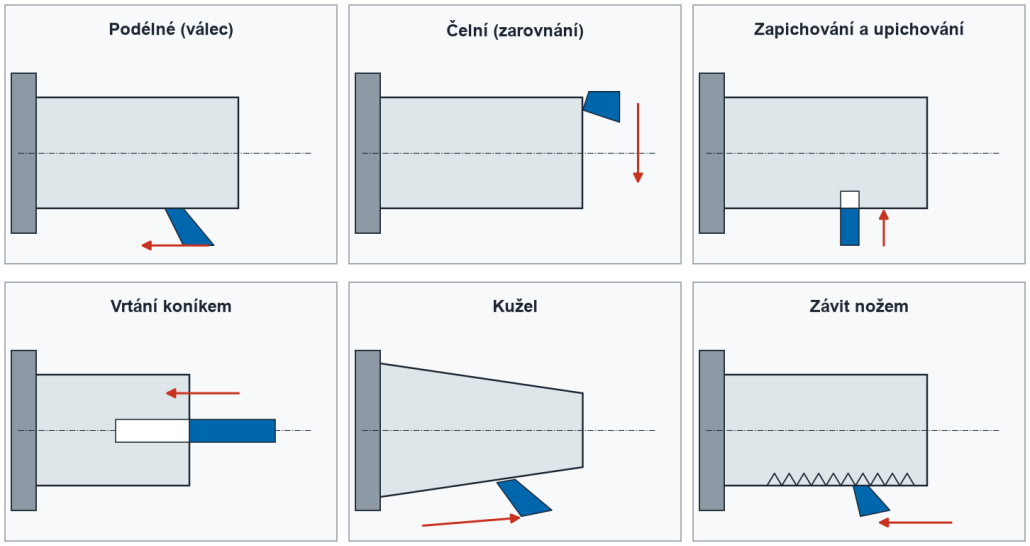
SOUSTRUŽENÍ A FRÉZOVÁNÍ

Soustružení: rozdělení, stroje, klasická práce

Rozdělení soustružení, druhy soustruhů od hrotového po CNC, upínání, nože, kužel, závit a postup na klasickém stroji.

Soustružení je obrábění rotačních ploch. Obrobek koná hlavní pohyb, otáčí se. Nástroj koná posuv. Rozdělit se dá podle plochy, kterou vyrábíš, podle přesnosti i podle stroje.

Rozdělení podle práce



Obr. 3.1 Podle plochy: podélné, čelní, zapichování a upichování, vrtání koníkem, kužel a závit nožem.

Hledisko	Druhy
Podle plochy	vnější, vnitřní, čelní, kuželové, tvarové, závitové, zapichování a upichování
Podle přesnosti	hrubování a dokončování
Podle směru posuvu	podélné (osa Z), příčné (osa X), kombinované u kužele a rádiusu
Podle řízení	ruční (klasické), řízené programem (CNC)

Druhy soustruhů

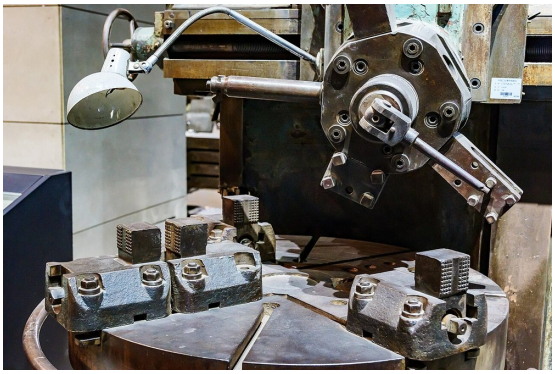
Soustruh	Popis	Použití
Hrotový	klasický univerzální, ruční ovládání	kusová výroba, opravy, škola
Čelní	velký průměr, krátký díl	kotouče, příruby
Svislý (karusel)	osa svisle, obrobek leží na desce	velmi těžké a velké díly
Revolverový	více nástrojů v revolverové hlavě	menší série
Automat	sám podává tyč a vyměňuje nástroje	velké série malých dílů
CNC 2osý	osy X a Z, revolver, program	běžná malá a střední výroba
CNC s poháněnými nástroji	navíc osa C, případně Y	díly s frézováním a příčnými děrami
CNC s protivřetenem	druhé vřeteno převezme díl	kompletní obrobení na jedno upnutí
Dlouhotočný	materiál se posouvá vodicím pouzdrem	dlouhé a štíhlé přesné díly



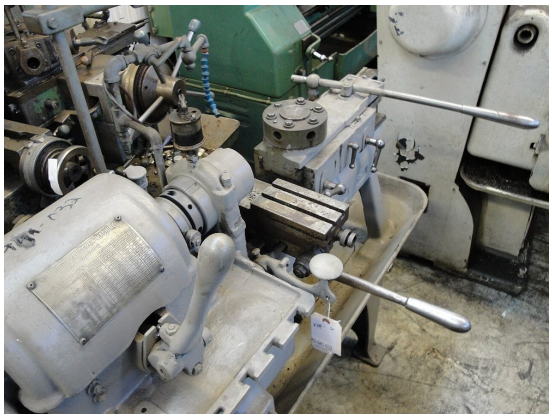
Obr. 3.2 Klasický hrotový soustruh Weiler Condor VS, rok výroby 1975, s ručním ovládáním. Úplně vpravo je odložená luneta.
Vlastník obrázku: MacGyver2000, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Condorvs.jpg



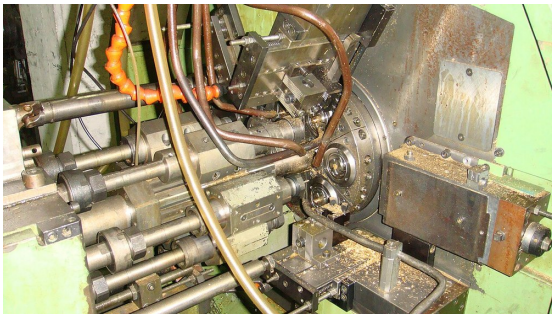
Obr. 3.3 Soustruh s velkou upínací deskou, na kterém se podle popisu souboru vyráběly setrvačníky: velký průměr, krátký díl.
Vlastník obrázku: Work With Sounds, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metal_lathe_used_to_produce_flywheels.JPG



Obr. 3.4 Jednostojanový svislý soustruh C512. Obrobek se upíná na vodorovnou desku s čelistmi, nástroj přichází shora.
Vlastník obrázku: TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C512_single-column_vertical_lathe_20260331130236.jpg



Obr. 3.5 Ručně ovládaný revolverový soustruh Brown & Sharpe No. 1. Nástroje čekají v revolverové hlavě na suportu.
Vlastník obrázku: Three-quarter-ten, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brown_and_Sharpe_No_1_wire_feed_screw_machine_001.jpg



Obr. 3.6 Pracovní prostor vícevřetenového automatu. Na jednom stroji je několik vřeten a suportů najednou.
Vlastník obrázku: Dispossessed1974, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multi_spindle_lathe_2.JPG



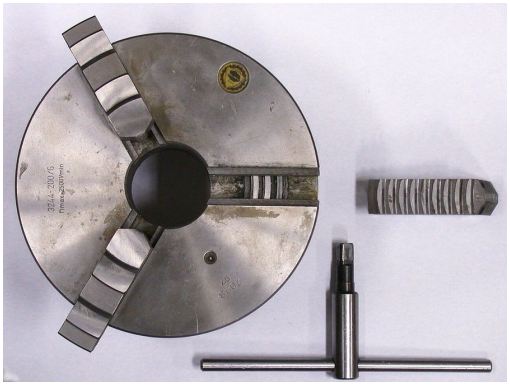
Obr. 3.7 Uzavřený CNC soustruh Kent USA KLS-1840N s řízením FANUC.
Vlastník obrázku: Mike Zielinski, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kent_USA_KLS-1840N_CNC_Lathe.jpg



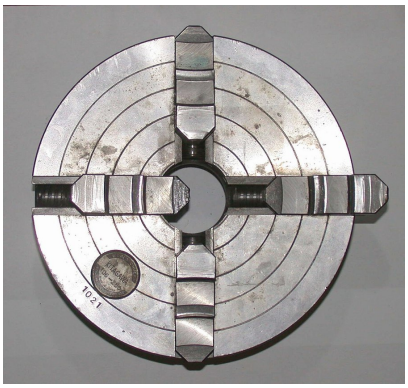
Obr. 3.8 Víceúčelový stroj Okuma MULTUS U3000 s automatickou výměnou nástrojů: jeden stroj pro soustružení i frézování.
Vlastník obrázku: Whoisjohngalt, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Okuma_MULTUS_U3000_multi-tasking_machine_with_automatic_tool_changer_2.jpg

Upínání na soustruhu

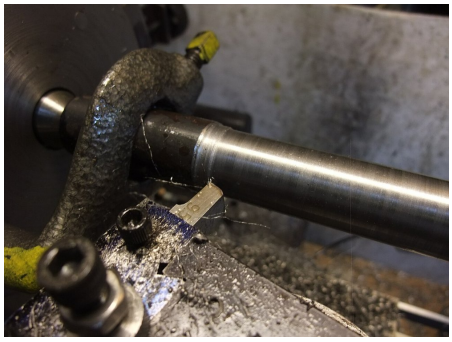
Upínač	Kdy se použije
Tříčelisťové sklíčidlo	kulatina a šestihran, samo vystředí
Čtyřčelisťové sklíčidlo	čtyřhrany a nesouměrné díly, každá čelist se stavuje zvlášť
Mezi hroty s unášečem	díly, kde musí být osy souosé i po přeupnutí
Hrot koníku	podepření dlouhého dílu
Luneta	podepření velmi štíhlého dílu po délce
Upínací pouzdro (kleštiny)	přesné a časté upínání malých průměrů



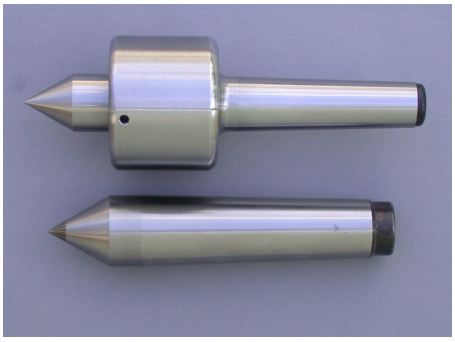
Obr. 3.9 Tříčelisťové sklíčidlo s klíčem. Jedna čelist je vyndaná a otočená, aby byly vidět zuby, které ji posouvají.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ThreeJawChuckKey.jpg



Obr. 3.10 Čtyřčelisťové sklíčidlo: každá čelist je nastavená jinak, protože se stavuje zvlášť.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FourJawChuckIndependent.jpg



Obr. 3.11 Unášeč při soustružení mezi hroty: přenáší otáčení na tyč, která leží mezi hroty.
Vlastník obrázku: David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathe_Dog_in_Use.jpg



Obr. 3.12 Hroty do koníku: otočný (nahoře) a pevný (dole).
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CenterLiveDead.jpg

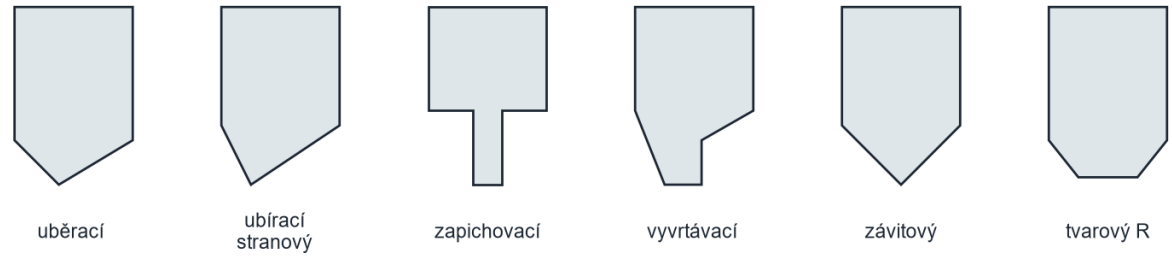


Obr. 3.13 Upínací kleština ER s rozsahem upnutí 10 až 9 mm.
Vlastník obrázku: Aweber4418, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ER_Collet.jpg

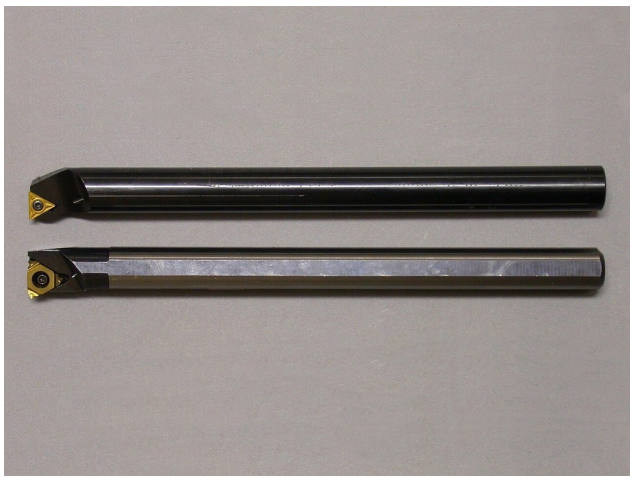
PAMATUJ

U dlouhého štíhlého dílu platí orientační pravidlo: při délce nad trojnásobek průměru podepři koníkem, nad desetinásobek lunetou. Řiď se pokynem UOV.

