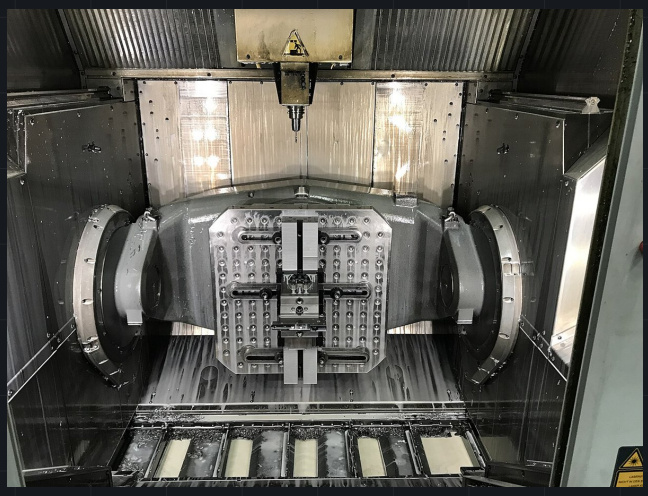
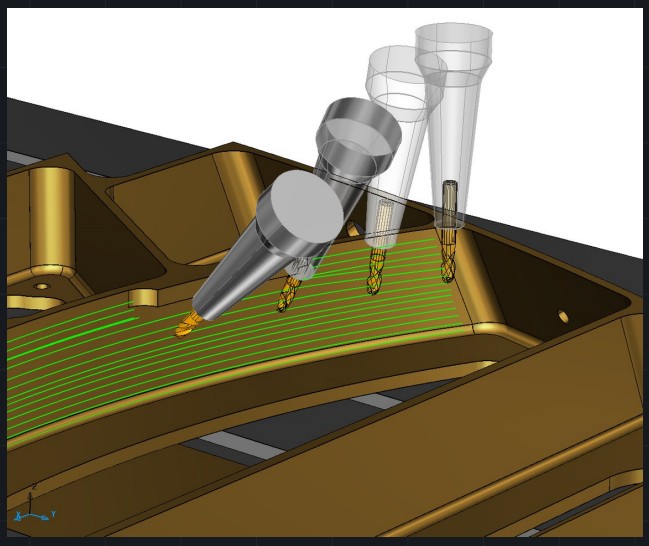
TEORIE ODBORNÉHO VÝCVIKU

4. ročník

Programátor CNC strojů: technologie, pokročilé programování, CAD/CAM, víceosé obrábění, optimalizace, kvalita a příprava k maturitě





Fotografie: vlevo Maschinologen, CC BY-SA 4.0; vpravo Delcam Plc, CC BY-SA 3.0; obě Wikimedia Commons, adresy v kapitole Zdroje

Teorie k odbornému výcviku pro žáky 4. ročníku oboru Programátor CNC strojů (23-45-L/01 Mechanik seřizovač). Obsahuje postupy, výpočty, ukázky programů, cvičení a test s řešením.

Odborný výcvik
Programátor CNC strojů (23-45-L/01 Mechanik seřizovač)

Zpracoval: Michl Ondřej, 2.OZ
Datum: 8. 11. 2026

Obsah

ÚVOD A ROLE PROGRAMÁTORA

1 Co tě ve 4. ročníku čeká 3

2 Role CNC programátora ve firmě 6

TECHNOLOGIE A PROGRAMOVÁNÍ

3 Od výkresu k technologickému postupu 10

4 Pokročilé ruční programování 15

5 CAD/CAM 23

VÍCEOSÉ OBRÁBĚNÍ A OPTIMALIZACE

6 Víceosé obrábění 30

7 Optimalizace: čas, náklady a nástroj 35

KVALITA A PROVOZ

8 Kvalita a měření 39

9 Bezpečnost, údržba a Průmysl 4.0 47

MATURITA A OPAKOVÁNÍ

10 Maturitní díl krok za krokem 51

11 Cvičení, test, slovníček a zdroje 58

JAK SE S MANUÁLEM UČIT

1. Kapitoly 2 a 3 projdi před každým novým dílem: role, dokumentace a postup.
2. Ukázky programů v kapitole 4 jsou obecně v ISO kódu. Zápis pro školní systém hledej v jeho manuálu.
3. Výpočty v kapitolách 7 a 8 si spočítej sám a teprve pak kontroluj.
4. Před maturitou si projdi vzorový díl v kapitole 10 a test v kapitole 11.

Pořadí témat, stroje a konkrétní zadání určuje UOV podle ŠVP.

1

ÚVOD A ROLE PROGRAMÁTORA

Co tě ve 4. ročníku čeká

Co je obor Programátor CNC strojů, co říká školní vzdělávací program pro 4. ročník a jak vypadá odborná část maturity.

Tahle příručka je pro 4. ročník oboru **Programátor CNC strojů**. Tak se jmenuje školní vzdělávací program (ŠVP) SOŠ Frýdek-Místek, který vychází z rámcového vzdělávacího programu oboru **23-45-L/01 Mechanik seřizovač**. Navazuje na Teorii odborného výcviku pro 1. až 3. ročník, které jsou psané pro obor Obráběč kovů. Podle ŠVP školy totiž žáci tvého oboru po 3. ročníku skládají závěrečnou zkoušku oboru Obráběč kovů a získají výuční list. Ve 4. ročníku přichází maturita.

UOV v celém textu znamená **učitel odborného výcviku**. Konkrétní pořadí témat, stroje a zadání úloh určuje on.

Údaj	Hodnota
Název ŠVP	Programátor CNC strojů
Obor vzdělání a RVP	23-45-L/01 Mechanik seřizovač
Délka a ukončení	4 roky, denní studium, maturitní zkouška; po 3. ročníku závěrečná zkouška a výuční list oboru Obráběč kovů
Odborný výcvik ve 4. ročníku	7 hodin týdně podle učebního plánu pro 3. a 4. ročník, školní rok 2026/2027
Kde probíhá	školní dílny a od 3. ročníku také smluvní pracoviště partnerských firem v regionu
Řídicí systémy a software ve škole	Heidenhain, Sinumerik, Mikroprog, Eltek; CAD SolidWorks a CAM SolidCAM (podle stránky oboru na sosfm.cz)

Co říká školní vzdělávací program

Rozložení učiva v této příručce vychází přímo ze ŠVP Programátor CNC strojů, z učební osnovy předmětu Odborný výcvik pro 4. ročník. Doplňují ho témata, která ŠVP ve 4. ročníku zařazuje do předmětů CAD/CAM systémy, Technologie a Kontrola a měření, protože programátor je v dílně potřebuje.

Téma podle ŠVP, 4. ročník	Předmět ŠVP	Kapitola
Programování složitých součástí, sestavování složitých programů	Odborný výcvik	3, 4, 10
Přechod CAD/CAM, generování CNC kódu postprocesorem, simulace	Odborný výcvik, CAD/CAM systémy	5
Širší možnosti dílenského programování, pomůcky s grafickým vyjádřením dráhy nástroje	Odborný výcvik	2, 5
Tvorba knihovny nástrojů, zásobníky nástrojů, seřízení nástrojů	Odborný výcvik	3
Vkládání a odzkoušení programů, korekce, zaškolení operátora	Odborný výcvik	2, 10
Řízení bezpečnosti práce, pracovněprávní problematika BOZP, pracovní úraz	Odborný výcvik	9
Měření a kontrola obráběných součástí, teorie chyb, 3D měření, CAQ	Odborný výcvik, Kontrola a měření	8
Další možnosti frézování a soustružení tvarových ploch	Technologie	4, 6

Co budeš na konci umět

ŠVP pro 4. ročník odborného výcviku uvádí tyto výsledky vzdělávání. Ber je jako seznam, podle kterého si na konci roku sám zkontroluješ, kde jsi.

- vytváříš na PC programy pro obráběcí operace technologicky složitějších obrobků,
- vytváříš programy pro technologicky nesložité obrobky zadáváním z řídicího panelu v rámci dílenského programování nebo přenosem CAD tvarů do CAM,
- vkládáš programy do CNC strojů, přezkušuješ je a provádíš jejich korekce,
- upínáš nástroje, přípravky a upínací zařízení obrobků a seřizuješ jejich polohu, nastavuješ otáčky a posuvy,
- kontroluješ výsledky operací na seřízených strojích,
- instruuješ a zaškoluješ operátory seřízených strojů.

Odborná část maturity

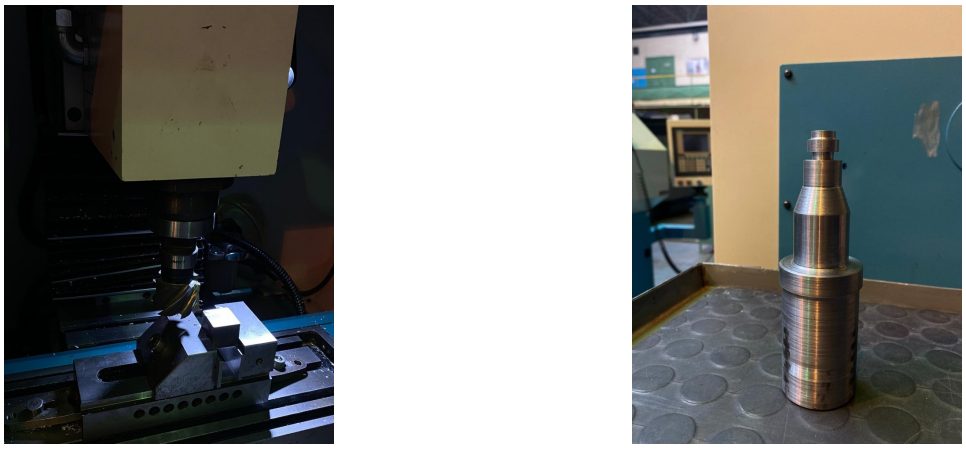
Profilová část maturitní zkoušky se podle ŠVP skládá ze tří zkoušek. Témata ústních zkoušek pro školní rok 2026/2027 zveřejňuje škola na webu v sekci maturit.

Zkouška	Obsah podle ŠVP a webu školy	Kde ti pomůže tahle příručka
Praktická zkouška z odborného výcviku	naprogramování stroje, zhotovení a seřízení výrobku	celá, hlavně kapitoly 3, 4 a 10
Ústní, odborné předměty I	Technologie, Kontrola a měření, Základy technické mechaniky (mezi 30 tématy například řezné podmínky a jejich optimalizace, opotřebení nástrojů, CNC stroje, řídicí systémy, nástroje, technologické postupy)	kapitoly 3, 5 až 8
Ústní, odborné předměty II	Strojírenská technologie, Strojnictví, Stroje a zařízení, Technická dokumentace (mezi 25 tématy například čtení výkresů, průmyslové roboty a manipulátory)	kapitoly 3 a 9

Jak příručka navazuje na ostatní materiály

Podrobnosti konkrétních řídicích systémů se tady znovu nevykládají. Když narazíš na zápis pro Heidenhain, Sinumerik, Mikroprog, Eltek nebo ProtoTRAK, otevři jejich samostatný manuál. Zde se učíš principy, které platí pro všechny systémy, a ukázky jsou obecně v ISO kódu.