Nože a jejich použití

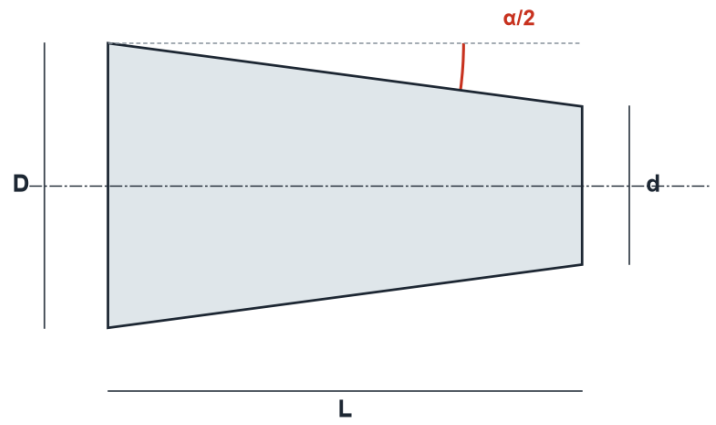


Obr. 3.14 Tvar nože volíš podle plochy. Vnitřní průměry vyžadují vyvrtávací nůž.



Obr. 3.15 Vyvrtávací tyče s břitovými destičkami, pro vnitřní soustružení a vnitřní závity.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LatheCarbideTippedBoringThreadingBars.jpg

Soustružení kužele



tan(α/2) = (D − d) / (2·L)

kuželovitost C = (D − d) / L

D = 30, d = 26, L = 40:
tan(α/2) = 4 / 80 = 0,05
α/2 = 2,86°

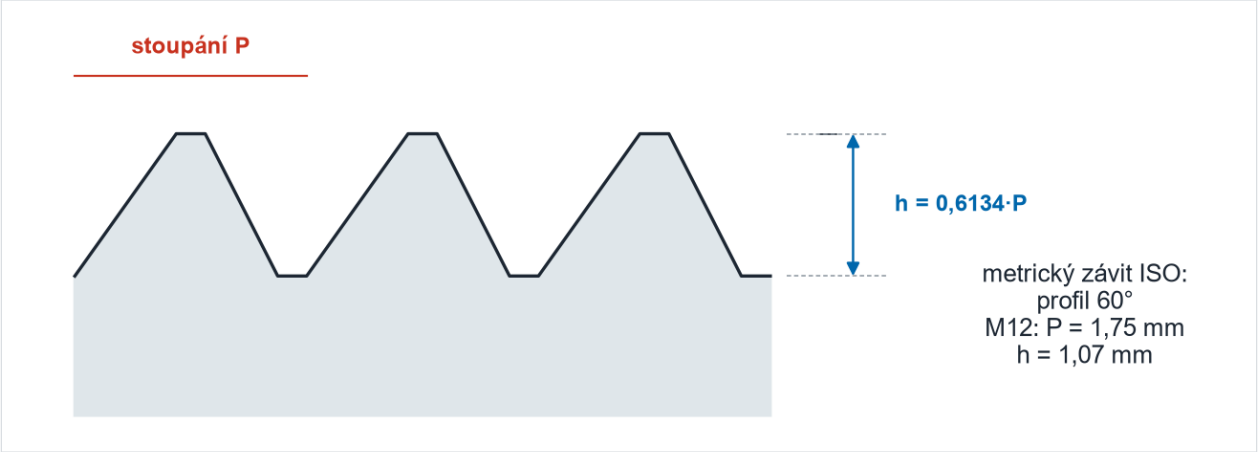
Obr. 3.16 Základní výpočet kužele.

Na klasickém soustruhu je možné kužel vyrobit několika způsoby:

Způsob	Jak	Kdy
Natočením nožového suportu	suport natočíš o úhel α/2 a posouváš ručně	krátké kužele, jakýkoli úhel
Vyosením koníku	koník posuneš o **e = (D − d) · Lc / (2·L)**, Lc je celá délka	dlouhé kužele s malým úhlem, mezi hroty
Kopírovacím pravítkem	nůž vede vodítko pod úhlem	přesné a opakované, pokud to stroj má
Širokým nožem	břit je natočený o α/2	velmi krátké kužele a sražení

Příklad: D = 30, d = 26, L = 40, celá délka obrobku Lc = 120 mm. Vyosení koníku **e = (30 − 26) · 120 / (2 · 40) = 6 mm**.

Závity na klasickém soustruhu



Obr. 3.17 Metrický závit: profil 60°, hloubka závisí na stoupání.

1. Přichystej závitový nůž a nastav ho podle šablony kolmo k ose.
2. Nastav na posuvové skříni stoupání podle tabulky na stroji. Zapojuje se vodicí šroub.
3. Otáčky vol nízké, abys stihl zastavit. Obrobek sraz na začátku, na konci má být zápich.
4. Naškrábni povrch, vynuluj dílek a odjeď. Po každém řezu se vrať na začátek zpětným chodem s maticí stále zapnutou. Kdo matici vypíná, musí použít závitové hodiny.
5. Řež po malých třískách, hloubka celkem je asi 0,6134 × P. Na konci odjeď a vrať se zpětným chodem.
6. Kontroluj závitovým kroužkem nebo protikusem.

> **POZOR**
> Při zapnutém vodicím šroubu se suport pohybuje rychle a nepřestane sám. Nikdy nepřejeď konec závitu ke sklíčidlu.

Drsnost povrchu při soustružení

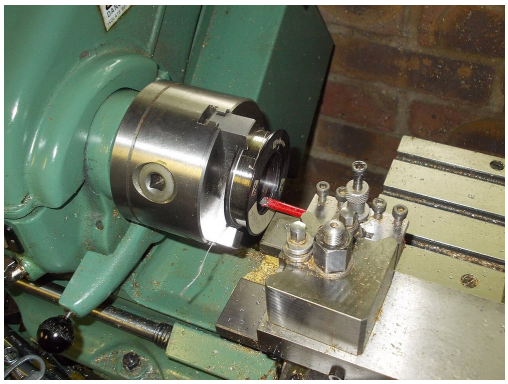
Povrch určuje zejména posuv a rádius špičky. Zhruba platí **Rz ≈ f² / (8 · r)**. Příklad: f = 0,2 mm/ot, r = 0,8 mm dává Rz asi 6,3 µm, tedy Ra okolo 1,6 µm. Při dokončování proto sniž posuv, ne otáčky.

Části CNC soustruhu oproti klasickému

Část	Klasický	CNC
Vřeteno	převodovka, stupně otáček	měnič a plynulé otáčky, snímač polohy
Suport	kolečka, pohybový šroub	servomotory a kuličkový šroub
Nástroje	nožová hlava po jednom až čtyřech	revolver s mnoha místy
Koník	ruční	často programovatelný
Kryt	jen chránič sklíčidla	celý uzavřený prostor se spínači
Třísky	ručně	dopravník třísek

Vnitřní soustružení

- Díra se nejdřív předvrtá. Vyvrtávací tyč musí projít a mít prostor pro třísky.
- Tyč je štíhlá, proto kmitá. Vyložení co nejkratší, ap a f menší než na vnějším průměru.
- Špička je v ose. U vnitřního soustružení je to obráceně než zvenku: níž vznikne tření hřbetu, výš horší řez.
- Kontrola dutinoměrem. Pozor na kuželovitost: díra bývá u dna užší.



Obr. 3.18 Vyvrtávání středové díry cívky: nůž na vyvrtávání (červeně označený) je upnutý v nožové hlavě, díl ve sklíčidle.
Vlastník obrázku: tony_duell, Wikimedia Commons, licence CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boring_Spool_Hole.jpg

Upichování a zápichy

- Zápich je úzká drážka, například pro výběh závitu nebo pojistný kroužek.
- Břit je úzký a slabý, proto malé vyložení, stálý posuv a dost chlazení.
- Při upichování se díl uvolní. Nesmí spadnout na nástroj, používej jímku nebo chyť ho po zastavení.

Tvarové plochy

Na klasickém soustruhu se rádius vyrábí tvarovým nožem, ručním vedením obou koleček podle šablony nebo kopírovacím zařízením. CNC projede oblouk přesně funkcí G2 nebo G3. Proto je složitější tvar na CNC rychlejší i přesnější.

Postup na klasickém soustruhu: čep s kuželem a závitem

Polotovar Ø35 × 105, díl Ø30 × 100 s kuželem a závitem M16 na konci.

1. Upni, zarovnej čelo, navrtej středicí důlek.
2. Otoč, zarovnej na délku 100, navrtej.
3. Mezi hroty nebo s koníkem hrubuj Ø30,5 a Ø16,5.
4. Natoč nožový suport podle výpočtu a soustruž kužel.
5. Zapichni výběh závitu.
6. Dokonči Ø30 a Ø15,8 pro závit, sraz hrany.
7. Řež závit nožem po malých přísuvech, kontroluj kroužkem.
8. Změř všechny rozměry a odjehli.

Chyby na klasickém soustruhu

Chyba	Příčina	Co s tím
Kuželový válec	koník není v ose, díl se odtlačuje	seřídit koník, podepřít
Rozdrcený závit	špatné nastavení, nůž není kolmo	šablona, kontrola stoupání
Rozměr se nedaří trefit	vůle v kolečku, tupý nůž	najíždět jedním směrem, naostřit
Stopy po čelistech	tvrdé čelisti na hotové ploše	měkké vložky, plech

CO SI ZAPAMATOVAT

- Soustružení se dělí podle plochy, přesnosti, směru posuvu a podle řízení: ruční (klasické), nebo řízené programem (CNC).
- Podle práce a velikosti dílu volíš stroj: od hrotového soustruhu pro kusovou výrobu po automat pro velké série.
- Kužel vyrobíš natočením suportu, vyosením koníku, kopírovacím pravítkem nebo širokým nožem.
- Hloubka závitu je asi 0,6134 × P. Řež po malých třískách a kontroluj kroužkem nebo protikusem.
- Při dokončování kvůli drsnosti snižuj posuv, ne otáčky.

4

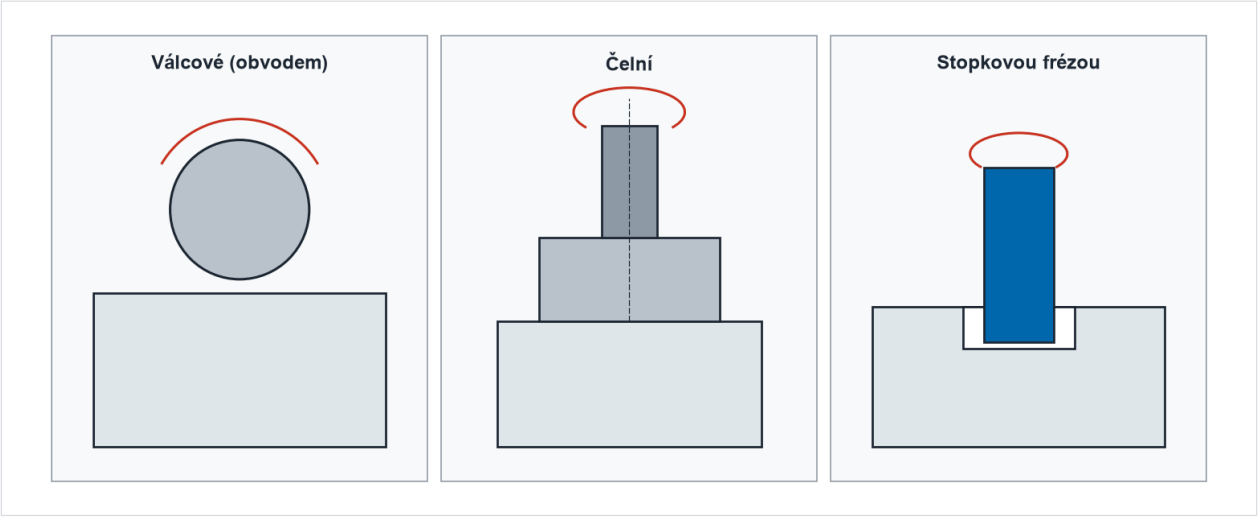
SOUSTRUŽENÍ A FRÉZOVÁNÍ

Frézování: rozdělení, stroje, klasická práce

Rozdělení frézování, sousledný a nesousledný řez, druhy frézek od konzolové po CNC, frézy a dělicí hlava.