Potřebuješ	Kde to najdeš
základy CNC, osy, body, korekce	Teorie 2. ročník, kapitola 6; CNC soustruh a CNC frézka
seřízení, cykly Mikroprog a Heidenhain, výpočty, trend rozměrů	Teorie 3. ročník, kapitoly 4 až 7
zápis programu na konkrétním systému	Manual Heidenhain, Manual Sinumerik, Manual Mikroprog, Manual Eltek, Manual ProtoTRAK
otáčky n = vc · 1000 / (3,14 · d), posuv a strojní čas	Řezné otáčky
destičky, držáky, Taylorův vztah a trvanlivost	Nástroje a břitové destičky
měřidla, záznam měření	Měření a měřidla
upínání a ustavení obrobků	Upínání obrobků
hledání příčin chyb	Závady a zmetky



Obr. 1.1 Frézování obrobku ve svěráku (vlevo) a soustružený díl (vpravo), fotografie z galerie oboru Obráběč kovů na webu školy.
Vlastník obrázku: Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie

CO SI ZAPAMATOVAT

- Obor se jmenuje Programátor CNC strojů a vychází z RVP 23-45-L/01 Mechanik seřizovač.
- Odborný výcvik má ve 4. ročníku 7 hodin týdně, část probíhá na smluvních pracovištích.
- Praktická maturitní zkouška znamená naprogramovat stroj, zhotovit a seřídit výrobek.
- Zápis pro konkrétní řízení hledej v manuálu daného systému, tady jsou principy a obecný ISO kód.

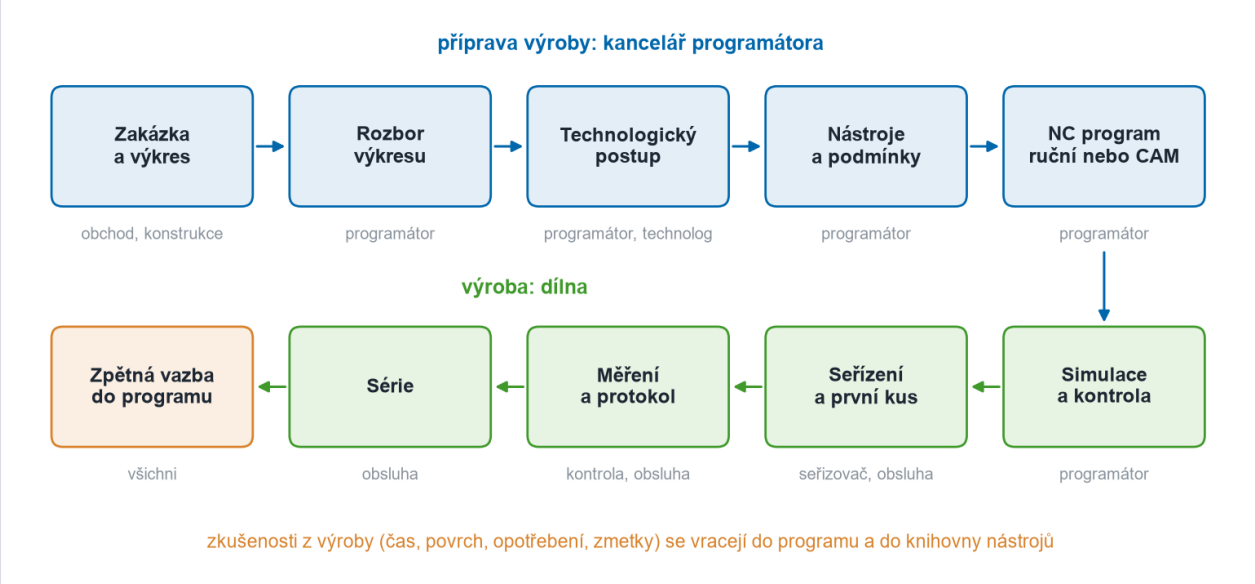
2

ÚVOD A ROLE PROGRAMÁTORA

Role CNC programátora ve firmě

Co programátor ve firmě dělá, jakou dokumentaci předává do dílny a jak spolupracuje s obsluhou stroje.

Programátor stojí mezi konstrukcí a dílnou. Konstruktér řekne, **jak má díl vypadat**. Programátor rozhodne, **jak se vyrobí**: z jakého polotovaru, v kolika upnutích, jakými nástroji a jakým programem. Obsluha pak podle jeho podkladů stroj seřídí a vyrábí. Když programátor něco zanedbá, chyba se projeví až u stroje, kde je nejdražší.



Obr. 2.1 Cesta zakázky od výkresu k sérii. Modrá část je příprava výroby, zelená výroba v dílně, oranžová zpětná vazba.

Co programátor dělá

- **Technologická příprava**: rozbor výkresu, volba polotovaru, upnutí, pořadí operací, nástrojů a řezných podmínek (kapitola 3).
- **Tvorba programu**: ručně, dílensky na řídicím systému nebo v CAM (kapitoly 4 a 5).
- **Ověření**: simulace, kontrola kolizí, první kus a jeho měření (kapitoly 5 a 8).
- **Dokumentace**: seřizovací list, list nástrojů, kontrolní plán a archiv programů.
- **Podpora výroby**: úpravy po prvním kusu, zkracování časů, řešení zmetků (kapitoly 7 a 8).

Dokumentace pro dílnu

Dokument	Co obsahuje	Kdo ho používá
Výkres	tvar, rozměry, tolerance, drsnost, materiál, počet kusů	všichni, je nadřazený všemu ostatnímu
Technologický postup	operace, stroje, upnutí, nástroje, měřidla, časy	mistr, seřizovač, plánování
NC program	dráhy, nástroje, otáčky, posuvy, cykly	stroj, seřizovač
Seřizovací list	upnutí, nulový bod, vysunutí, nástroje s korekcemi, číslo programu	seřizovač, obsluha
List nástrojů	číslo, typ, rozměr, destička, vyložení, poloha v zásobníku	seřizovač, výdejna nástrojů

Dokument	Co obsahuje	Kdo ho používá
Kontrolní plán	co se měří, čím, jak často, kam se zapisuje	obsluha, kontrola
Protokol prvního kusu	naměřené hodnoty všech kót a závěr	kontrola, zákazník

Správa programů a verzí

Program je výrobní dokument stejně jako výkres. Musí být jasné, ke kterému dílu, operaci a změně výkresu patří. Když se upraví na stroji, oprava se musí vrátit do archivu nebo do CAM, jinak se při další zakázce použije stará verze se stejnou chybou.

- V názvu nebo hlavičce programu je číslo dílu, operace a verze. Příklad: díl 4521, operace 30, verze C.
- V hlavičce je komentář s nulovým bodem, upnutím a seznamem nástrojů.
- Programy se přenášejí po síti nebo přes datové médium. Ruční přepisování dlouhých programů je zdroj chyb.
- Změna výkresu znamená novou verzi programu. Starou verzi stáhni ze stroje, aby se nespustila omylem.

Dílenské a kancelářské programování

	Dílenské programování	Programování v kanceláři
Kde	přímo na řídicím systému stroje	na PC, ručně nebo v CAM
Jak	dialog, grafika, cykly: ShopMill a ShopTurn, popisný dialog Heidenhain, eventy ProtoTRAK	G kód, CAM dráhy, postprocesor
Kdy se hodí	kusová výroba, jednoduché díly, rychlá úprava	složité tvary, víc os, série, opakované zakázky
Nevýhoda	stroj při programování stojí	nutný správný postprocesor a ověření
Kde najdeš víc	manuály Sinumerik (kap. 10), Heidenhain, ProtoTRAK, Eltek	kapitola 5

Spolupráce s obsluhou a zaškolení operátora

ŠVP pro 4. ročník uvádí, že máš umět instruovat a zaškolit operátora seřízeného stroje. Dobrý program nestačí, obsluha musí vědět, na co si dát pozor. Při předání programu postupuj takto:

1. Projdi s obsluhou seřizovací list: upnutí, nulový bod, nástroje a korekce.
2. Ukaž místa v programu, kde je zastavení M0 nebo M1, a proč tam je.
3. Řekni, které kóty jsou kritické, čím se měří a jak často.
4. Vysvětli, jak se koriguje rozměr a do které korekce se zapisuje opotřebení.
5. Domluvte se, kdy má obsluha stroj zastavit a koho volat.
6. Vyslechni připomínky obsluhy. Ta vidí, co se děje u stroje, a často navrhne lepší upnutí nebo pořadí.

TIP

Napiš důležité poznámky přímo do programu jako komentáře. Obsluha je uvidí na obrazovce právě tehdy, když je potřebuje.



Obr. 2.2 Vertikální obráběcí centrum s řídicím systémem FANUC (vlevo) a řídicí panel SIEMENS s grafickou simulací programu, fotografie z galerie oboru na webu školy (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Mike Zielinski, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kent_USA_MACHINING_CENTER_KVR-4020A.jpg; vpravo Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie

CO SI ZAPAMATOVAT

- Programátor rozhoduje, jak se díl vyrobí, a předává dílně program i dokumentaci.
- Seřizovací list, list nástrojů a kontrolní plán jsou stejně důležité jako program.
- Oprava provedená na stroji se musí vrátit do archivu nebo do CAM.
- Při předání programu vysvětli obsluze kritické kóty, korekce a zastavení M0 a M1.

3

TECHNOLOGIE A PROGRAMOVÁNÍ

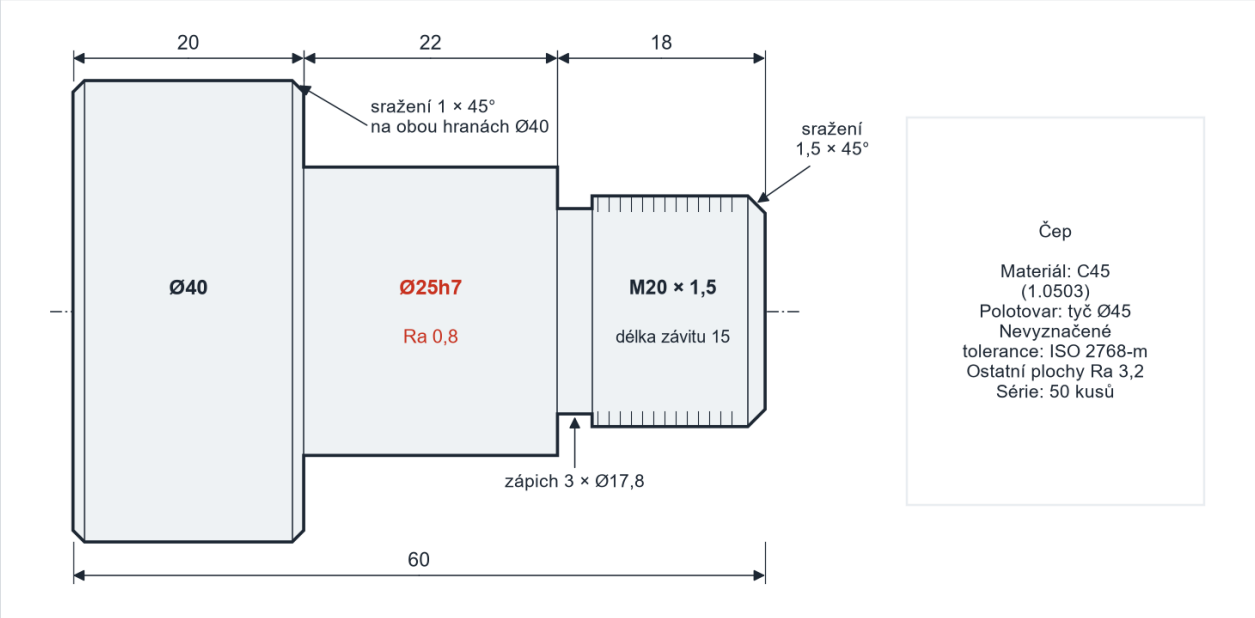
Od výkresu k technologickému postupu

Rozbor výkresu, polotovar, ustavení a upnutí, pořadí operací, nástroje z katalogu, seřizovací list a knihovna nástrojů.

Program je až poslední krok přípravy. Před ním musíš vědět, z čeho díl uděláš, jak ho upneš, v jakém pořadí ho obrobíš a jakými nástroji. V celé kapitole to projdeme na čepu, jehož dokončovací konturu v kapitole 4 i naprogramujeme.