Při frézování koná hlavní pohyb nástroj s více zuby a obrobek nebo vřeteník koná posuv. Každý zub řeže jen část otáčky, takže je řez přerušovaný. Vznikají roviny, drážky, kapsy a složité tvary.

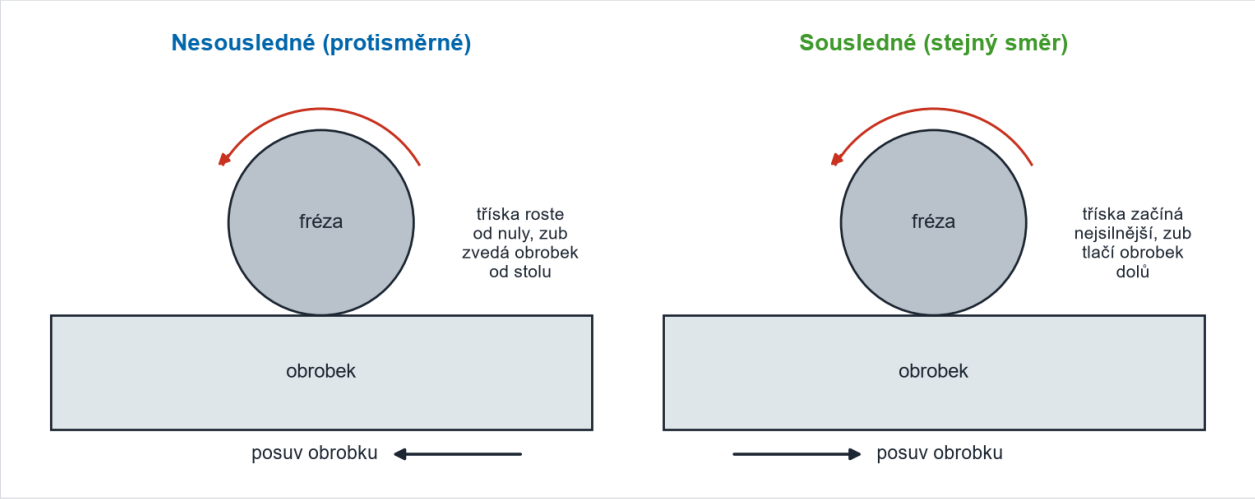
Rozdělení podle práce



Obr. 4.1 Podle toho, která část frézy řeže.

Hledisko	Druhy
Podle části frézy	válcové (obvodem), čelní (čelem), okružní (obvodem i čelem)
Podle směru	sousledné a nesousledné
Podle tvaru	rovinné, drážek, tvarové, závitů, vrtání a vyvrtávání
Podle řízení	ruční (klasické), řízené programem (CNC)

Sousledné a nesousledné



Obr. 4.2 Pro pravotočivé vřeteno (M3).

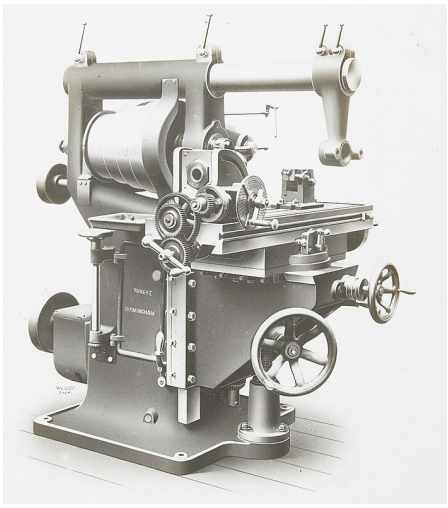
	Nesousledné	Sousledné
Začátek řezu	tříska začíná na nule, zub se tře	tříska začíná nejsilnější
Povrch a životnost	horší povrch, kratší trvanlivost	lepší povrch, delší trvanlivost
Síla na obrobek	zvedá ho od stolu	tlačí ho na stůl
Stroj	klasické frézky s vůlí	CNC bez vůle, běžná volba

Druhy frézek

Frézka	Popis	Použití
Konzolová svislá	stůl na konzole, svislé vřeteno	kusová výroba, škola
Konzolová vodorovná	vodorovné vřeteno, trn	válcové a kotoučové frézy
Univerzální	otočný stůl a výměnná hlava	všestranná práce, dělení
Stolová	stůl přímo na loži, těžší	větší a těžké díly
Rovinná a portálová	velký stůl a portál	velké rámy a desky
CNC 3osá	řízené osy X, Y, Z, zásobník nástrojů	běžná výroba, nejčastější
Horizontální centrum	vodorovné vřeteno, otočný stůl, výměna palet	série, obrábění ze 4 stran
CNC 5osá	navíc dvě rotační osy	složité díly z mnoha stran



Obr. 4.3 Konzolová svislá frézka Bridgeport z roku 1955 po renovaci: stůl na konzole, svislé vřeteno, ruční ovládání.
Vlastník obrázku: Dan Bollinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bridgeport_knee_mill_restored.jpg



Obr. 4.4 Vodorovná konzolová frézka Tangye na historické diapozitivní desce. Nahoře je rameno s podpěrou trnu.
Vlastník obrázku: Neznámý autor, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lantern_Slide_-_Tangyes_Ltd,_Horizontal_Milling_Machine,_circa_1910_(2).jpg, oříznuto



Obr. 4.5 Univerzální frézka Unique XQ6226W.
Vlastník obrázku: Sunny Zhao, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Unique_universal_milling_machine_XQ6226W.jpg

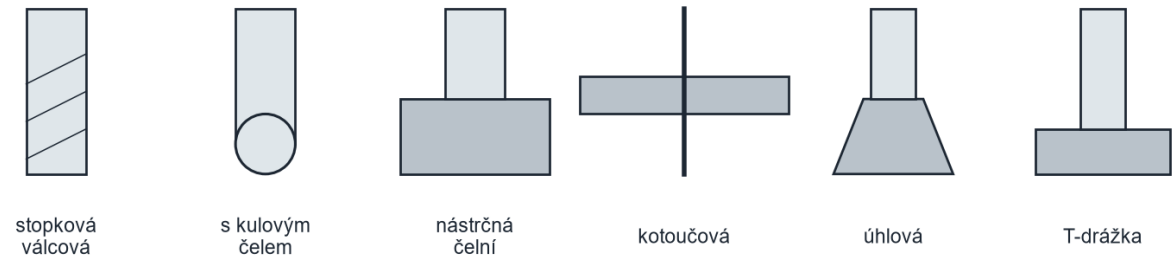


Obr. 4.6 Vertikální obráběcí centrum Kent USA KVR-4020A s řízením FANUC: uzavřený prostor a panel řízení.
Vlastník obrázku: Mike Zielinski, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kent_USA_MACHINING_CENTER_KVR-4020A.jpg



Obr. 4.7 Pětiosé obráběcí centrum SMTCL VMC0656e na výstavě.
Vlastník obrázku: TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMTCL_VMC0656e_5-axis_machining_center_20260331123404.jpg

Frézy



Obr. 4.8 Hlavní tvary fréz.

Fréza	Použití	Poznámka
Válcová stopková	boky, drážky, kapsy	pro zanoření musí řezat středem
S kulovým čelem	tvarové plochy, 3D	dotyk na malé ploše, výška hřebínku
Nástrčná čelní	velké rovné plochy	nejvyšší výkon, většinou s destičkami
Kotoučová	drážky, dělení	typicky vodorovná frézka
Úhlová	sražení, rybinové drážky	citlivá na přetížení
Na T-drážky	T-drážky po předfrézování	nejdřív drážka stopkovou



Obr. 4.9 Stopkové frézy: nahoře na drážky, uprostřed válcová, dole s kulovým čelem. Vlevo jsou jejich čela.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterSlotEndMillBallnose.jpg



Obr. 4.10 Čelní fréza s destičkami z tvrdokovu v držáku se stopkou INT40.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterCarbideTippedFaceMill-INT40.jpg

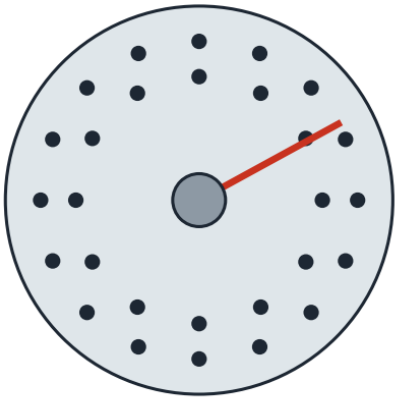


Obr. 4.11 Kotoučová fréza s drážkou pro pero.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillSideAndFaceCutter.jpg

Klasická práce: přesné ustavení

1. Svěrák ustav úchylkoměrem: stůl se pohybuje a hodinky jedou po pevné čelisti. Rozdíl odstraň poklepem.
2. Pro polohu najeď hranu: dotkni se opatrně nebo použij hledač hran a přičti poloměr.
3. Vynuluj dílky nebo digitální odměřování.
4. Nepoužívané osy utáhni, aby se stůl nepohnul.

Dělicí hlava



dělicí kotouč s řadami děr a klika

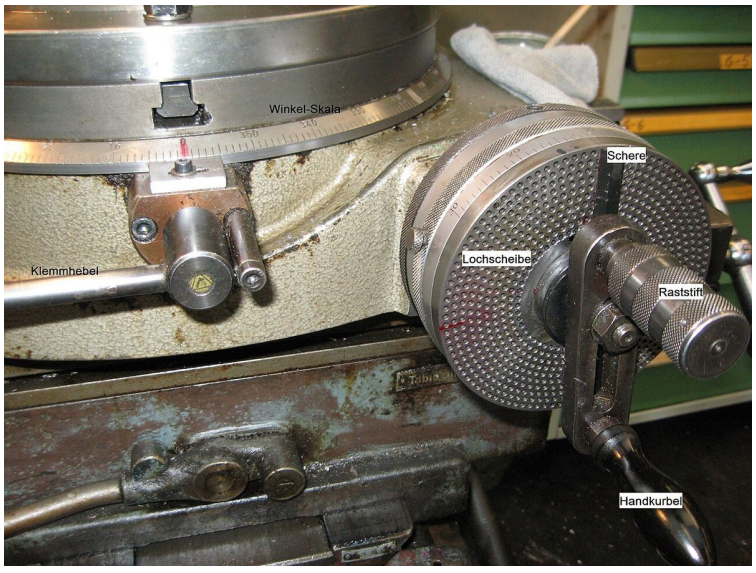
převod šneku 40 : 1
n = 40 / z

z = 17 drážek:
n = 40 / 17 = 2 celé otáčky
a 6 děr v kruhu se 17 dírami

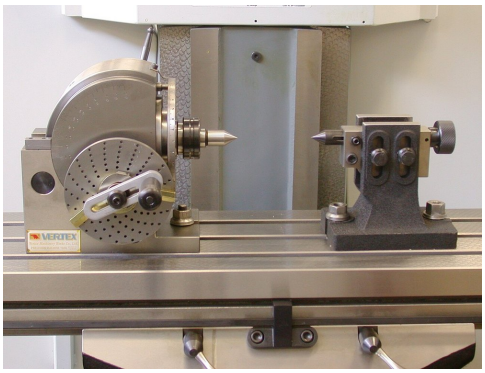
Obr. 4.12 Dělení kotoučem a klikou přes šnekový převod.

Dělicí hlava umožňuje rozdělit obvod na stejné díly: čtyřhran, šestihran, drážky nebo ozubení. Klikou otáčíš přes šnekový převod, běžně 40 : 1. Takže 40 otáček kliky je jedna otáčka obrobku.

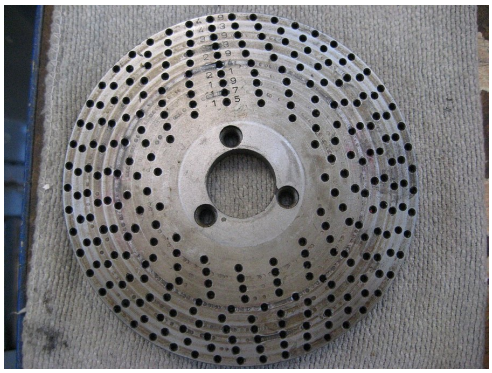
n = 40 / z	z = počet dílů
z = 6	n = 6 2/3 = 6 otáček a 12 děr v kruhu s 18 dírami
z = 17	n = 2 6/17 = 2 otáčky a 6 děr v kruhu se 17 dírami



Obr. 4.13 Dělicí přístroj s popisky v němčině: Lochscheibe je dělicí kotouč s řadami děr, Schere nůžky pro odměření počtu děr, Raststift zajišťovací kolík, Handkurbel klika, Klemmhebel upínací páka a Winkel-Skala úhlová stupnice.
Vlastník obrázku: Dirk Gräfe, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teilapparat_Bezeichnungen.jpg



Obr. 4.14 Dělicí hlava s koníkem na stole frézky. Obrobek se upne mezi ně.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IndexingHead-Tailstock.jpg



Obr. 4.15 Dělicí kotouč: soustředné kruhy s různým počtem děr.
Vlastník obrázku: Dirk Gräfe, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teilapparat_Lochscheibe2.JPG

Drážka pro pero

Drážka v hřídeli se frézuje stopkovou frézou o průměru rovném šířce drážky. Střed frézy musí ležet přesně v ose hřídele: po dotyku boku hřídele posuneš o polovinu průměru hřídele plus polovinu průměru frézy. Přesnou šířku má drážka tolerovanou, proto měř a použij novou frézu.

Upínání na frézce

Upínač	Použití	Na co si dát pozor
Strojní svěrák	většina dílů do velikosti svěráku	čelisti ustavit, díl na podložkách
Upínky a šrouby	velké a nepravidelné díly	upínka podepřená, šroub blízko dílu
Magnetická deska	tenké ocelové díly, broušení	jen pro malé síly a magnetické materiály
Dělicí hlava a otočný stůl	dělení obvodu, kruhové drážky	zajistit po každém pootočení
Přípravek	série stejných dílů	rychlé opakovatelné upnutí

Části CNC frézky oproti klasické

Část	Klasická	CNC
Pohyb os	kolečka, trapézové šrouby	servomotory, kuličkové šrouby
Výměna nástroje	ručně	zásobník a automatická výměna, u školních strojů i ručně
Měření nástroje	dotykem	sonda, seřizovač, tabulka nástrojů
Otáčky	stupně	plynule, vyšší
Bezpečnost	chránič	uzavřený kryt se spínačem



Obr. 4.16 Řetězový zásobník nástrojů na boku frézky a otočné rameno se dvěma chapadly, které nástroj vyměňuje automaticky.
Vlastník obrázku: GaspariniMB, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chain_type_changer_and_arm_with_two_grippers.jpg

Výběr frézy

- **Počet zubů**: 2 až 3 zuby pro hliník a drážky, kam se musí vejít tříska. 4 a více pro dokončování oceli.
- **Délka**: co nejkratší, dvojnásobná délka znamená mnohem větší průhyb.
- **Materiál**: HSS je levná a houževnatá, tvrdokov zvládne vyšší rychlosti, ale nesnáší rázy a chvění.
- **Tvar**: kulové čelo pro 3D, rohový rádius pro pevnější roh.

Příklad: šestihran na dělicí hlavě

Hlava šroubu 24 mm přes plochy z kulatiny Ø28.

1. Upni kulatinu do sklíčidla dělicí hlavy a srovnej ji úchylkoměrem.
2. Spočítej dělení: n = 40 / 6 = 6 2/3, tedy 6 otáček a 12 děr v kruhu s 18 dírami.
3. Dotkni se frézou povrchu a spočítej hloubku: (28 − 24) / 2 = 2 mm.
4. Ofrézuj první plochu, pootoč, ofrézuj protilehlou (o 3 kroky).
5. Změř rozměr přes plochy, případně uprav hloubku.
6. Dokonči zbývající plochy a odjehli.

Jak ustavit kolmost a rovnoběžnost

- Pevná čelist svěráku musí být kolmá ke stolu a rovnoběžná s osou. Ověř hodinkami.
- Tříska pod dílem zvedne plochu, proto před každým upnutím všechno očisti.
- Při upnutí proti pevné čelisti použij za pohyblivou čelist váleček, jinak se díl naklopí.

Chyby při frézování

Chyba	Příčina	Co s tím
Vylámaná fréza	velký posuv, zaseknuté třísky	menší fz, ofukovat třísky
Plocha s hřebínky	velký posuv nebo příliš velký stepover	menší vf, překrytí dráhy
Stěna je šikmá	průhyb frézy	lehčí řez, kratší fréza, dokončovací tříska
Rozměr drážky je větší	házení frézy	zkontrolovat držák, novou frézu

CO SI ZAPAMATOVAT

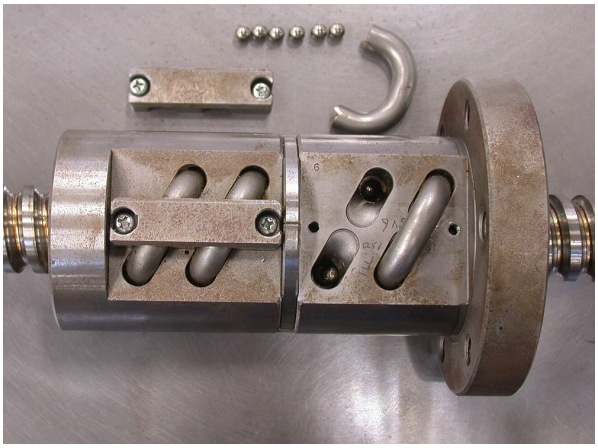
- Frézování se dělí podle části frézy, směru, tvaru a řízení: ruční (klasické), nebo řízené programem (CNC).
- Sousledné frézování dává lepší povrch a delší trvanlivost, je běžná volba na CNC bez vůle. Klasické frézky s vůlí frézují nesousledně.
- Dělicí hlava má šnekový převod běžně 40 : 1, proto n = 40 / z.
- Střed frézy pro drážku v hřídeli musí ležet přesně v ose hřídele.
- Frézu vol co nejkratší. Tříska pod dílem zvedne plochu, proto před upnutím všechno očisti.

KLASICKÝ STROJ A CNC

5 Klasický stroj a CNC: v čem je rozdíl

Čím se klasický a CNC stroj liší, kdy je výhodnější který a co zůstává na tobě.

	Klasický stroj	CNC stroj
Kdo řídí pohyb	člověk kolečky a pákami	řídicí systém podle programu
Pohony	jeden motor a převodovky	samostatné servopohony každé osy
Šrouby	pohybové s vůlí	kuličkové bez vůle
Rozměr	dílky, měření, cit	souřadnice a korekce
Tvary	hlavně přímky	oblouky a kombinace os
Opakovatelnost	závisí na člověku	vysoká, stejné kusy
Vhodná výroba	kusy a opravy	série i složité díly
Náročnost přípravy	krátká	program, seřízení, simulace
Otáčky a posuvy	po stupních	plynule, i konstantní řezná rychlost



Obr. 5.1 Rozebraná matice kuličkového šroubu: nahoře kuličky a vratná trubička. Takové šrouby mají podle tabulky výše CNC stroje.
Vlastník obrázku: Graibeard, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BallScrewNut-showing-balls-recirculating-tubes.jpg

PAMATUJ

CNC neznamená, že se nemusíš učit klasické obrábění. Řezné podmínky, upínání, měření i odhad, jestli je výsledek v pořádku, jsou na obou strojích stejné.

Kdy je výhodnější který stroj

Situace	Volba	Proč
Jeden jednoduchý kus nebo oprava	klasický	příprava je krátká
Dvacet stejných dílů	CNC	program se vrátí a kusy jsou stejné
Rádiusy a tvarové plochy	CNC	přesně a rychle
Přesná úprava po kalení	bruska	tvrdý materiál a malá drsnost
Díl z více stran na jedno upnutí	víceosé CNC	žádné přepínání

Co zůstává na tobě

- Správný výběr nástroje a řezných podmínek.
- Upnutí, které vydrží.
- Odhad, jestli řez zní a vypadá správně.
- Měření a reakce na odchylku.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Na klasickém stroji řídí pohyb člověk kolečky a pákami, na CNC řídicí systém podle programu.
- Pro jeden jednoduchý kus nebo opravu se hodí klasický stroj, pro dvacet stejných dílů CNC.
- Řezné podmínky, upínání, měření i odhad výsledku jsou na obou strojích stejné.

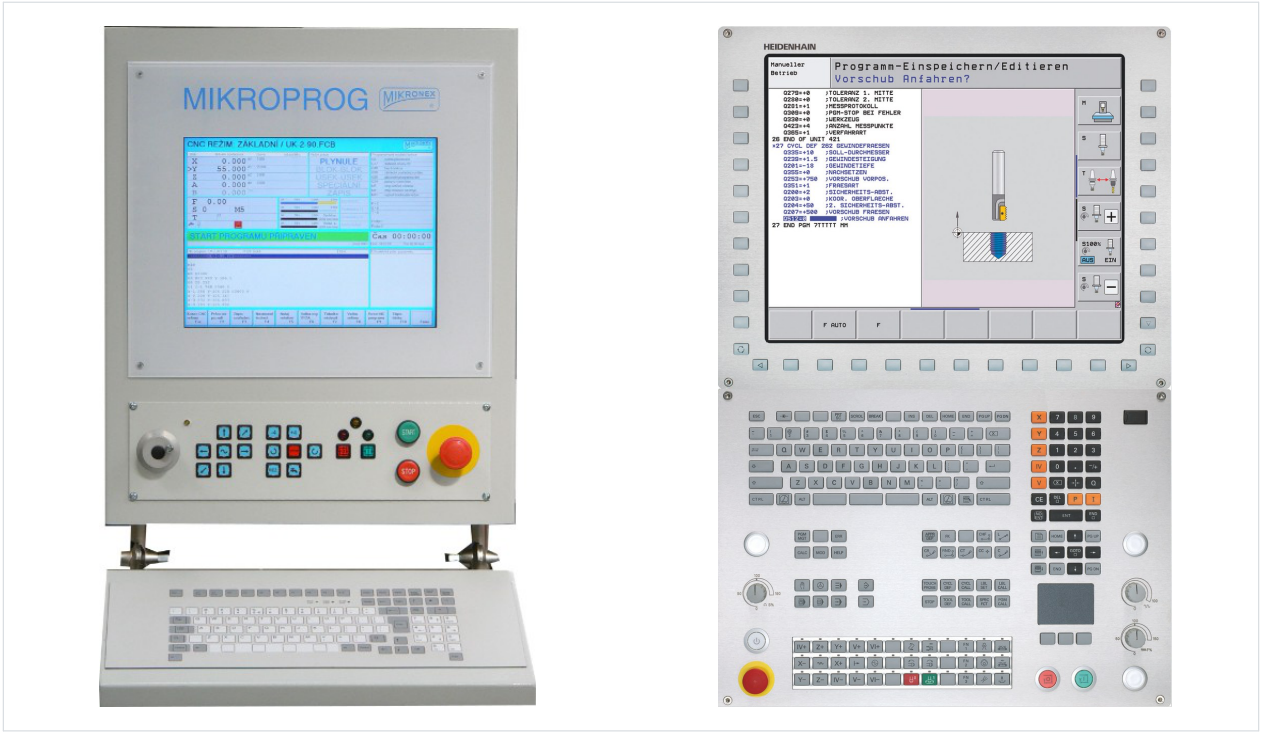
6

KLASICKÝ STROJ A CNC

Základy CNC

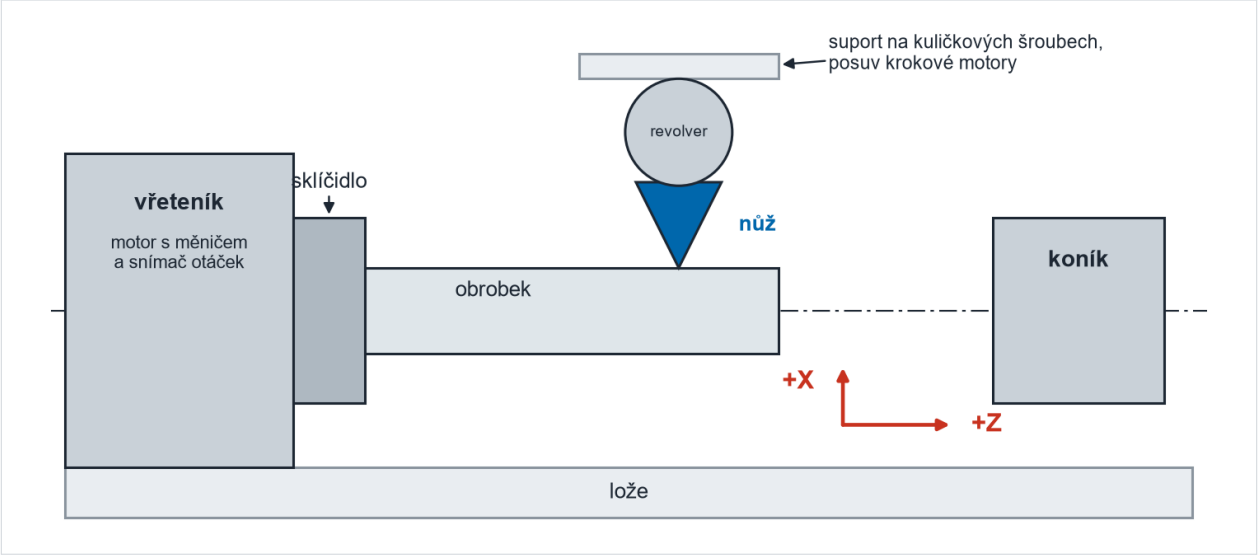
Osy a důležité body, stavba programu, ukázky pro Mikroprog, korekce, režimy a postup práce na stroji.