Rozbor výkresu

- **Materiál a jeho stav**: označení, tepelné zpracování, obrobitelnost (skupina ISO P, M, K, N, S, H).
- **Rozměry s tolerancí**: najdi nejpřesnější kóty, ty rozhodnou o nástroji, upnutí a měření.
- **Geometrické tolerance a základny**: plochy, které na sebe navazují, obráběj na jedno upnutí.
- **Drsnost**: určí dokončovací posuv a poloměr špičky.
- **Prvky**: závity, zápichy, sražení, díry, drážky.
- **Nevyznačené tolerance**: obvykle odkaz na ISO 2768 v popisovém poli.
- **Počet kusů**: rozhodne mezi jednoduchým upnutím a přípravkem, mezi ručním programem a CAM.



Obr. 3.1 Zjednodušený výkres čepu, který v kapitolách 3 a 4 provedeme od rozboru po dokončovací konturu.

Rozbor čepu shrnuje tabulka. U nevyznačených rozměrů platí ISO 2768-m, tedy ±0,3 mm pro rozměry nad 30 do 120 mm a ±0,2 mm nad 6 do 30 mm.

Prvek	Požadavek	Co z toho plyne pro technologii
Ø25h7, Ra 0,8	25,000 až 24,979 mm	jemné dokončení, program na střed pole X24.99, měření mikrometrem
M20 × 1,5	metrický jemný závit	zápich pro výběh nože, závitový nůž, kontrola kroužkovým kalibrem
Ø40	ISO 2768-m	hrubování a dokončení, sražení na obou hranách
délka 60	±0,3 mm	dvě upnutí, zarovnání druhého čela na délku
C45, 50 kusů	ocel skupiny ISO P, malá série	CNC soustruh, destičky pro ocel, měkké čelisti na 2. upnutí

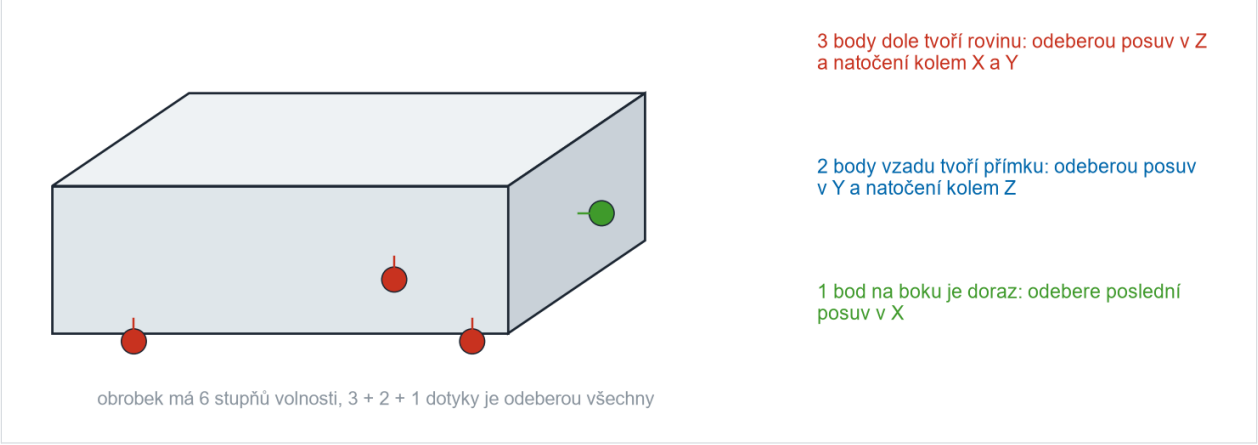
Volba polotovaru

Polotovar volíš v nejbližším vyráběném rozměru, který je větší než největší průměr dílu, aby zbyl přídavek na obrobení. Čep Ø40 se udělá z tyče Ø45. Na pile se nařežou kusy dlouhé 64 mm, tedy 2 mm přídavek na každé čelo. Hmotnost spočítáš z objemu a hustoty oceli 7,85 g/cm³, to je 0,00785 g/mm³.

> Polotovar V = 3,14 · 22,5² · 64 = 101 736 mm³
> m = 101 736 · 0,00785 = 799 g, tedy asi 0,80 kg
> Hotový čep V ≈ 3,14 / 4 · (20² · 18 + 25² · 22 + 40² · 20) = 41 566 mm³ → 326 g
> Do třísek odejde asi 59 % materiálu.

Ustavení a upnutí

Obrobek má v prostoru šest stupňů volnosti: tři posuvy a tři natočení. Ustavení je musí odebrat. Pravidlo **3-2-1** říká, že na to stačí tři body v jedné rovině, dva body na přímce a jeden doraz. Za základny volíš funkční plochy z výkresu, od kterých se kótuje.



Obr. 3.2 Princip ustavení 3-2-1 na hranolovém obrobku. Stejnou logiku použije i souřadnicový měřicí stroj při vyrovnání dílu.

- **1. upnutí čepu**: tvrdé čelisti za Ø45, vysunutí asi 52 mm, aby mezi nožem a čelistmi zůstaly 4 mm. Obrobí se čelo, závitová část, Ø25h7 a Ø40 do délky 46 mm.
- **2. upnutí**: měkké čelisti vysoustružené na Ø25. Nepoškodí přesnou plochu a díl běží souose. Zarovná se čelo na délku 60, osoustruží se zbylých 14 mm průměru Ø40 s malým přesahem a srazí se hrana Ø40.
- Podrobně o čelistech, vysunutí a upínací síle píše příručka Upínání obrobků.

Pořadí operací

- Nejdřív hrubování, potom dokončování. Hrubováním se uvolní pnutí a díl se může mírně zkřivit.
- Nejdřív plochy, které budou základnou pro další upnutí.
- Plochy, které musí být souosé nebo kolmé, obrob na jedno upnutí.
- Zápich před závitem, díra před závitníkem, navrtání před vrtáním.
- Seskup práci podle nástroje, ať je co nejméně výměn, ale přesnost má přednost před časem.

Op.	Pracoviště	Popis práce	Upnutí	Kontrola
10	pila	dělit tyč Ø45 na délku 64	svěrák pily	měřítko
20	CNC soustruh	čelo, hrubovat a dokončit Ø20, Ø25h7, Ø40, zápich, závit M20 × 1,5	tvrdé čelisti za Ø45	mikrometr, kalibr
30	CNC soustruh	zarovnat na délku 60, dokončit zbytek Ø40, srazit hranu Ø40	měkké čelisti za Ø25	posuvné měřítko
40	kontrola	všechny kóty u prvního kusu, dále podle plánu		protokol

Nástroje a řezné podmínky z katalogu

Řezné podmínky neber z hlavy. Postupuj vždy stejně:

1. Urči skupinu materiálu podle ISO 513: C45 patří do skupiny P (ocel).
2. Vyber nástroj pro operaci: držák podle ISO 5608 a destičku podle ISO 1832. Kódy vysvětluje příručka Nástroje a břitové destičky.
3. V katalogu výrobce najdi pro zvolenou destičku a utvařeč výchozí vc, f a ap.
4. Přepočítej na otáčky: n = vc · 1000 / (3,14 · d). Pro vrtáky platí školní výchozí hodnoty 20 m/min pro HSS a 80 m/min pro slinutý karbid z příručky Řezné otáčky.
5. Zkontroluj omezení stroje: největší otáčky, výkon vřetena, tuhost upnutí.
6. Ověř na prvním kuse a podle třísky, povrchu a zvuku dolaď.

Hodnoty v listu nástrojů jsou orientační výchozí hodnoty pro výpočet. Ve firmě je vezmeš z katalogu výrobce konkrétní destičky.

T	Nástroj	Označení	vc [m/min]	f [mm/ot]	ap [mm]
01	hrubovací nůž	držák PCLNR 2525M12, destička CNMG 120408	200	0,25	2
03	dokončovací nůž	držák SVJBR 2525M16, destička VBMT 160404	250	0,08	0,3
05	zapichovací nůž	šířka 3 mm	100	0,05	
07	závitový nůž	destička pro vnější metrický závit, P = 1,5	100	1,5	po třískách



Obr. 3.3 Vyměnitelné destičky 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

Dokončovací posuv ověř vzorcem pro teoretickou drsnost z Teorie 3. ročníku. Destička VBMT 160404 má poloměr špičky 0,4 mm:

> $Rz \approx 1000 \cdot f^2 / (8 \cdot r) \quad = 1000 \cdot 0{,}08^2 / (8 \cdot 0{,}4) = 2{,}0\ \mu m$
> Ra je vždy menší než Rz, předepsaná Ra 0,8 má proto rezervu.

Seřizovací list

Položka	Čep 4521, operace 20
Stroj a program	CNC soustruh, program O4521, verze A
Upnutí	tříčelisťové sklíčidlo, tvrdé čelisti, vysunutí 52 mm od čelistí
Nulový bod	osa vřetena, Z0 na čele hotového dílu (při seřízení zarovnat 2 mm přídavku)
Nástroje	T01, T03, T05, T07 podle listu nástrojů, korekce změřené a zapsané
Omezení otáček	3 000 ot/min pro konstantní řeznou rychlost
Kritické kóty	Ø25h7 mikrometrem 25 až 50 mm, M20 × 1,5 kroužkovým kalibrem
Četnost kontroly	první kus celý, pak každý 5. kus kritické kóty, zápis do karty

Knihovna nástrojů a zásobník

Ve firmě se nástroje nevymýšlejí pro každý program znovu. Vede se **knihovna nástrojů** v CAM i na stroji: číslo, typ, rozměry, držák, vyložení, řezné podmínky pro materiály a životnost. Program pak jen sáhne po ověřeném nástroji. Délku a průměr nástroje změří **seřizovací přístroj** mimo stroj, takže stroj mezitím vyrábí. Naměřené hodnoty se přenesou do tabulky nástrojů řízení.

- Stejný nástroj má ve všech programech stejné číslo a stejné místo v zásobníku.
- Vyložení nástroje zapiš do knihovny. CAM i simulace s ním počítají kvůli kolizím.
- Opotřebené nástroje hlídá řízení podle počtu kusů nebo času, pokud to stroj umí.





Obr. 3.4 Seřizovací přístroj nástrojů DMG Mori Microset v dílně francouzského lycea (vlevo) a řetězový zásobník nástrojů s výměnou nástroje (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Cjp24, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lycée_Albert-Claveille_10.jpg; vpravo GasparíniMB, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chain_type_changer_and_arm_with_two_grippers.jpg

CO SI ZAPAMATOVAT

- Rozbor výkresu začíná nejpřesnějšími kótami, materiálem a počtem kusů.
- Pravidlo 3-2-1 odebere obrobku všech šest stupňů volnosti.
- Plochy, které na sebe navazují, obráběj na jedno upnutí.
- Řezné podmínky ber z katalogu výrobce a přepočítej na otáčky n = vc · 1000 / (3,14 · d).
- Seřizovací list a knihovna nástrojů zajistí, že stroj seřídí každý stejně.

4

TECHNOLOGIE A PROGRAMOVÁNÍ

Pokročilé ruční programování

Oblouky, polární souřadnice, podprogramy, parametry, transformace, závity a osa C obecně v ISO kódu.

I když složité díly programuje CAM, programátor musí umět číst a psát G kód. Kontroluje výstup postprocesoru, opravuje programy u stroje a krátké programy píše rychleji ručně. Ukázky v této kapitole jsou v **ISO kódu ve stylu Fanuc**. Odpovídají popisu ISO dialektu v příručce SINUMERIK ISO Milling (Siemens, 2012). Na konkrétním stroji se zapisují podle manuálu jeho řídicího systému, a právě tam se systémy nejvíc liší.