CNC znamená *Computer Numerical Control*, tedy řízení počítačem. Řídicí systém čte program po řádcích a přesně řídí každou osu. Ve škole pracuješ se systémy Mikroprog a Heidenhain. Podrobné návody k nim jsou v samostatných manuálech *Mikroprog S a F* a *Heidenhain*.

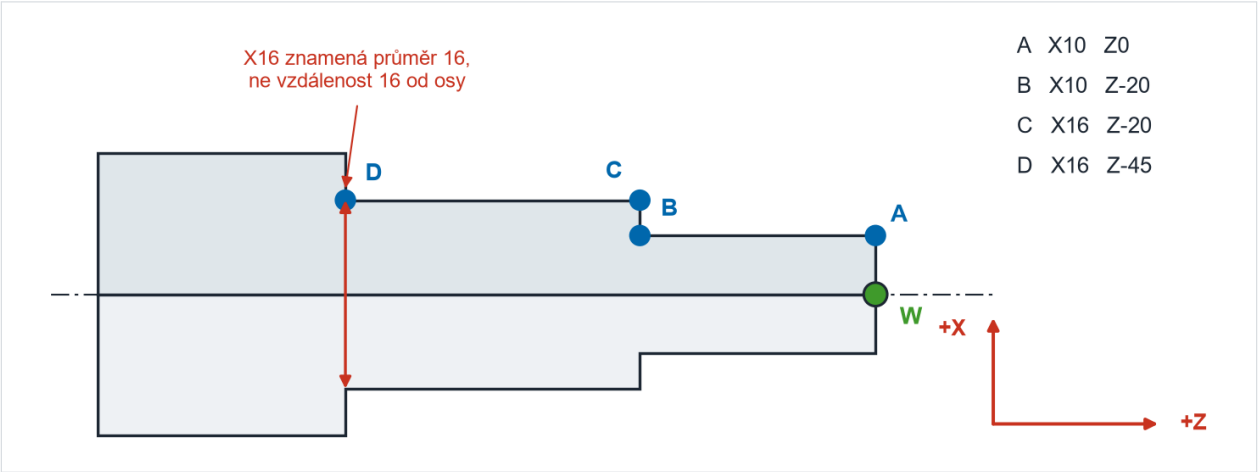


Obr. 6.1 Řídicí systém MIKROPROG na snímku výrobce: displej, ovládací prvky a klávesnice (vlevo). Řídicí panel iTNC 530 Heidenhain z titulní strany příručky (vpravo). Panel na tvém stroji může vypadat jinak.
Vlastník obrázku: vlevo Mikronex s.r.o., prospekt MIKROPROG F a S (V4), s. 1; vpravo © DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 1

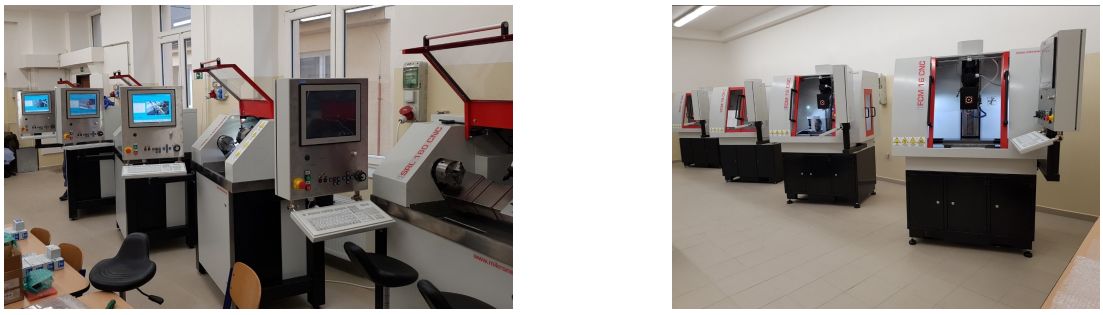
Osy na soustruhu



Obr. 6.2 Soustruh má dvě hlavní osy: Z ve směru osy vřetena, X příčně.

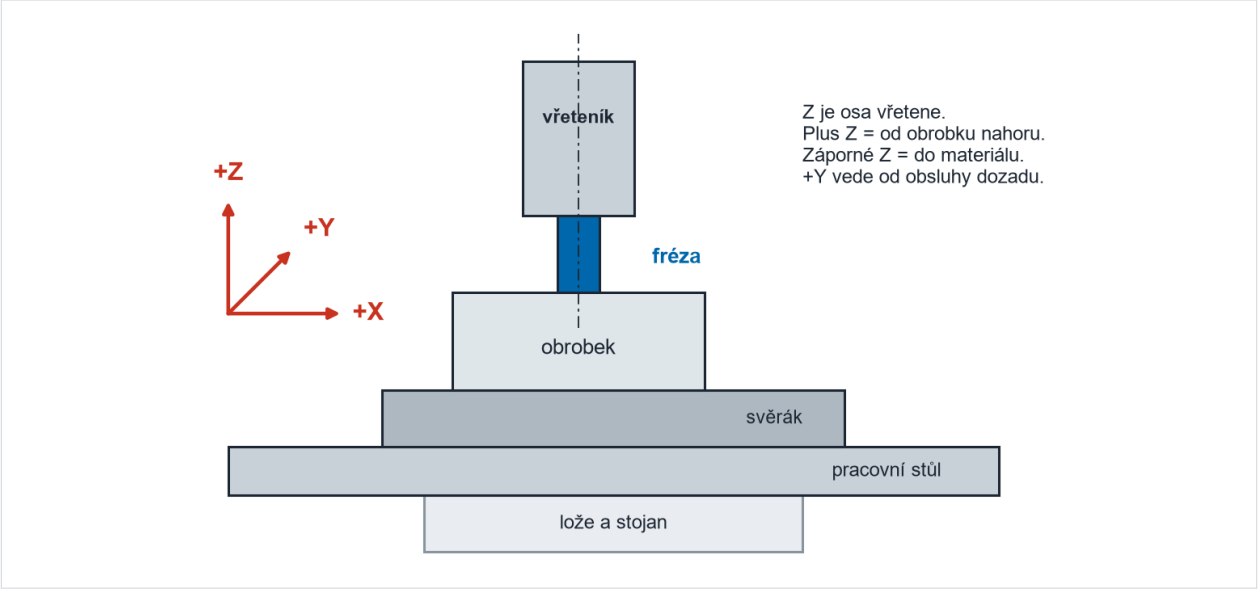


Obr. 6.3 Na soustruhu se X programuje většinou jako průměr.



Obr. 6.4 Školní soustruhy SRL 20 CNC (vlevo) a školní frézky FCM 16 CNC (vpravo) v učebně, podle popisků v galerii výrobce. Není to snímek z naší dílny, školní stroj může vypadat jinak.
Vlastník obrázku: Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Galerie

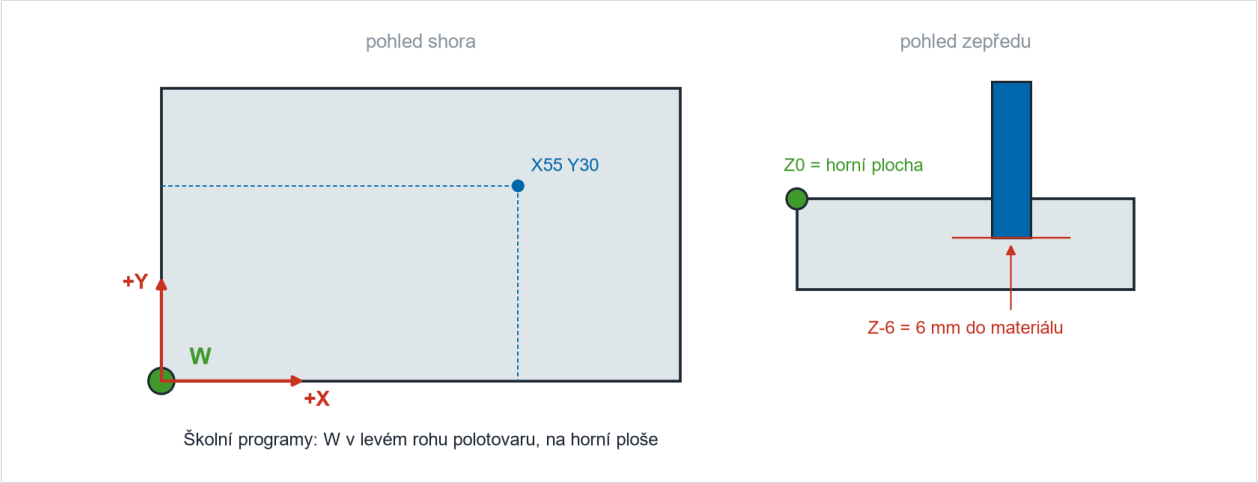
Osy na frézce



Obr. 6.5 Frézka má tři hlavní osy. Záporné Z vede do materiálu.

Důležité body

Znak	Bod	Co znamená
M	nulový bod stroje	pevný bod daný výrobcem
R	referenční bod	stroj na něj najíždí po zapnutí, aby znal svou polohu
W	nulový bod obrobku	volíš ho ty, od něj se programuje
T, E	bod nástroje	bod, ke kterému se vztahuje délka a rádius



Obr. 6.6 Nula obrobku na frézce: X, Y v rohu, Z na horní ploše.

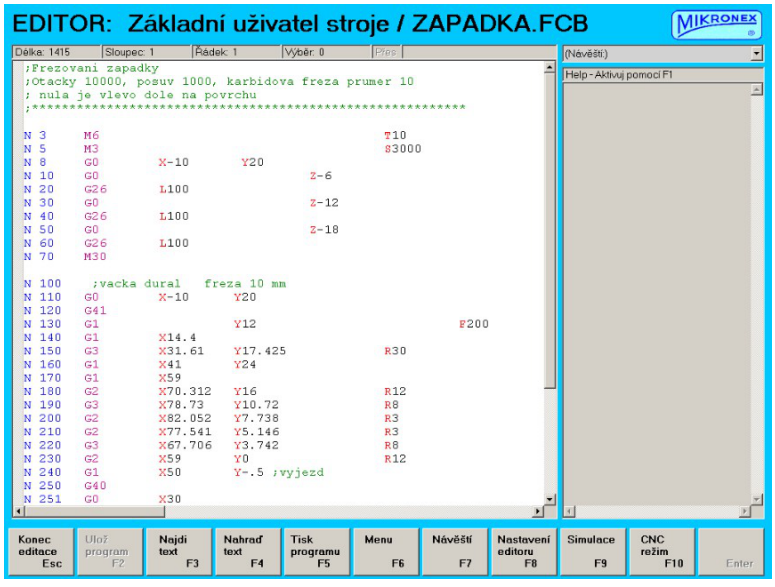
Absolutně a přírůstkově

- **Absolutně (G90)**: souřadnice se počítá od nuly obrobku. Běžný způsob.
- **Přírůstkově (G91)**: souřadnice říká, o kolik se má nástroj posunout od aktuální polohy.

Program

Program se skládá z **bloků**. Blok obsahuje číslo a adresy: **N40 G1 X20 Z-10 F100** znamená blok 40, pracovní posuv, přímka do bodu X20 Z-10, posuv 100.