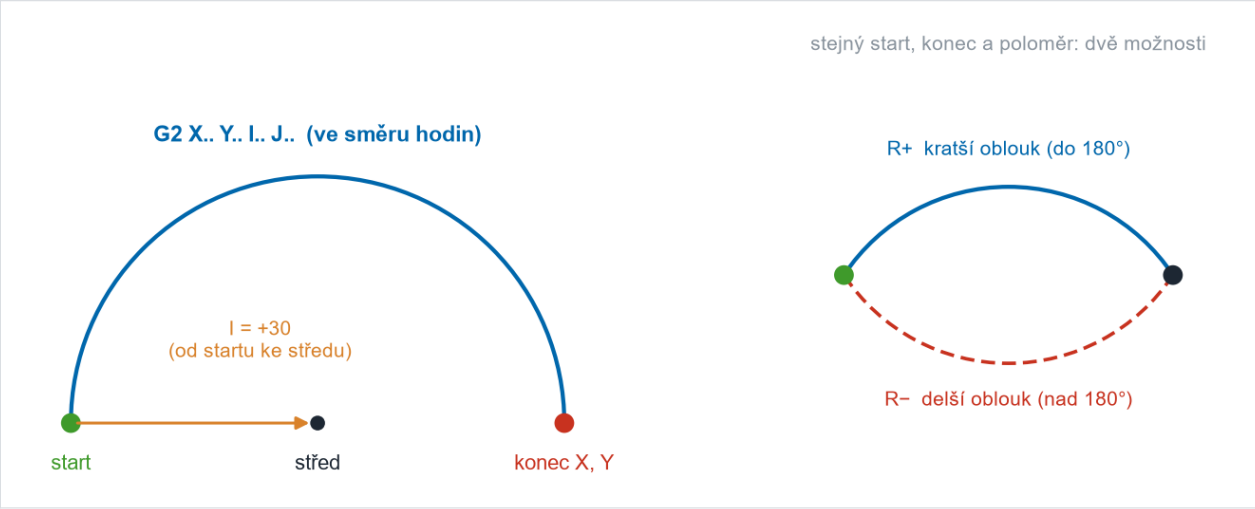
POZOR

Ukázky jsou učební. Před spuštěním na stroji je vždy přepiš podle manuálu systému, ověř simulací a ukaž UOV.

Kruhová interpolace

G2 je oblouk ve směru hodinových ručiček, **G3** proti směru. Díváš se přitom z kladného konce osy kolmé na rovinu, u roviny XY (G17) tedy shora. Oblouk zadáš koncovým bodem a buď středem, nebo poloměrem:

- **I, J, K** jsou ve stylu Fanuc přírůstkové: vektor od startu oblouku do středu ve směru X, Y a Z.
- **R** je poloměr. Kladné R dává kratší oblouk do 180°, záporné delší. Plnou kružnici s R nezapíšeš, protože by start a konec splynuly.
- **Plná kružnice** se zapíše jen středem, například **G3 I-20**: konec je stejný jako start.
- **Šroubovice** vznikne, když do bloku s G2 nebo G3 přidáš pohyb v ose Z. Kruhový pohyb v rovině a přímý pohyb v Z běží současně.



Obr. 4.1 Oblouk zadaný středem přes I a J (vlevo) a dvě možnosti oblouku zadaného poloměrem R (vpravo).

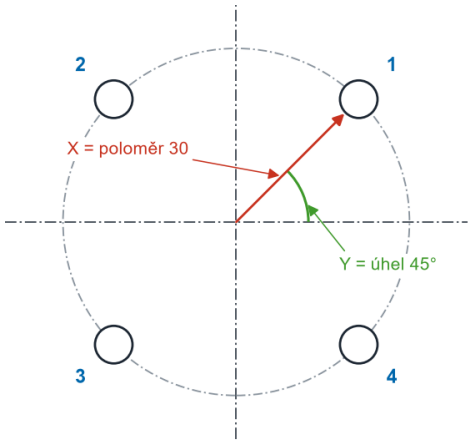
Šroubovicové zanoření do kruhové kapsy: fréza Ø16 krouží kolem středu po poloměru 5 mm a za každou otáčku klesne o 2 mm. Nepotřebuje předvrtanou díru a zatěžuje nástroj rovnoměrně.

Poslední blok je kruh bez pohybu v Z, který srovná dno. Celý příklad je součástí maturitního dílu v kapitole 10.

```
G0 X5 Y0
G1 Z0 F150
G3 X5 Y0 Z-2 I-5 J0
G3 X5 Y0 Z-4 I-5 J0
G3 X5 Y0 Z-6 I-5 J0
G3 X5 Y0 Z-8 I-5 J0
G3 X5 Y0 I-5 J0
```

Polární souřadnice

Když jsou díry na roztečné kružnici, nemusíš počítat sinus a kosinus. Ve stylu Fanuc zapneš polární souřadnice **G16** a vypneš **G15**. V rovině G17 je pak první adresa (X) poloměr a druhá (Y) úhel. S G90 leží pól v nule obrobku, s G91 v aktuální poloze.



díra	kartézsky X, Y	polárně (G16)
1	X21.213 Y21.213	X30 Y45
2	X-21.213 Y21.213	Y135
3	X-21.213 Y-21.213	Y225
4	X21.213 Y-21.213	Y315

polárně stačí měnit úhel, souřadnice se nemusí počítat

Obr. 4.2 Čtyři díry na roztečné kružnici Ø60: stejné polohy kartézsky a polárně.

Navrtání čtyř děr navrtávákem: G81 je vrtací cyklus, R2 je rovina 2 mm nad obrobkem. G99 vrací nástroj mezi dírami do roviny R, G98 u poslední díry do výchozí výšky Z50.

Ve škole: Sinumerik zapisuje pól G111 a polohu AP= a RP= (Manual Sinumerik, kap. 5), Heidenhain pól CC a polární přímku LP s PR a PA, díry na kružnici dělá cyklus 220 (Manual Heidenhain, kap. 4), Mikroprog F má cyklus G76 pro prvky na kružnici (Teorie 3. ročník).

```
G17 G90 G54
G0 X0 Y0
G43 Z50 H3
G16              (POLARNE: X POLOMER, Y UHEL)
G99 G81 X30 Y45 Z-4.5 R2 F127
Y135
Y225
G98 Y315
G80 G15          (KONEC POLARNICH SOURADNIC)
```

Podprogramy

Část programu, která se opakuje, napíšeš jednou jako podprogram. Ve stylu Fanuc ho voláš **M98 P** s číslem programu a podprogram končí **M99**. Podle příručky Siemens lze v ISO dialektu zapsat i počet opakování, například **M98 P30021** volá program 21 třikrát. Typické použití:

- stejná kontura v několika hloubkách,
- stejný tvar na několika místech dílu s posunutím nuly,
- společná část pro víc programů, třeba výměna nástroje a odjezd.

Hlavní program nastaví hloubku a podprogram objede obrys osazení. Podprogram končí tam, kde začal, takže ho můžeš volat znovu.

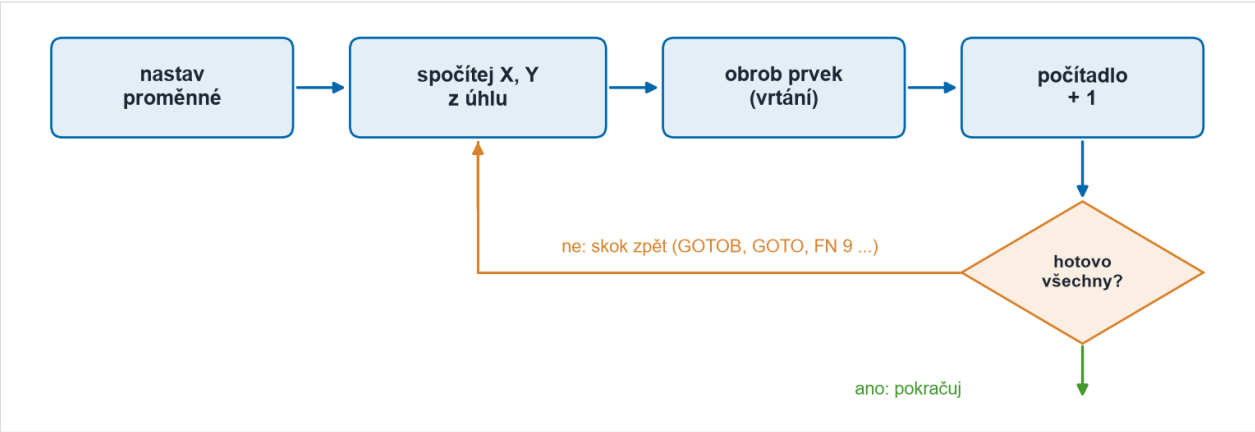
```
O2026 (HLAVNI PROGRAM)
...
G0 X-65 Y-62
Z2
G1 Z-2.5 F150
M98 P2001        (1. HLOUBKA)
G1 Z-5 F150
M98 P2001        (2. HLOUBKA)
G0 Z50
```

```
O2001 (OBRYS OSAZENI 94X74 R10)
G41 G1 X-47 Y-52 D2 F300
Y27
G2 X-37 Y37 R10
G1 X37
G2 X47 Y27 R10
G1 Y-27
G2 X37 Y-37 R10
G1 X-37
G2 X-47 Y-27 R10
G1 Y-17
G40 G1 X-65
G0 Y-62
M99
```

Ve škole: Sinumerik volá podprogram jménem nebo L s číslem (Manual Sinumerik, kap. 4), Heidenhain používá návěští LBL a volání CALL LBL s opakováním REP (Manual Heidenhain, kap. 2), Mikroprog G26 s návratem M17 a Eltek G25 a G26 (manuály Mikroprog a Eltek).

Parametrické programování

V parametrickém programu nejsou všechny hodnoty napevno, ale v **proměnných**. Program s nimi počítá, porovnává je a podle výsledku skáče. Jeden program pak vyrobí celou řadu podobných dílů, stačí změnit pár čísel na začátku.



Obr. 4.3 Smyčka v parametrickém programu: výpočet, obrobení, zvýšení počítadla a podmíněný skok zpět.

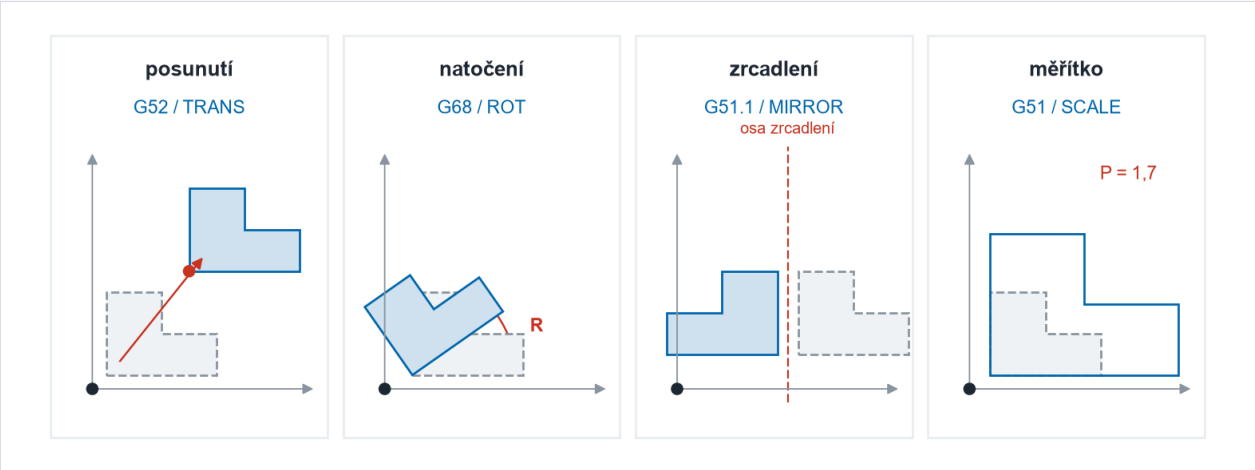
Ukázka je v syntaxi Sinumerik, který máš ve škole: R parametry, výrazy s funkcemi SIN a COS ve stupních, návěští a podmíněný skok **IF ... GOTOB** zpět. Program spočítá polohy čtyř děr na roztečné kružnici místo polárních souřadnic.

```
N10 R1=0             ; pocitadlo der
N20 R2=4             ; pocet der
N30 R3=30            ; polomer roztecne kruznice
N40 R4=45            ; uhel prvni diry
N50 DIRA: G0 X=R3*COS(R4+R1*360/R2) Y=R3*SIN(R4+R1*360/R2)
N60 G1 Z-4.5 F127
N70 G0 Z2
N80 R1=R1+1
N90 IF R1<R2 GOTOB DIRA
```

- **Sinumerik**: R parametry a uživatelské proměnné, skoky GOTOF a GOTOB, smyčky (SINUMERIK Fundamentals, Programming Manual).
- **Heidenhain**: Q parametry, výpočty FN a skok FN 9 na návěští (Manual Heidenhain, kap. 2).
- **Eltek F2000**: parametry P0 až P99, IF, FOR a WHILE (Manual Eltek, kap. 8).
- **Fanuc**: proměnné se značí znakem # a pracuje s nimi volitelná funkce maker. Rozsah a zápis ověř v dokumentaci stroje.

Transformace souřadnic

Transformace mění souřadný systém, ve kterém se pohyby provádějí. Tvar napíšeš jednou a transformací ho posuneš, natočíš, zrcadlíš nebo zvětšíš.



Obr. 4.4 Čtyři transformace: posunutí, natočení o úhel R, zrcadlení podle osy a změna měřítka.

Transformace	ISO, styl Fanuc	Sinumerik	Heidenhain iTNC
posunutí nuly	G52 X.. Y.. Z.. (zrušení G52 X0 Y0 Z0)	TRANS, ATRANS	cyklus 7
natočení	G68 X.. Y.. R.. (střed, úhel), zrušení G69	ROT, AROT RPL=	cyklus 10
zrcadlení	G51.1 X.. Y.. (poloha osy), zrušení G50.1	MIRROR, AMIRROR	cyklus 8
měřítko	G51 X.. Y.. Z.. P.., zrušení G50	SCALE, ASCALE	cyklus 11

U měřítka v ISO dialektu záleží na nastavení stroje, jestli se faktor zadává jedním P, nebo zvlášť pro osy I, J, K, a v jakých jednotkách. Měřítko proto používej jen po ověření v manuálu.

Zrcadlení čtyř stejných tvarů kolem nuly. Podprogram 3001 obsahuje tvar v prvním kvadrantu. G51.1 X0 obrátí znaménko souřadnic X, tvar se tedy zrcadlí podle přímky X = 0. G50.1 zruší zrcadlení v uvedené ose.

Podobně funguje MIRROR na Sinumerik. Příručka Siemens Fundamentals ukazuje stejný příklad se čtyřmi tvary.

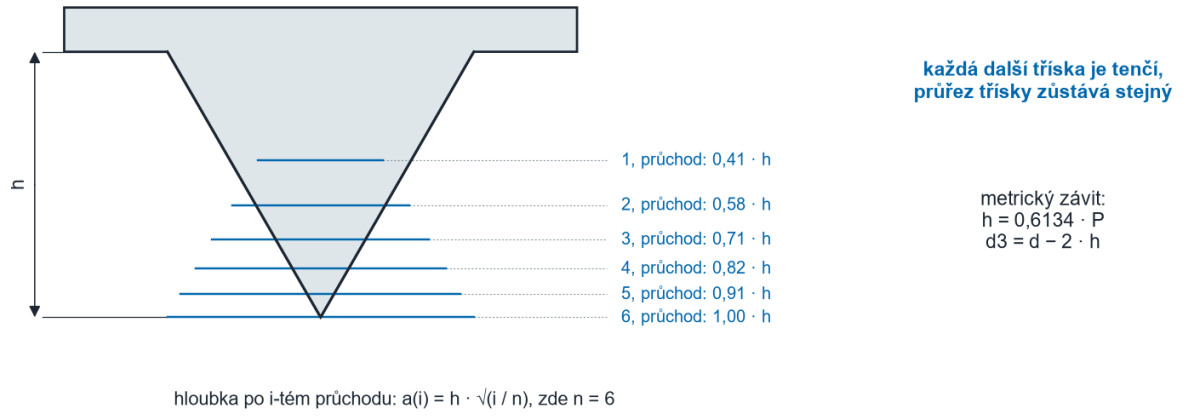
```
G90 G54 G17
M98 P3001        (TVAR 1, PUVODNI)
G51.1 X0         (ZRCADLI SOURADNICE X)
M98 P3001        (TVAR 2)
G51.1 Y0         (ZRCADLI I SOURADNICE Y)
M98 P3001        (TVAR 3)
G50.1 X0         (ZRUSI ZRCADLENI X)
M98 P3001        (TVAR 4)
G50.1 Y0         (ZRUSI ZRCADLENI Y)
```

> **POZOR**
> Při zrcadlení jedné osy se otočí smysl oblouků G2 a G3 i strana korekce G41 a G42. Ze sousledného frézování se stane nesousledné. Hlídej to v simulaci.

Závity

Soustružení závitu

Při soustružení závitu musí být posuv přesně svázaný s otáčením vřetena: na jednu otáčku ujede nůž jedno stoupání. Proto se na závit nepoužívá konstantní řezná rychlost a nůž musí začínat dost daleko před závitem, aby se suport stihl rozjet. Závit se řeže na několik průchodů a každá další tříska je tenčí.



Obr. 4.5 Rozdělení hloubky závitu do průchodů tak, aby měla každá tříska stejný průřez.

Proč odmocnina? Profil závitu je trojúhelník, takže plocha odebraná do hloubky a roste s druhou mocninou hloubky. Má-li mít každý z n průchodů stejnou plochu, musí být hloubka po i-tém průchodu h · √(i / n). Pro M20 × 1,5 a 6 průchodů:

h = 0,6134 · 1,5 = 0,920 mm
d3 = 20 − 2 · 0,920 = 18,16 mm, tedy X18.16
1. průchod: 0,920 · √(1/6) = 0,376 mm, X = 20 − 0,752 = 19,25
2. průchod: 0,920 · √(2/6) = 0,531 mm, X = 18,94
3. průchod: 0,920 · √(3/6) = 0,651 mm, X = 18,70
6. průchod: 0,920 mm, X = 18,16

Závitové cykly tohle rozdělení dělají samy, ty zadáš stoupání, hloubku nebo průměr jádra a počet průchodů nebo první třísku. Mikroprog S má G78 (Teorie 3. ročník), Sinumerik CYCLE99 a G33 (Manual Sinumerik, kap. 8), Eltek G78 a G79 (Manual Eltek, kap. 6). Po dosažení hloubky se často přidává průchod bez přísuvu, který srovná boky závitu.



Obr. 4.6 Vnější závitový držák s destičkou pro soustružení závitu (vlevo) a strojní závitník M24 × 2 (vpravo). *Vlastník obrázku: vlevo Àncora, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plaqueta_roscar_pas_3.jpg; vpravo Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Machine-screw-tap-1.JPG*

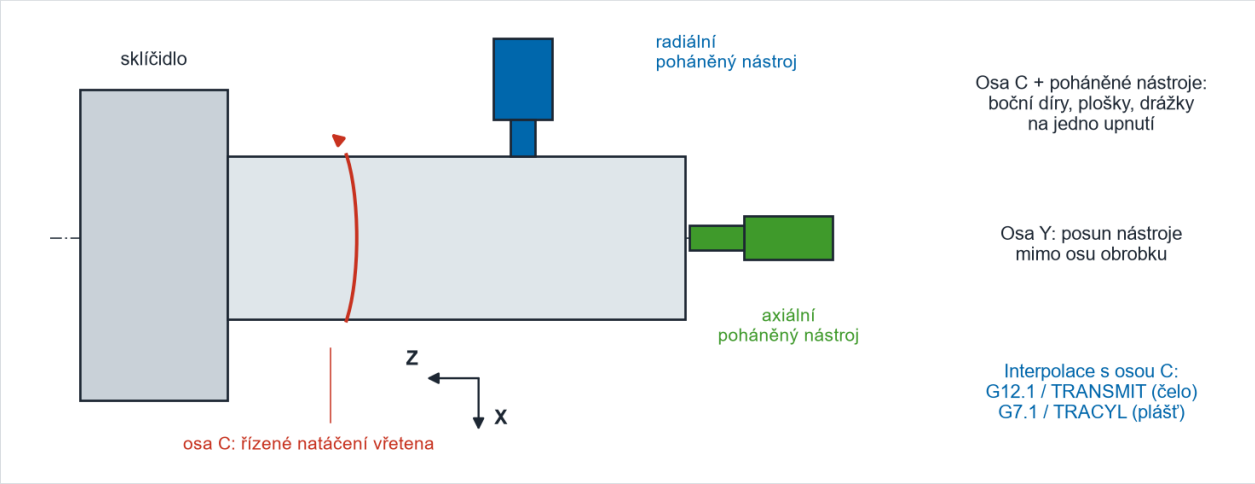
Závit frézováním a závitníkem

- **Frézování závitu**: závitová fréza jede po šroubovici G2 nebo G3 a za jednu otáčku kolem díry klesne o stoupání. Jedna fréza udělá různé průměry se stejným stoupáním.
- **Závitník v pevném upnutí**: v ISO dialektu cyklus **G84**, před ním přepnutí vřetena do polohové regulace (podle příručky Siemens **M29**). Posuv v mm/min musí odpovídat otáčkám krát stoupání.

> M8 × 1,25, n = 400 ot/min:
> F = n · P = 400 · 1,25 = 500 mm/min

Osa C a poháněné nástroje

Soustruh s **osou C** umí natočit vřeteno do přesné polohy a s ním i obrobek. S **poháněnými nástroji** v revolveru pak udělá boční díry, plošky a drážky bez přepnutí na frézku. **Osa Y** posune nástroj mimo osu obrobku. Pro frézování na čele a na plášti má řízení interpolace, které převedou kartézské souřadnice na pohyb osy C: ve stylu Fanuc G12.1 a G7.1, na Sinumerik TRANSMIT a TRACYL.



Obr. 4.7 Osa C, radiální a axiální poháněný nástroj na soustruhu. Přehled, podrobnosti jsou v dokumentaci stroje.

Ukázka: dokončovací kontura čepu

Dokončení čepu z kapitoly 3 nožem T03. Programuje se v průměrech. Přesný průměr Ø25h7 je zapsaný na střed tolerance X24.99 (kapitola 8). Korekce rádiusu špičky G42 platí pro obvyklé uspořádání, kdy osa X míří nahoru a nůž jede k mínus Z. Řádek **G50 S3000** omezuje otáčky pro konstantní řeznou rychlost ve stylu Fanuc pro soustruhy. Na Sinumerik je to LIMS, na Mikroprog S adresa A a na CNC PILOT G26.

```
O4521 (CEP 4521 OP20 DOKONCENI, VERZE A)
(NULA: OSA VRETENA, Z0 CELO HOTOVEHO DILU)
N300 T0303 (DOKONCOVACI NUZ R0.4)
N305 G50 S3000
N310 G96 S250 M3
N320 G0 X15 Z2 M8
N330 G42 G1 X17 Z0 F0.08
N340 X20 Z-1.5
N350 Z-18
N360 X24.99
N370 Z-40
N380 X38
N390 X40 Z-41
N400 Z-46
N410 G40 G0 X50
N420 Z50 M9
```

Zápich a závit se dělají samostatnými nástroji T05 a T07 a jejich cykly podle manuálu systému. Hrubování by udělal cyklus podélného hrubování, který na Mikroprog S znáš jako G64.