Funkce	Význam	Funkce	Význam
G0	rychloposuv	M3 / M4	vřeteno vpravo / vlevo
G1	přímka pracovním posuvem	M5	zastavení vřetena
G2	oblouk ve směru hodin	M6	výměna nástroje
G3	oblouk proti směru hodin	M8 / M9	chlazení zap. / vyp.
G40, G41, G42	korekce rádiusu vyp., vlevo, vpravo	M30	konec programu
G90, G91	absolutně, přírůstkově	F, S, T	posuv, otáčky, nástroj



Obr. 6.7 Program v Editoru systému MIKROPROG: barevně rozlišený zápis bloků a vpravo okno nápovědy. Snímek z prospektu výrobce.
Vlastník obrázku: Mikronex s.r.o., prospekt MIKROPROG F a S (V4), s. 2

Ukázka: soustruh, Mikroprog S

Čep Ø20 s čelem na stroji SRL 20. Školní ukázka: T1 na hrubování, T6 na dokončení. Polotovar Ø30.

```
N10  G0 X60
N20  G0 Z30
N30  M6 T1
N40  M8
N50  M4 S1000
N60  G0 X31 Z1
N70  G68 X-1 Z0 W0.5 F100
N80  G0 X30 Z0.5
N90  G64 X20.4 Z-24.8 U1 F100
N100 G0 X60
N110 G0 Z30
N120 M6 T6
N130 M8
N140 M4 S1200
N150 G0 X16 Z1
N160 G1 X20 Z-1 F80
N170 G1 Z-25
N180 G1 X31
N190 G0 X60
N200 G0 Z30
N210 M9
N220 M5
N230 M30
```

Bloky	Co se děje
N10 až N50	vyjetí, výměna nástroje, chlazení, vřeteno
N70	čelní cyklus: zarovná čelo po třískách 0,5
N90	podélný cyklus: hrubuje po třískách 1 mm, nechá přídavek 0,4 na průměru a 0,2 v délce
N160 až N180	dokončení sražení, válec, odjezd
N190 až N230	vyjetí a konec

Ukázka: frézka, Mikroprog F

Kapsa cyklem a díry na kružnici. Fréza T10 je zde stopková D10 a T14 vrták, tak jako ve školních ukázkách. Ověř si je ve své tabulce nástrojů.

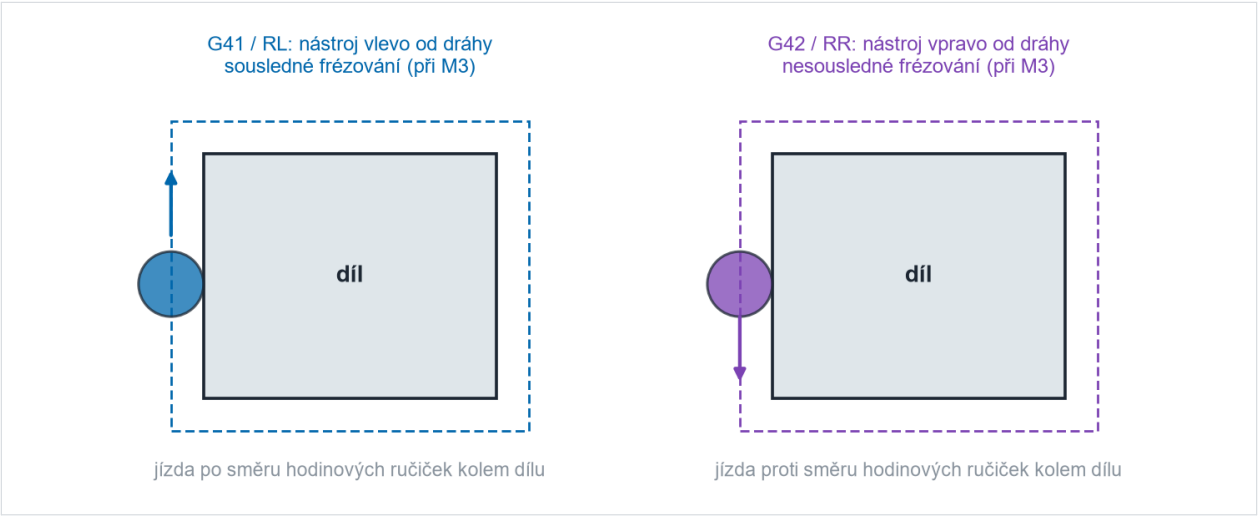
```
N10  M6 T10
N20  M3 S2000
N30  G0 X15 Y20 Z1
N40  G73 X45 Y50 Z-3 W2 F100
N50  G0 Z100
N60  M6 T14
N70  M3 S2000
N80  G0 X30 Y35 Z1
N90  G76 D20 L200 H4 B0 F100
N100 G0 Z100
N110 M30

N200 G81 Z-11 F50
N210 M17
```

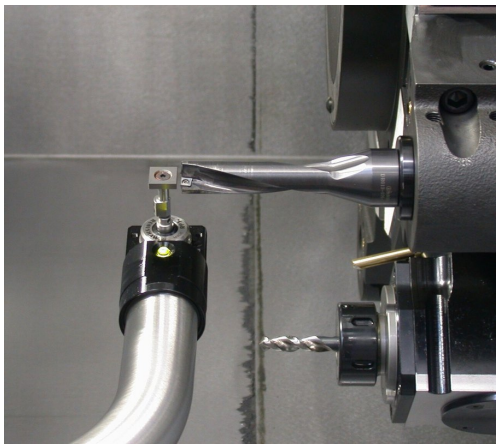
Korekce

Nástroje nemají všechny stejnou délku ani rádius. Korekce řeknou systému, o kolik má dráhu posunout.

- **Délková korekce**: stejné Z0 pro všechny nástroje.
- **Korekce rádiusu G41, G42**: programuješ obrys z výkresu a systém si posune dráhu o rádius nástroje.
- **Opotřebení**: po změření dílu upravíš korekci, nemusíš přepisovat program.



Obr. 6.8 Korekce rádiusu na frézce. Kolem dílu po směru hodin je G41 a sousledné frézování.



Obr. 6.9 Seřizovací rameno na CNC soustruhu Mori Seiki: vrták v revolverové hlavě se přikládá k dotykové sondě. *Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeiki-setting.jpg*

Postup práce na CNC stroji

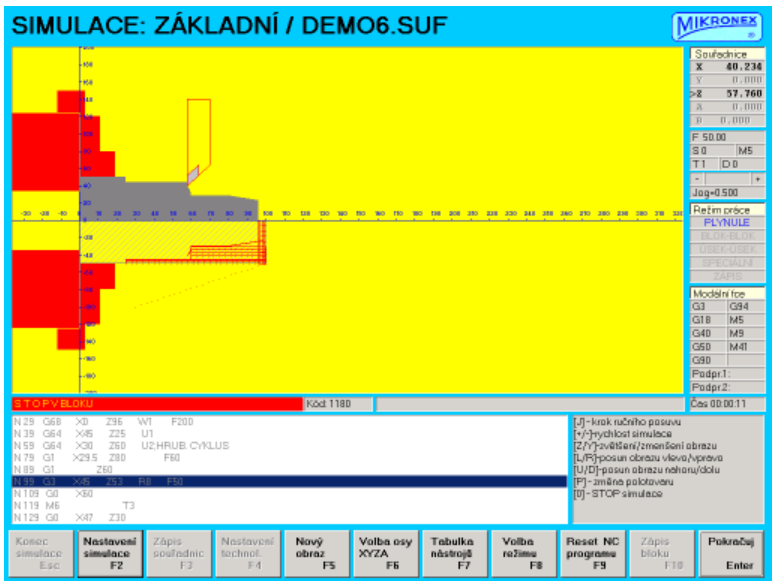
1. Zapni stroj, najeď referenční body.
2. Přečti výkres, zvol nástroje a upnutí.
3. Napiš nebo nahraj program a zkontroluj ho v **simulaci**.
4. Upni obrobek a nástroje, změř a zapiš korekce.
5. Nastav nulu obrobku.
6. Spusť první díl po blocích se sníženým posuvem. Sleduj cestu nástroje.
7. Změř díl, uprav korekce a teprve pak spusť plynule.

> **POZOR**
> Nejčastější příčiny kolize: špatná nula obrobku, zapomenutá korekce, záměna nástroje, přepsané číslo a znaménko v Z.

Režimy CNC stroje

Režim	K čemu	Pozor
Ruční	najíždění kolečkem, měření nástrojů	dávej pozor na směr a rychlost
MDI, ruční zadání	jeden příkaz nebo krátký blok	nezapomeň na správný nástroj
Editace	psaní programu	stroj při ní stojí
Simulace, test	kontrola dráhy	nekontroluje skutečné upnutí

Režim	K čemu	Pozor
Po blocích	první kus	každý blok potvrdíš
Automatika	plynulý běh	až po ověření



Obr. 6.10 Režim simulace na systému MIKROPROG: program DEMO6.SUF, pod obrazem výpis programu s označeným blokem. Snímek z prospektu výrobce.
Vlastník obrázku: Mikronex s.r.o., prospekt Řídící systémy MIKROPROG, s. 2

Oblouky



Obr. 6.11 Přímky a oblouky na soustruhu. Směr se posuzuje z pohledu na rovinu obrábění.

- **G2** jede ve směru hodinových ručiček, **G3** proti nim.

- Zapisuje se koncový bod a poloměr, například **G2 X20 Y10 R5**.
- Na soustruhu se směr řídí uspořádáním stroje, proto si ho vždy ověř v simulaci.

Posuvy a otáčky

Funkce	Význam	Použití
G94	posuv v mm/min	frézování
G95	posuv v mm/ot	soustružení
G96	konstantní řezná rychlost	soustružení rozdílných průměrů
G97 nebo S	stálé otáčky	vrtání, závity

PAMATUJ

Přesný význam funkcí se mezi řídicími systémy může lišit. Třeba G26 je na Mikroprog S podprogram, jinde omezení otáček. Vždy pracuj s příručkou svého systému.

Mikroprog a Heidenhain: stejný díl, jiný zápis

Co	Mikroprog (G kód)	Heidenhain (popisný dialog)
Rychloposuv	G0 X10 Y10	L X+10 Y+10 R0 FMAX
Pracovní přímka	G1 Z-2 F50	L Z-2 F50
Oblouk	G2 X20 Y10 R5	CR X+20 Y+10 R+5 DR-
Korekce rádiusu	G41, G42, G40	RL, RR, R0
Nástroj	M6 T6	TOOL CALL 6 Z S2000
Podprogram	G26 L H, M17	LBL, CALL LBL
Konec	M30	M2 nebo M30 a END PGM

Jak zapsat jednoduchý obrys: postup

1. Zvol nulu a zakresli body obrysu.
2. Sepiš souřadnice všech bodů do tabulky.
3. Urči nástroj, otáčky a posuv.
4. Napiš bezpečné najetí a zapnutí vřetena.
5. Zapiš obrys po pořadí a použij korekci rádiusu.
6. Napiš vyjetí a konec.
7. Spusť simulaci a zkontroluj tvar i odjezdy.

Cvičení: tabulka bodů

Čep z obrázku 6.3: čelo Z0, Ø10 délka 20, pak Ø16 do Z-45. Hrana není sražená. Body jsou:

Bod	X	Z	Co je to
A	10	0	začátek válce Ø10
B	10	-20	konec válce Ø10
C	16	-20	osazení
D	16	-45	konec válce Ø16

Tabulka nástrojů

V tabulce nástrojů jsou pro každé číslo nástroje délka, rádius a opotřebení. Před spuštěním ověř, že program volá stejné číslo nástroje, jaké je skutečně v místě. Když měníš nástroj, měníš i hodnoty.

Nejčastější chyby začátečníků

Chyba	Následek	Jak se chránit
Zapomenutý znak mínus v Z	fréza nad dílem nebo kolize	simulace
Záměna G0 a G1	rychloposuv do materiálu	čti program po blocích
Bez vyjetí před výměnou	kolize při výměně	vždy odjet nejdřív v bezpečné ose
Špatné T nebo korekce	špatný rozměr nebo kolize	tabulka a první kus
Vynechané M3 nebo M8	řez bez otáček nebo chlazení	kontrolní čtení

CO SI ZAPAMATOVAT

- Soustruh má hlavní osy Z a X, frézka X, Y a Z. Záporné Z na frézce vede do materiálu.
- M je nulový bod stroje, R referenční bod a W nulový bod obrobku, od kterého se programuje.
- G0 je rychloposuv, G1 přímka pracovním posuvem, G2 a G3 jsou oblouky.
- Korekce rádiusu dovolí programovat obrys z výkresu. Po změření dílu upravíš korekci, ne program.
- Nejčastější příčiny kolize: špatná nula obrobku, zapomenutá korekce, záměna nástroje, přepsané číslo a znaménko v Z.

7

PŘESNOST

Měření a tolerance

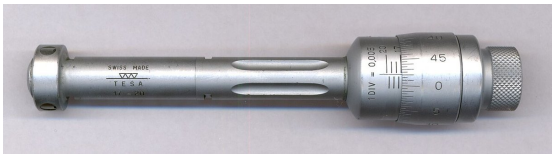
Další měřidla, tolerance a uložení, drsnost, geometrické požadavky a měření závitu.

Další měřidla

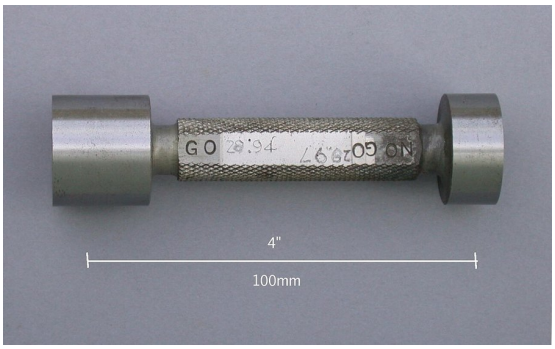
Měřidlo	K čemu	Poznámka
Mikrometr hloubkový	hloubka osazení a drážek	nastav nulu na rovné ploše
Dutinoměr, třídotekový mikrometr	průměr díry s přesností setin	drží se ve středu díry
Úchylkoměr (číselníkové hodinky)	házení, rovnoběžnost, ustavení	měří rozdíl, ne délku
Mezní kalibry	díra: válečkový, hřídel: třmenový	dobrá strana projde, zmetková ne
Závitový kalibr	kontrola závitu	M10 × 1,5, 6g, 6H
Etalon drsnosti	porovnání povrchu	přesně měří drsnoměr



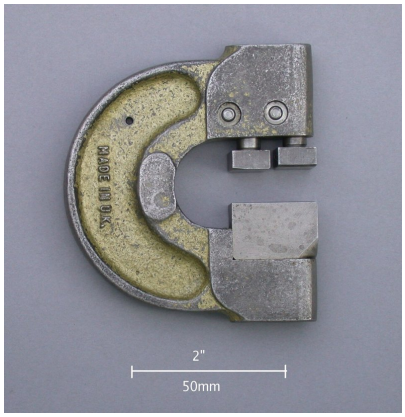
Obr. 7.1 Shora mikrometr na vnější rozměry, vnitřní mikrometr a hloubkový mikrometr.
Vlastník obrázku: Splarka at English Wikipedia, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Micrometers.jpg



Obr. 7.2 Třídotekový vnitřní mikrometr pro rozsah 17 až 20 mm.
Vlastník obrázku: Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3_point_micrometer.jpg



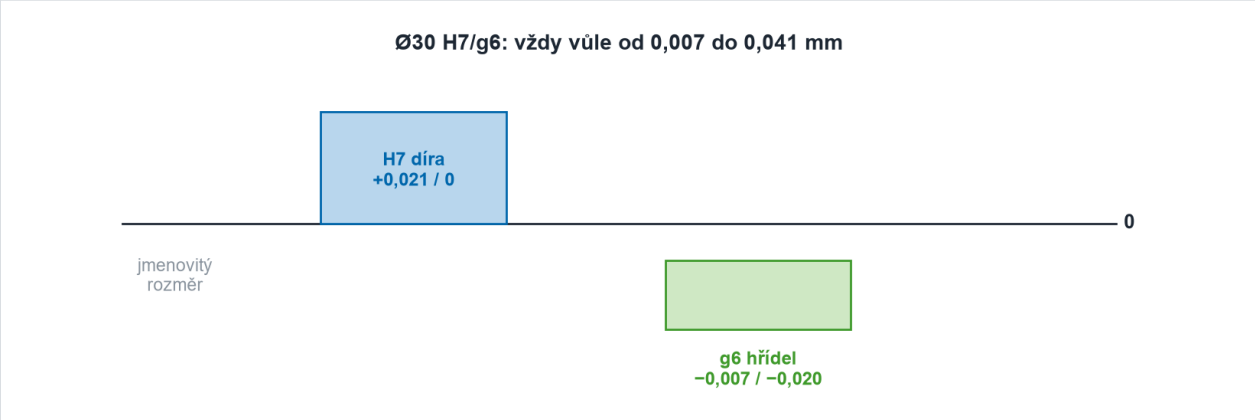
Obr. 7.3 Mezní válečkový kalibr na díry: na jedné straně dobrá (GO), na druhé zmetková (NO GO).
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugePlugSpecialGoNoGo.jpg



Obr. 7.4 Mezní třmenový kalibr na vnější rozměry.
Vlastník obrázku: Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugeGapPlainGoNoGo.jpg

Tolerance a uložení

Tolerance je dovolený rozdíl od jmenovitého rozměru. Může být napsaná číslem nebo značkou ISO: písmeno říká polohu pole, číslo jeho velikost. Velká písmena platí pro díru, malá pro hřídel. Čím menší číslo, tím přesnější a dražší výroba.



Obr. 7.5 Uložení díry H7 a hřídele g6 při jmenovitém průměru 30 mm.

Uložení	Co to znamená	Příklad
S vůlí	hřídel je vždy menší než díra	H7/g6, otočné spojení
Přechodné	může vyjít vůle i přesah	H7/k6, přesné ustavení
S přesahem	hřídel je větší, lisuje se	H7/p6, nalisované spojení

Drsnost

Ra udává střední odchylku povrchu v mikrometrech. Pro představu: Ra 6,3 je hrubší soustružení nebo frézování, Ra 1,6 dobré dokončení, Ra 0,4 broušení.



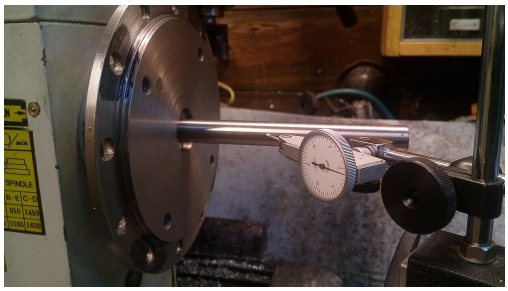
Obr. 7.6 Historický drsnoměr Taylor-Hobson Talysurf ze 40. let v muzeu.
Vlastník obrázku: Andy Dingley, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talysurf,_Snibston.jpg

Geometrické požadavky

Vedle rozměru výkres může předepsat kolmost, rovnoběžnost, kruhovitost nebo házení. Ta se měří úchylkoměrem na desce nebo mezi hroty. Přesný rozměr nestačí, když je díl šikmý.

Úchylkoměr v praxi

1. Upevni ho do stojánku, dotyk kolmo na měřenou plochu s předpětím.
2. Nastav nulu otočením ciferníku.
3. Otáčej dílem rukou nebo jeď osou a sleduj výchylku.
4. Rozdíl největší a nejmenší hodnoty je házení nebo rovnoběžnost.



Obr. 7.7 Páčkový úchylkoměr na magnetickém držáku připevněném k příčnému suportu soustruhu: kontrola házení.
Vlastník obrázku: David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Checking_Runout_With_Dial_Test_Indicator.jpg

Jak číst tolerance

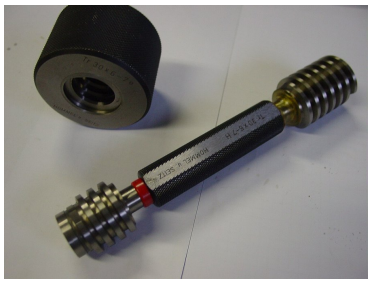
Zápis	Horní mez	Dolní mez	Měřidlo
Ø20 ±0,1	20,10	19,90	posuvné měřítko
Ø20 h9	20,000	19,948	mikrometr
Ø20 h6	20,000	19,987	mikrometr, kalibr
Ø20 H7	20,021	20,000	dutinoměr, kalibr
Ø30 g6	29,993	29,980	mikrometr, kalibr

Stupně přesnosti IT

Stupeň	Tolerance pro Ø18 až 30	Běžná výroba
IT6	0,013 mm	přesné dokončení, broušení
IT7	0,021 mm	přesné díry a uložení
IT9	0,052 mm	soustružení a frézování
IT11	0,130 mm	hrubší obrábění, vrtání

Měření závitu

- **Protikus**: šroub nebo matice správné velikosti, nejjednodušší kontrola.
- **Závitový kalibr**: dobrá strana se zašroubuje celá, zmetková se zašroubuje nejvýš o 1 až 2 otáčky.
- **Závitová šablona**: určí stoupání, ne přesnost.



Obr. 7.8 Závitový kalibr pro vnitřní závit Tr30×6-7H a zmetkový kroužek pro vnější závit Tr30×6-7e.
Vlastník obrázku: Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG



Obr. 7.9 Metrická závitová šablona (60°) přiložená ke šroubu M10. Určí stoupání.
Vlastník obrázku: User:Wickipädiater based on file of Jahobr, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gewindeschablone-waagerecht.jpg

Chyby v měření přesných děr

Díra bývá na začátku a u dna různá. Dutinoměr proto používej aspoň ve dvou výškách a ve dvou směrech. Tak odhalíš kuželovitost i ovalitu. Teplý díl ukazuje větší rozměr, u díry i hřídele.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Tolerance je dovolený rozdíl od jmenovitého rozměru. Velká písmena platí pro díru, malá pro hřídel.
- H7/g6 je uložení s vůlí, H7/k6 přechodné a H7/p6 s přesahem.
- U mezního kalibru dobrá strana projde a zmetková ne.
- Úchylkoměr měří rozdíl, ne délku.
- Díru měř aspoň ve dvou výškách a ve dvou směrech, odhalíš kuželovitost i ovalitu.

8

PROCVIČENÍ A OVĚŘENÍ

Řešené úlohy a materiály v praxi

Jak se chovají různé materiály, sedm spočítaných úloh a stejný díl klasicky i na CNC.

Obrábění různých materiálů

Materiál	Jak se chová	Co pomáhá
Ocel S235	dlouhé třísky, nárůstek při malé vc	vyšší vc, utvářeč třísky
Ocel C45	pevnější, méně nárůstku	střední vc, chlazení
Korozivzdorná	zpevňuje se, špatně vede teplo	stálý řez, ostrý břit, nezastavovat v řezu
Litina	krátká drť, prach, abrazivní	za sucha, odsávání, tvrdší destička
Hliník	lepí se, rychlé odřezávání	ostrý leštěný břit, velké otáčky, mazání
Mosaz	krátká tříska, snadno se obrábí	neutrální úhel čela, jinak se nástroj zařezává

Úloha 1: otáčky, posuv a čas na soustruhu

Válec Ø40, délka řezu 60 mm plus náběh 2 mm, vc = 120 m/min, f = 0,2 mm/ot.

n = 120 000 / (3,14 · 40) = 955 ot/min
vf = 0,2 · 955 = 191 mm/min
t = 62 / 191 = 0,32 min = asi 19 s

Úloha 2: fréza

Fréza Ø20, 4 zuby, vc = 30 m/min, fz = 0,06 mm.

n = 30 000 / (π · 20) = 477 ot/min
vf = 0,06 · 4 · 477 = 114 mm/min

Úloha 3: kužel

D = 50, d = 40, L = 60. Jaký je úhel natočení suportu?

tan(α/2) = (50 − 40) / (2 · 60) = 0,0833
α/2 = 4,76°

Úloha 4: závit

Závit M16, P = 2 mm. Jaká je hloubka a průměr jádra?

h = 0,6134 · 2 = 1,227 mm
d3 = 16 − 2 · 1,227 = 13,546 mm

Úloha 5: dělicí hlava

24 drážek na obvodu.

> **n** = 40 / 24 = 1 16/24 = 1 2/3
> 1 otáčka a 12 děr v kruhu s 18 dírami

Úloha 6: drsnost

Posuv f = 0,15 mm/ot, rádius špičky r = 0,4 mm.

> **Rz** = 1000 · 0,15² / (8 · 0,4) = 7,0 µm

Úloha 7: kalibr a tolerance

Díra Ø25 H7: dolní mez 25,000 mm, horní mez 25,021 mm. Dobrá strana kalibru má 25,000 a musí projít. Zmetková má 25,021 a nesmí projít.

Stejný díl klasicky a na CNC

Krok	Klasický soustruh	CNC soustruh
Příprava	nůž, měřidlo, výpočet otáček	program, simulace, korekce
Upnutí	sklíčidlo, klíč	sklíčidlo, často hydraulické
Čelo	ručně kolečkem	cyklus G68
Hrubování	několik průchodů, dílky	cyklus G64
Dokončení	měření a dotažení ručně	dráha a korekce
Kontrola	za každým průchodem	první kus a pak podle plánu
Další kus	všechno znovu	stisk Start, hlídání rozměru

Vzájemná poloha ploch: jak ji udržet

- Co musí být souosé, vyrob na jedno upnutí.
- Když se díl musí otočit, použij hroty, měkké čelisti nebo kontrolu úchylkoměrem.
- Na frézce měj jednu základní plochu a od ní měř a ustavuj všechny další.