CO SI ZAPAMATOVAT

- I, J, K jsou ve stylu Fanuc vektor od startu oblouku ke středu, R+ je kratší a R− delší oblouk.
- G16 a G15 zapínají a vypínají polární souřadnice: X je poloměr, Y úhel.
- Podprogram se volá M98 P a končí M99, opakující se tvar napíšeš jen jednou.
- Při zrcadlení jedné osy se otočí G2 a G3 i G41 a G42.
- Hloubka po i-tém průchodu závitu je $h \cdot \sqrt{(i / n)}$, $h = 0{,}6134 \cdot P$.

5

TECHNOLOGIE A PROGRAMOVÁNÍ

CAD/CAM

Jak z 3D modelu vznikne NC program: strategie hrubování a dokončování, postprocesor, simulace a ověření na stroji.

CAM (počítačová podpora výroby) spočítá z 3D modelu dráhy nástroje a postprocesor z nich udělá program pro konkrétní stroj. Ve škole pracuješ s CAD SolidWorks a CAM SolidCAM. Ve firmách potkáš i další systémy, například Fusion, Mastercam, EdgeCAM, hyperMILL nebo PowerMILL. Princip je ve všech stejný, liší se ovládání a názvy strategií.



Obr. 5.1 Řetězec od 3D modelu k programu. Dráhy jsou neutrální, na konkrétní řízení je převede až postprocesor.

Příprava v CAM

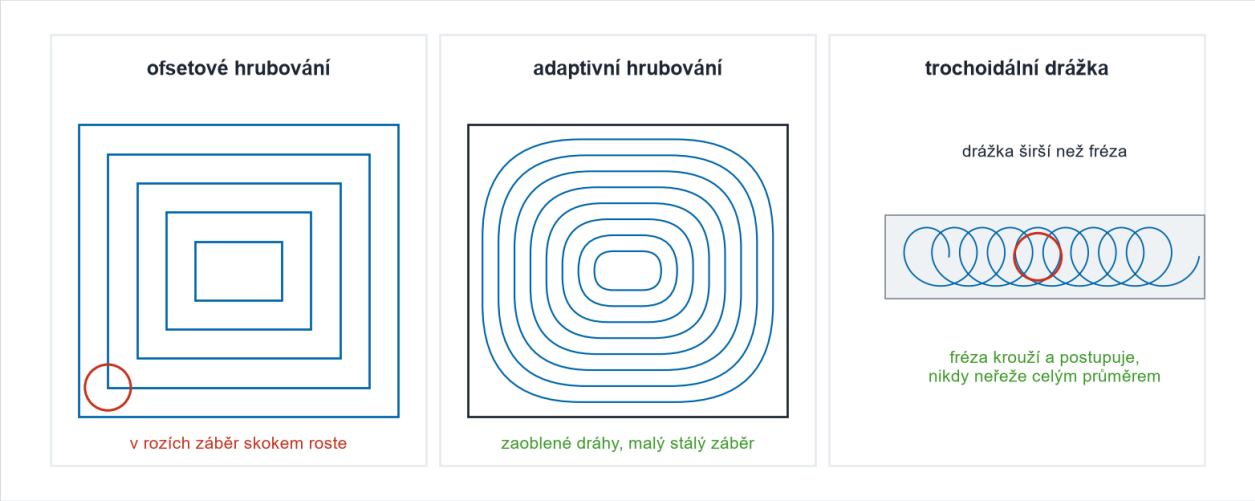
1. **Model**: převezmi model od konstrukce a ověř ho proti výkresu. Model má jmenovité rozměry, tolerance v něm nejsou.
2. **Polotovar**: kvádr, válec nebo model odlitku. Simulace podle něj počítá, kde je materiál.
3. **Nulový bod**: stejný jako na stroji, jinak program pojede jinde.
4. **Upnutí**: model svěráku nebo přípravku, aby simulace odhalila kolize.
5. **Nástroje z knihovny** včetně držáku a vyložení.
6. **Operace a strategie**: hrubování, dokončování, vrtání.
7. **Parametry**: přídavky, kroky, bezpečná a odjezdová výška, posuvy, najetí a výjezd.
8. **Simulace a postprocesor**, potom kontrola programu.

Když potřebuješ rozměr na střed tolerance, upraví se přídavek nebo korekce. Měnit model jen kvůli toleranci je možné, ale musí o tom vědět všichni, kdo s modelem pracují.

Obrábění 2,5D a 3D

	2,5D	3D
Co se obrábí	čela, obrysy, kapsy, drážky, díry	tvarové plochy: formy, zaoblení, přechody
Pohyb v Z	po hladinách, v hladině jen X a Y	plynule ve všech třech osách
Typické nástroje	stopkové a čelní frézy, vrtáky	kulové a toroidní frézy
Předloha	stačí 2D obrys a hloubky	potřebuješ 3D model

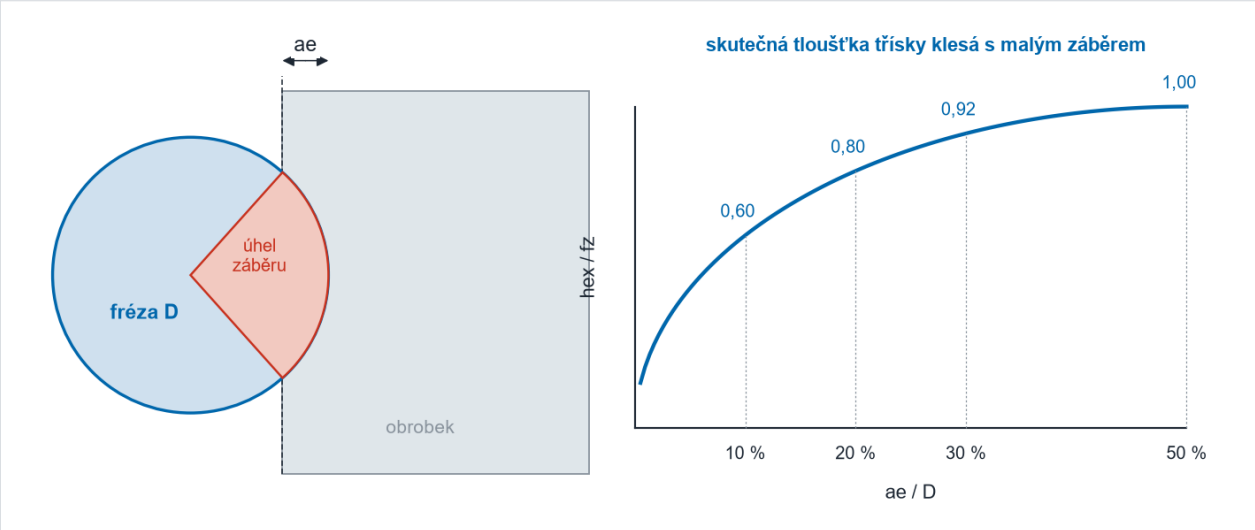
Strategie hrubování



Obr. 5.2 Ofsetové hrubování, adaptivní hrubování se stálým záběrem a trochoidální frézování drážky.

- **Ofsetové a řádkové hrubování**: dráhy kopírují obrys nebo jdou v řádcích. Je jednoduché, ale v rozích a při zajetí do plného materiálu záběr náhle roste a nástroj dostává rázy.
- **Adaptivní hrubování**: CAM drží úhel záběru stálý. Fréza jede s malým radiálním záběrem ae a velkou hloubkou ap, často na celou délku břitu. Výrobci CAM ho nazývají různě, princip je stejný.
- **Trochoidální frézování**: fréza v drážce krouží a postupuje. Nikdy neřeže celým průměrem, proto lze frézovat drážky i v tvrdých materiálech.

Při malém ae je skutečná tloušťka třísky hex menší než posuv na zub fz. Příručka Sandvik Coromant k frézovacím vzorcům uvádí pro boční frézování s ae menším než polovina průměru a úhlem nastavení 90° vztah, ze kterého vyplývá:



Obr. 5.3 Úhel záběru frézy (vlevo) a poměr skutečné tloušťky třísky k posuvu na zub podle radiálního záběru (vpravo).

hex = 2 · fz · √(D · ae − ae²) / D

D = 12 mm, ae = 1,2 mm (10 % D), požadovaná hex = 0,05 mm:
hex / fz = 2 · √(12 · 1,2 − 1,2²) / 12 = 2 · 3,6 / 12 = 0,60
fz = 0,05 / 0,60 = 0,083 mm

Porovnání úběru pro frézu Ø12 se 4 zuby při vc = 100 m/min, tedy n = 100 · 1000 / (3,14 · 12) = 2 654 ot/min:

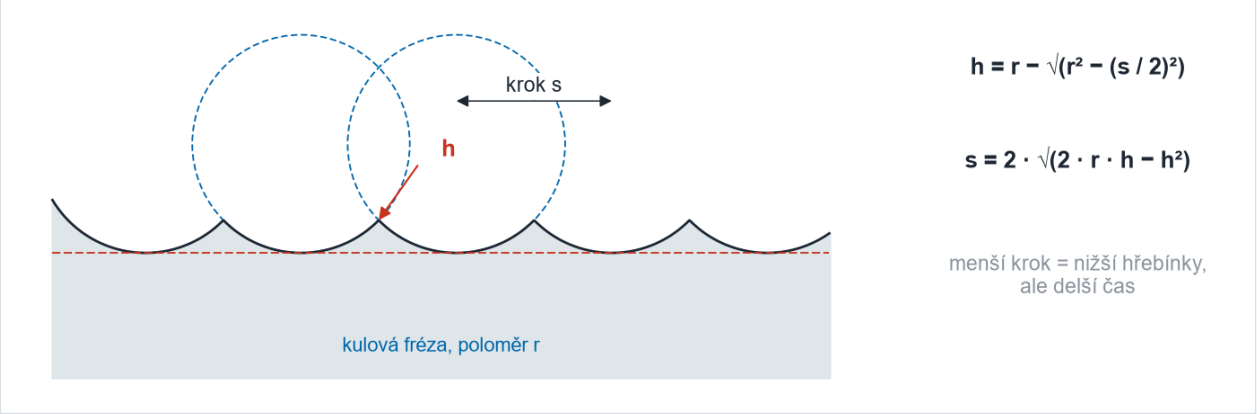
Strategie	ae [mm]	ap [mm]	fz [mm]	vf [mm/min]	Q [cm³/min]
klasické hrubování	6	6	0,05	531	19,1
adaptivní hrubování	1,2	24	0,083	884	25,5

Úběr Q = ae · ap · vf / 1000 je u adaptivní strategie vyšší i při stejné řezné rychlosti. Navíc se opotřebovává celá délka břitu a síla na nástroj se nemění skokem. Výrobci nástrojů pro malý záběr často dovolují i vyšší vc, to už ale ber z katalogu.

Dokončování

- **Kontura**: dokončení boků po obrysu, sousledně, s korekcí nebo s přesnou dráhou z CAM.
- **Rovinné plochy**: čelní frézou nebo stopkovou frézou po řádcích.
- **Řádkování**: rovnoběžné dráhy v půdorysu, hodí se pro mírné svahy.
- **Konstantní Z**: dráhy po vrstevnicích, hodí se pro strmé stěny.
- **Konstantní krok**: stejná vzdálenost drah po ploše, rovnoměrný povrch na kombinovaných tvarech.
- **Tužkové dokončení**: projede jen vnitřní rohy a úžlabí.

Kulová fréza nechává mezi drahami **hřebínky**. Jejich výška h vyplývá z geometrie kružnice o poloměru r a kroku s:

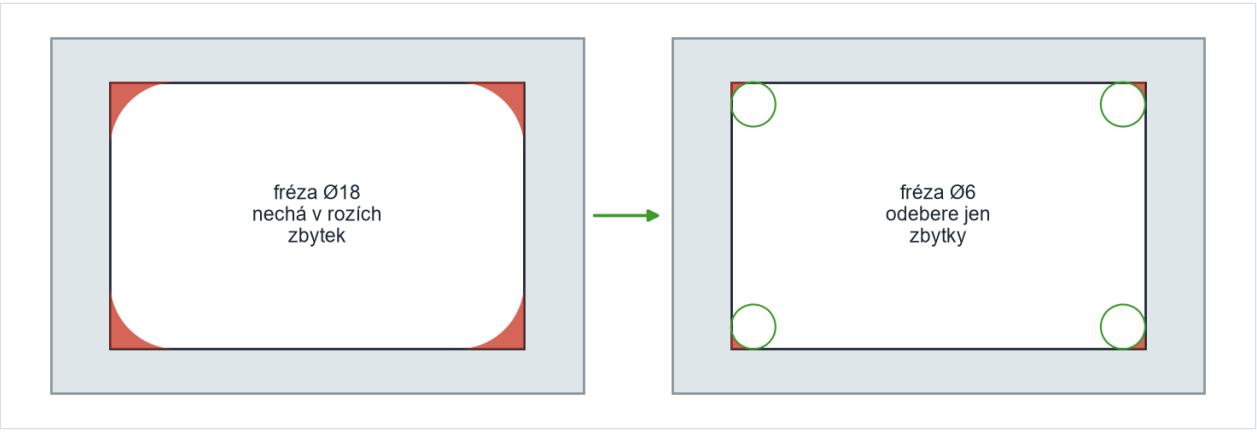


Obr. 5.4 Výška hřebínku mezi dvěma drahami kulové frézy.

h	= r − √(r² − (s / 2)²)
r	= 5 mm, s = 0,5 mm: h = 5 − √(25 − 0,0625) = 0,0063 mm = 6,3 µm
Požadovaná h	= 0,005 mm: s = 2 · √(2 · 5 · 0,005 − 0,005²) = 0,447 mm

Zbytkový materiál

Velká fréza rychle odebere hlavní objem, ale do rohů s malým poloměrem se nevejde. **Obrábění zbytkového materiálu** spočítá, co po předchozím nástroji zůstalo, a menší fréza projede jen tam. Tím se ušetří čas oproti tomu, kdyby menší fréza jezdila po celé ploše.



Obr. 5.5 Velká fréza nechá v rozích zbytky, menší fréza je dočistí.

- Poloměr frézy volíš menší než poloměr vnitřního rohu, ať fréza v rohu nesvírá celý obvod.
- Vnitřní roh s poloměrem menším než poloměr frézy CAM nevyrobí vůbec, musí se změnit nástroj nebo konstrukce.

Postprocesor

Postprocesor převede neutrální dráhy z CAM na program pro konkrétní stroj a řízení. Ví, jak stroj zapisuje čísla, výměnu nástroje, chlazení, cykly a jaké má osy. Stejné dráhy proto dají pro ISO řízení a pro Heidenhain různý text:

ISO, styl Fanuc

```
G0 X-65 Y-50
G1 Z-5 F150
G41 X-47 Y-40 D2 F300
```

Heidenhain, popisný dialog

```
L X-65 Y-50 R0 FMAX
L Z-5 R0 F150
L X-47 Y-40 RL F300
```

- Postprocesor se ladí jednou a pak se mu musí věřit. Proto ho ověř na zkušebním dílu, ne na drahé zakázce.
- Výstup postprocesoru se nemá opakovaně ručně opravovat. Chybu oprav v CAM nebo v postprocesoru, jinak se vrátí v každém dalším programu.
- Pro víceosé stroje musí postprocesor znát přesnou kinematiku stroje (kapitola 6).

Simulace a verifikace

ŠVP chce, abys programy ověřoval dráhovou, grafickou a pohybovou simulací. Každá úroveň odhalí jiné chyby:

Úroveň	Co ukáže	Co neukáže
zobrazení drah	kudy jede nástroj, chybějící operace	materiál, kolize s upínačem
simulace úběru materiálu	zbytky, podřezání, porovnání s modelem	pohyby os stroje
simulace stroje	kolize vřeteníku, upínače, dojezdy os	chyby postprocesoru, pokud simuluje jen dráhy
simulace NC kódu	přesně to, co dostane stroj	nastavení nuly a korekcí na stroji
grafika v řízení stroje	program s reálnými korekcemi	přesné kolize s upínačem

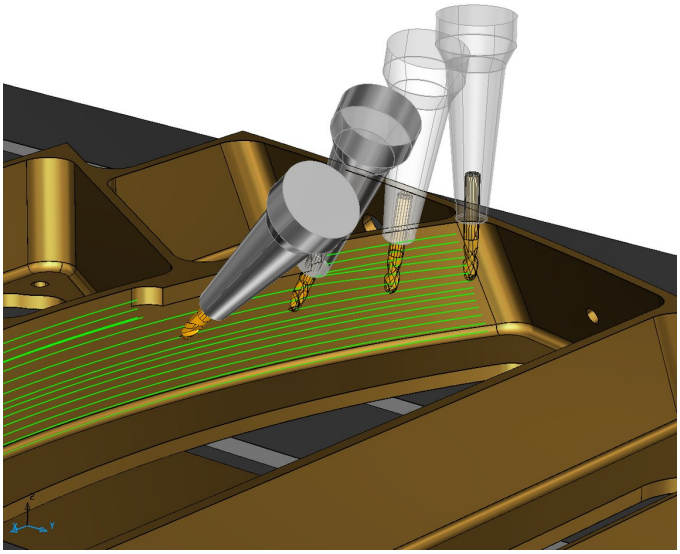
Ověření programu na stroji

1. Porovnej nástroje v zásobníku a korekce s listem nástrojů.
2. Zkontroluj nulový bod a kde stojí obrobek.
3. Spusť grafickou simulaci v řízení.

4. Projeď začátek programu po blocích se sníženým rychloposuvem. Ruku měj na STOP a sleduj zbývající dráhu.
5. První řez sleduj, posuv můžeš zpomalit přepínačem korekce posuvu.
6. Změř první kus a podle výsledku uprav korekce.
7. Každou úpravu ulož jako novou verzi a vrať ji do CAM.

POZOR

Program z CAM je správný jen tak, jak správně jsou zadané polotovar, nula, upínač a nástroje. CAM o skutečném stroji ví jen to, co mu řekneš.



Obr. 5.6 Dráhy nástroje vypočítané v CAM programu PowerMILL: řádkování ploch skloněným nástrojem.
Vlastník obrázku: Delcam Plc, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PowerMILL_Toolpaths_Image.png

CO SI ZAPAMATOVAT

- CAM počítá neutrální dráhy, postprocesor je převede pro konkrétní řízení.
- Adaptivní hrubování drží stálý malý záběr ae a využije velkou hloubku ap.
- Při ae menším než polovina průměru je hex menší než fz, posuv na zub se proto zvyšuje.
- Výška hřebínku je $h = r - \sqrt{(r^2 - (s / 2)^2)}$.
- Program ověř simulací NC kódu i na stroji po blocích a opravy vrať do CAM.

6

VÍCEOSÉ OBRÁBĚNÍ A OPTIMALIZACE

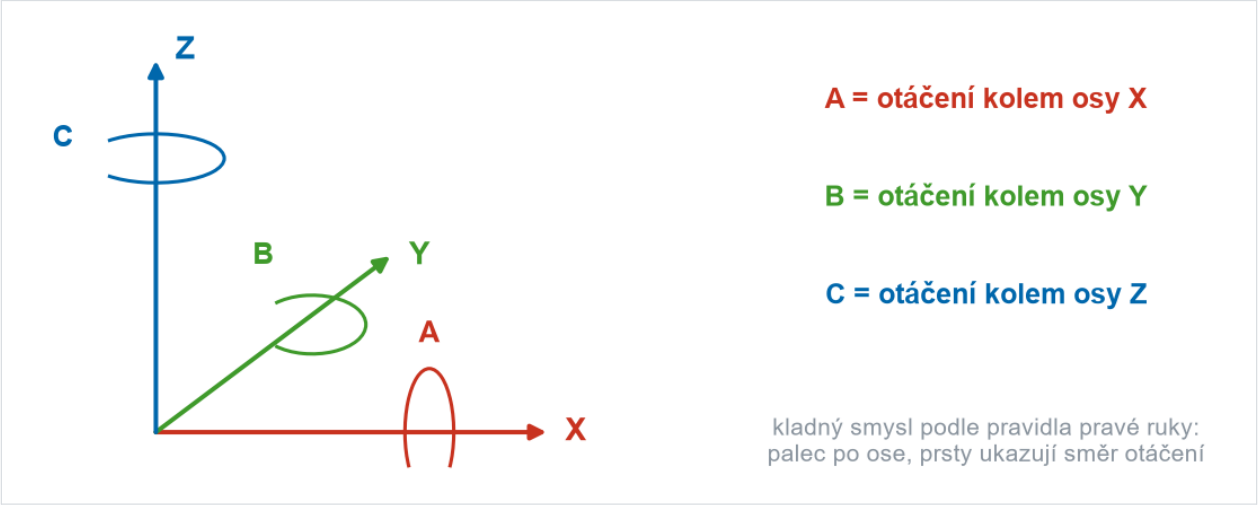
Víceosé obrábění

Rotační osy, obrábění 3+2 a v pěti osách současně, kinematika strojů, soustružnicko-frézovací centra a kolize.

Tříosá frézka obrobí díl jen ze strany, ze které na něj vidí nástroj. Na ostatní strany se musí díl přepnout a každé přepnutí přidá čas i chybu polohy. Víceosý stroj přidá k osám X, Y a Z rotační osy a natočí nástroj nebo obrobek.

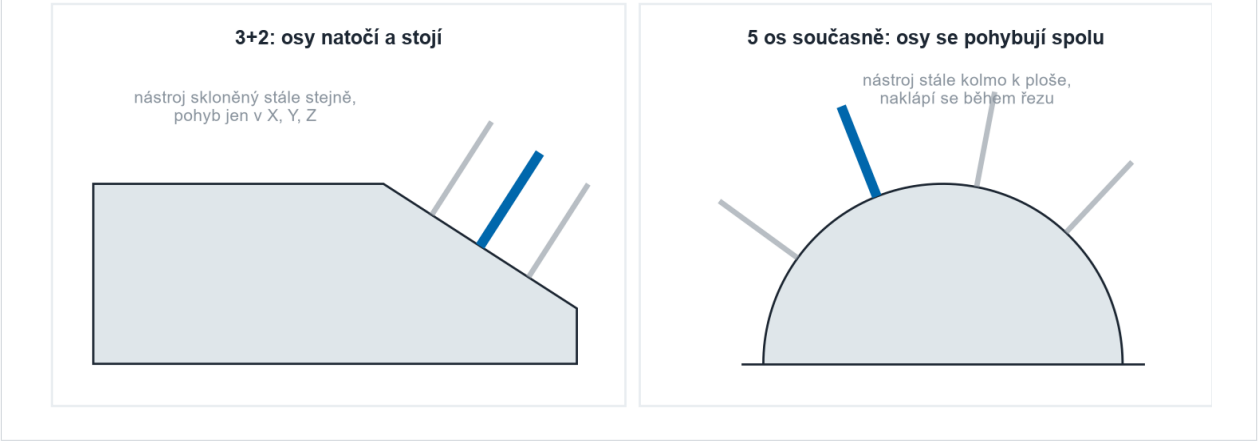
Rotační osy A, B a C

Podle normy ISO 841 se rotace kolem os X, Y a Z označují A, B a C. Kladný smysl určuje pravidlo pravé ruky. Pětiosý stroj má tři lineární a dvě rotační osy, například X, Y, Z, A a C.



Obr. 6.1 Rotační osy A, B a C kolem lineárních os X, Y a Z.