Ekonomika v dílně

Čas na stroji stojí peníze, zmetek ještě víc. Vyšší řezné podmínky nejsou vždy lepší: když častěji měníš nástroj a nejsi si jistý rozměrem, ztratíš víc, než ušetříš. Dobře zvolené podmínky znamenají stabilní proces.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Každý materiál se chová jinak: litina se obvykle obrábí za sucha, korozivzdorná ocel se zpevňuje a v řezu se nemá zastavovat.
- Co musí být souosé, vyrob na jedno upnutí.
- Vyšší řezné podmínky nejsou vždy lepší. Dobře zvolené podmínky znamenají stabilní proces.

9 Kontrolní otázky a řešení

PROCVIČENÍ A OVĚŘENÍ

Otázky k ověření znalostí s řešením, slovníček pojmů a zdroje manuálu.

Otázky

1. Co vyjadřuje úhel hřbetu α a proč nesmí být nulový?
2. Spočítej otáčky pro frézu Ø10, vc = 100 m/min.
3. Fréza Ø10 má 4 zuby, fz = 0,04 mm, n = 3183 ot/min. Jaký je posuv?
4. Co znamená CNMG 120408?
5. Jakou barvu má skupina P a pro jaký je materiál?
6. Vyjmenuj čtyři druhy soustruhů a kdy se použijí.
7. Čím se liší soustruh s poháněnými nástroji od běžného 2osého?
8. Jak se dá na klasickém soustruhu vyrobit kužel?

9. D = 40, d = 34, L = 30. Spočítej tan(α/2).
10. Jaká je hloubka závitu M12 (P = 1,75)?
11. Jaký je rozdíl mezi sousledným a nesousledným frézováním?
12. Proč se na klasické frézce frézuje nesousledně?
13. Kolik otáček kliky dělicí hlavy potřebuješ pro z = 8?
14. Jaký je rozdíl mezi G0 a G1?
15. Co je nulový bod obrobku?
16. Na soustruhu má X hodnotu 40. Co znamená?
17. K čemu slouží korekce rádiusu?
18. Proč se první díl pouští po blocích?
19. Je H7/g6 uložení s vůlí, přechodné nebo s přesahem?
20. Jak ověříš rozměr mezním kalibrem?
21. Co nejvíc ovlivňuje trvanlivost nástroje?
22. Jak vypadá výmol na čele a čím vzniká?
23. Co uděláš při chvění jako první?
24. Čím se liší suport klasického a CNC soustruhu?
25. Proč je vnitřní soustružení náročnější než vnější?
26. Na co dávat pozor při upichování?
27. Spočítej dělení pro šestihran na dělicí hlavě.
28. Proč se za pohyblivou čelist vkládá váleček?
29. Jaký je rozdíl mezi G94 a G95?
30. Co udělá G96?
31. Přepiš G1 Z-2 F50 do popisného dialogu.
32. Co obsahuje seřizovací list?
33. Jakou mez má Ø20 h6?
34. Co znamená, když zmetková strana kalibru projde?
35. Jak zjistíš kuželovitost díry?

Řešení

1. Úhel mezi hřbetem a řeznou plochou. Kdyby byl nulový, hřbet by se třel o obrobek.
2. n = 100 000 / (π · 10) = 3183 ot/min.
3. vf = 0,04 · 4 · 3183 = 509 mm/min.
4. Kosočtverec 80°, hřbet 0°, tolerance M, s dírou a utvářečem, hrana 12 mm, tloušťka 4,76 mm, rádius 0,8 mm.
5. Modrou, ocel.
6. Například hrotový (kusová výroba), svislý (velké díly), automat (velké série), CNC (malá a střední výroba).
7. Má osu C, případně Y, a může na stejné upnutí frézovat a vrtat mimo osu.
8. Natočením suportu, vyosením koníku, kopírovacím pravítkem, širokým nožem.
9. tan(α/2) = (40 − 34) / (2 · 30) = 0,1. Tedy α/2 je asi 5,71°.
10. 0,6134 · 1,75 = 1,07 mm.
11. U nesousledného jde zub proti posuvu a tříska roste od nuly. U sousledného jde s posuvem a začíná nejsilnější.
12. Stůl má vůli ve šroubu a při sousledném frézování by jej fréza mohla vtáhnout.
13. 40 / 8 = 5 otáček.
14. G0 je rychloposuv bez obrábění, G1 je přímka pracovním posuvem F.
15. Bod, který si volí programátor a od kterého se počítají souřadnice programu.
16. Průměr 40 mm, ne vzdálenost 40 od osy.
17. Programuje se obrys z výkresu a systém dráhu posune o rádius nástroje.
18. Aby šla ověřit dráha a kdyby něco nesedělo, stihne se stroj včas zastavit.
19. S vůlí.
20. Dobrá strana musí projít a zmetková strana neprojde.
21. Především řezná rychlost, pak posuv, nejméně hloubka řezu.
22. Prohlubeň na čele za ostřím. Vzniká vysokou teplotou a odcházející třískou.
23. Zkrátíš vyložení a změníš otáčky.
24. Klasický má kolečka a pohybový šroub, CNC servomotory a kuličkový šroub bez vůle.
25. Štíhlá tyč kmitá, je hůř vidět a hůř se odvádí tříska.
26. Malé vyložení, břit přesně v ose, stálý posuv, chlazení, díl nesmí spadnout na nástroj.
27. n = 40 / 6 = 6 2/3: 6 otáček a 12 děr v kruhu s 18 dírami.
28. Aby čelist přitlačila díl rovně a neodklonila ho od pevné čelisti.
29. G94 je posuv v mm/min, G95 v mm/ot.
30. Udržuje stálou řeznou rychlost změnou otáček.

31. L Z-2 F50.
32. Nástroje, upnutí, nulu a korekce.
33. Horní 20,000 a dolní 19,987 mm.
34. Díl je zmetek, rozměr je mimo toleranci.
35. Změříš průměr na začátku a u dna díry a porovnáš.

Slovníček

Pojem	Vysvětlení
Blok	jeden řádek programu
Destička	vyměnitelný břit nástroje
Hrubování	rychlé odebrání materiálu s přídavkem
Korekce	hodnota, o kterou systém upraví dráhu
Simulace	ověření programu bez pohybu stroje
Úchylkoměr	měřidlo rozdílů, číselníkové hodinky

Zdroje

- SOŠ Frýdek-Místek: stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, sosfm.cz. Vlastní školní osnova nebyla při přípravě dostupná, rozpis témat určuje učitel odborného výcviku.
- ŠVP Obráběč kovů 23-56-H/01: SOŠ Josefa Sousedíka Vsetín (2021), SŠ Edvarda Beneše Břeclav (2024), SŠ polytechnická Vyškov, zaměření CNC (2025). Sloužily jako inspirace pro rozložení učiva do ročníků.
- Rámcový vzdělávací program 23-56-H/01 Obráběč kovů, MŠMT, 2020.
- Školní materiály CNC soustruh a CNC frézka: Mikroprog a Heidenhain. Ukázky programů jsou z nich převzaté a před spuštěním na stroji je ověř v simulaci.
- Schémata bez uvedeného vlastníka jsou vlastní zpracování.

Přehled reálných obrázků

Obrázek	Vlastník
Obálka vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HwacheonCentreLathe_460x1000.jpg

Obrázek	Vlastník
Obálka vpravo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeikiLathe.jpg
Obr. 1.1 vlevo	Claude villetaneuse, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CFBS_-_Tour_fabriqué_par_Cazeneuve.JPG
Obr. 1.1 vpravo	Nathaniel C. Sheetz, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Small_CNC_Turning_Center.jpg
Obr. 2.2	Greudin, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour-chariotage-couteau.jpg
Obr. 2.3	Niharsd.mech, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_chip.jpg
Obr. 2.4	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SwarfSamples.jpg
Obr. 2.5	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Makino-S33-MachiningCenter-example.jpg
Obr. 2.6	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LatheCarbideTippedTool.jpg
Obr. 2.7 vlevo	Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteSchlicht.jpg
Obr. 2.7 vpravo	Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteSchrupp.jpg
Obr. 2.8 vlevo	Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteGewinde.jpg
Obr. 2.8 vpravo	Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteStech.jpg
Obr. 3.2	MacGyver2000, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Condorvs.jpg
Obr. 3.3	Work With Sounds, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metal_lathe_used_to_produce_flywheels.JPG
Obr. 3.4	TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C512_single-column_vertical_lathe_20260331130236.jpg
Obr. 3.5	Three-quarter-ten, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brown_and_Sharpe_No_1_wire_feed_screw_machine_001.jpg
Obr. 3.6	Dispossessed1974, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Multi_spindle_lathe_2.JPG
Obr. 3.7	Mike Zielinski, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kent_USA_KLS-1840N_CNC_Lathe.jpg
Obr. 3.8	Whoisjohngalt, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Okuma_MULTUS_U3000_multi-tasking_machine_with_automatic_tool_changer_2.jpg

Obrázek	Vlastník
Obr. 3.9	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ThreeJawChuckKey.jpg
Obr. 3.10	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FourJawChuckIndependent.jpg
Obr. 3.11	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathe_Dog_in_Use.jpg
Obr. 3.12	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CenterLiveDead.jpg
Obr. 3.13	Aweber4418, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ER_Collet.jpg
Obr. 3.15	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LatheCarbideTippedBoringThreadingBars.jpg
Obr. 3.18	tony_duell, Wikimedia Commons, licence CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boring_Spool_Hole.jpg
Obr. 4.3	Dan Bollinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bridgeport_knee_mill_restored.jpg
Obr. 4.4	Neznámý autor, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lantern_Slide_-_Tangyes_Ltd,_Horizontal_Milling_Machine,_circa_1910_(2).jpg, oříznuto
Obr. 4.5	Sunny Zhao, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Unique_universal_milling_machine_XQ6226W.jpg
Obr. 4.6	Mike Zielinski, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kent_USA_MACHINING_CENTER_KVR-4020A.jpg
Obr. 4.7	TurnOnTheNight, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SMTCL_VMC0656e_5-axis_machining_center_20260331123404.jpg
Obr. 4.9	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterSlotEndMillBallnose.jpg
Obr. 4.10	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillingCutterCarbideTippedFaceMill-INT40.jpg
Obr. 4.11	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MillSideAndFaceCutter.jpg
Obr. 4.13	Dirk Gräfe, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teilapparat_Bezeichnungen.jpg
Obr. 4.14	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IndexingHead-Tailstock.jpg
Obr. 4.15	Dirk Gräfe, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Teilapparat_Lochscheibe2.JPG

Obrázek	Vlastník
Obr. 4.16	GasspariniMB, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chain_type_changer_and_arm_with_two_grippers.jpg
Obr. 5.1	Graibeard, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BallScrewNut-showing-balls-recirculating-tubes.jpg
Obr. 6.1 vlevo	Mikronex s.r.o., prospekt MIKROPROG F a S (V4), s. 1
Obr. 6.1 vpravo	© DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, příručka iTNC 530 Cycle Programming, dok. 670388-25, s. 1
Obr. 6.4 vlevo	Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Galerie
Obr. 6.4 vpravo	Mikronex s.r.o., mikronex.cz, stránka Galerie
Obr. 6.7	Mikronex s.r.o., prospekt MIKROPROG F a S (V4), s. 2
Obr. 6.9	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MoriSeiki-setting.jpg
Obr. 6.10	Mikronex s.r.o., prospekt Řídící systémy MIKROPROG, s. 2
Obr. 7.1	Splarka at English Wikipedia, Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Micrometers.jpg
Obr. 7.2	Rrudzik, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3_point_micrometer.jpg
Obr. 7.3	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugePlugSpecialGoNoGo.jpg
Obr. 7.4	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GaugeGapPlainGoNoGo.jpg
Obr. 7.6	Andy Dingley, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Talysurf,_Snibston.jpg
Obr. 7.7	David English, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Checking_Runout_With_Dial_Test_Indicator.jpg
Obr. 7.8	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG
Obr. 7.9	User:Wickipädiater based on file of Jahobr, Wikimedia Commons, licence CC0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gewindeschablone-waagerecht.jpg

PAMATUJ

Tabulkové řezné podmínky jsou orientační. Vždy platí údaje výrobce nástroje, návod ke stroji a pokyny UOV.