3+2 a pět os současně



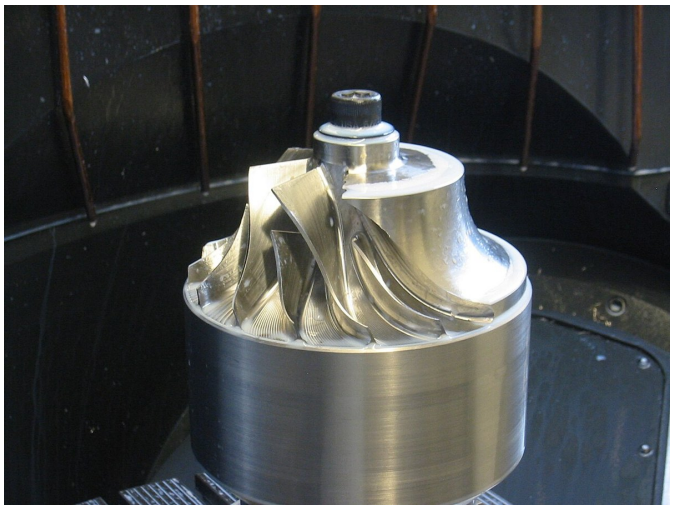
Obr. 6.2 Obrábění 3+2 s pevně skloněným nástrojem (vlevo) a souvislé pětiosé obrábění (vpravo).

	3+2 (polohování)	5 os současně
Jak to funguje	rotační osy se natočí a zastaví, obrábí se jako na tříosém stroji v natočené rovině	všech pět os se pohybuje současně, nástroj mění sklon během řezu
Použití	díly z více stran na jedno upnutí, šikmé díry a plochy	lopatky, oběžná kola, formy, tvarové plochy
Programování	natočení roviny: Heidenhain PLANE nebo cyklus 19, Sinumerik CYCLE800	CAM a řízení špičky nástroje: Heidenhain M128 nebo FUNCTION TCPM, Sinumerik TRAORI
Nároky	jednodušší, programuje se i ručně	vždy CAM, postprocesor a simulace stroje

Natočení roviny a řízení špičky nástroje najdeš v příručkách výrobců: HEIDENHAIN iTNC 530 Cycle Programming a SINUMERIK Fundamentals. Fanuc má obdobné funkce, jejich zápis ověř v dokumentaci stroje.

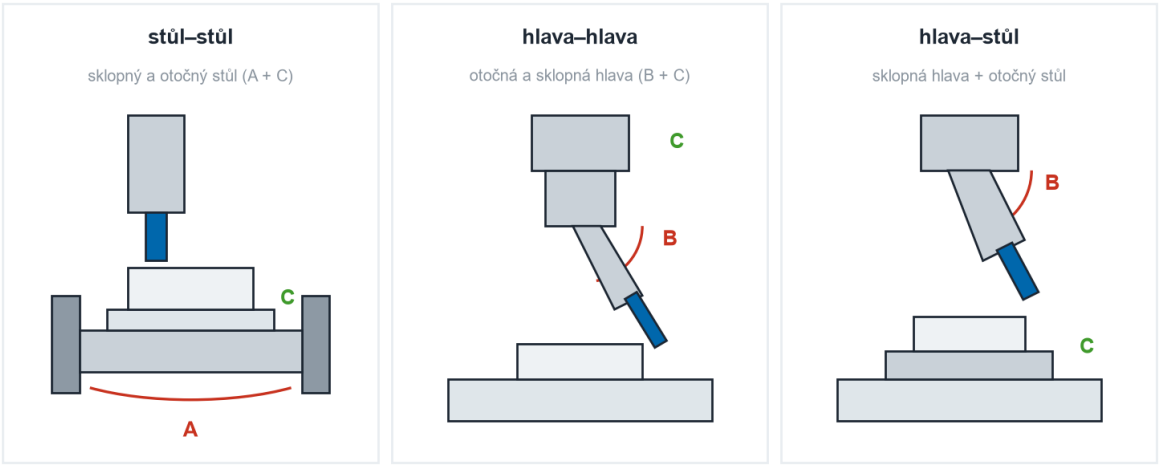
Proč pět os, i když by stačily tři

- **Kratší nástroj**: naklonění vřetena dovolí dosáhnout do hloubky kratší frézou, která je tužší a méně kmitá.
- **Méně upnutí**: plochy z pěti stran na jedno upnutí mají přesnou vzájemnou polohu.
- **Lepší řez**: kulová fréza nemusí řezat středem, kde je řezná rychlost nulová.
- **Tvary, které jinak nejdou**: lopatky a oběžná kola s přesahujícími plochami.



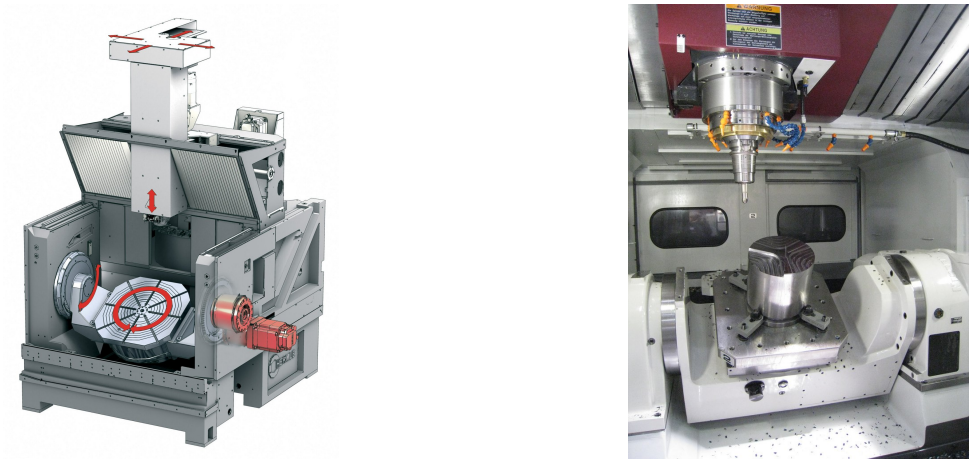
Obr. 6.3 Zkušební oběžné kolo ze slitiny titanu Ti6Al4V z jednání o formátu STEP-NC (2008). Takové tvary se obrábějí na pětiosých strojích.
Vlastník obrázku: Loffredo, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:STEP-NC_impeller.jpg

Kinematika strojů

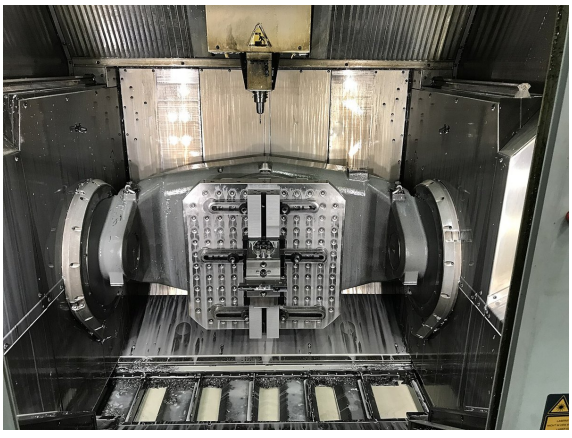


Obr. 6.4 Tři běžná uspořádání pětiosého stroje.

Uspořádání	Výhody	Omezení
stůl-stůl (otočný a sklopný stůl)	kompaktní stroj, velký rozsah naklopení, tuhé vřeteno	hmotnost a velikost dílu omezuje stůl
hlava-hlava (sklopná a otočná hlava)	stůl stojí, velké a těžké díly	hlava je složitější a méně tuhá
hlava-stůl	kompromis, sklopná hlava a otočný stůl	rozsahy os podle konstrukce



Obr. 6.5 Řez pětiosým obráběcím centrem Hermle s otočným a sklopným stolem (vlevo) a pětiosé obrábění na stánku firmy OKK na veletrhu METAV 2008 (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Berthold Hermle AG, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bearbeitungszentrum_Schnittmodell_Hermle_01.jpg; vpravo ReinoldTomberg (autor podle stránky souboru předpokládaný), Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metaalbewerking_frezen.jpg



Obr. 6.6 Pracovní prostor pětiosého stroje s velkým sklopným stolem a upínacím přípravkem.
Vlastník obrázku: Maschinologen, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mechanische_Fertigung.jpg

Soustružnicko-frézovací centra

Multifunkční stroj spojuje soustruh a frézku. Má hlavní vřeteno s osou C, frézovací vřeteno ve sklopné ose B, často osu Y a protivřeteno. Díl se obrobí kompletně z obou stran bez přepínání na jiný stroj. Programování je náročné, používá se CAM se simulací celého stroje.



Obr. 6.7 Multifunkční stroj Mazak INTEGREX i-200S v muzeu obráběcích strojů firmy Yamazaki Mazak (vlevo) a multifunkční stroj Okuma MULTUS U3000 s automatickou výměnou nástrojů (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Hunini, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YAMAZAKI_MAZAK_Multi-Tasking_Machine_INTEGREX_i-200S_in_THE_YAMAZAKI_MAZAK_MUSEUM_OF_MACHINE_TOOLS_November_8,_2019_01.jpg; vpravo 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 a kolize

- **Přístup nástroje**: díl se upíná vysoko, na podložky nebo do nulového upínacího systému, aby se k němu nástroj dostal ze stran.
- **Malé upínací plochy**: pětiosé svěráky drží díl za malý přídavek, který se nakonec odřízne.
- **Rozsahy os**: sklopná osa má omezený úhel. CAM musí vědět, kam stroj dosáhne.
- **Singularita**: když je osa nástroje rovnoběžná s rotační osou, malá změna sklonu znamená velké natočení druhé osy. Stroj pak zpomalí nebo udělá prudký pohyb.
- **Kolize**: kromě nástroje může narazit držák, vřeteník nebo stůl. Kontroluje to jen simulace celého stroje se správným postprocesorem.

> **POZOR**
> U víceosého stroje se chyba projeví rychle a draze. Program nikdy nespouštěj bez simulace stroje a bez UOV.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Rotace kolem os X, Y a Z se značí A, B a C podle ISO 841.
- 3+2 natočí a zastaví rotační osy, 5 os současně pohybuje všemi osami během řezu.
- Pět os dovolí kratší nástroj, méně upnutí a obrobení tvarů, které jinak nejdou.
- Kinematika stroje musí sedět v CAM, postprocesoru i simulaci.

7

VÍCEOSÉ OBRÁBĚNÍ A OPTIMALIZACE

Optimalizace: čas, náklady a nástroj

Strojní čas, čas a náklady na kus, hospodárná trvanlivost nástroje a kde hledat úspory v programu.

Program, který vyrobí dobrý díl, je teprve začátek. Ve výrobě se počítá každá minuta, protože se násobí počtem kusů. Optimalizace ale nikdy nesmí ohrozit kvalitu ani bezpečnost.

Z čeho se skládá čas na kus

Složka	Co obsahuje	Jak ji zkrátit
strojní čas tA	nástroj řeže	řezné podmínky, strategie, kratší dráhy
vedlejší čas tB	výměny nástrojů, rychloposuvy, upnutí a vyjmutí dílu, měření	méně výměn, nižší odjezdy, rychlé upínání
dávkový čas tbz	seřízení stroje, příprava, první kus	větší dávka, připravené nástroje, nulové upínací systémy

> Čas na kus: tk = tA + tB + tbz / n, n je počet kusů v dávce

Výpočet strojního času

Vzorce navazují na příručku Řezné otáčky a Teorii 3. ročníku. Dráha L vždy obsahuje i náběh a přeběh.

Operace	Strojní čas	Dráha
soustružení	t = L · i / (f · n)	L = l + náběh + přeběh, i = počet průchodů
frézování	t = L / vf, vf = fz · z · n	L podle dráhy nástroje
vrtání	t = L / (f · n)	L = l + ls + náběh, ls = d / (2 · tan(σ / 2))

Délka špičky vrtáku ls závisí na vrcholovém úhlu σ: pro 118° je ls ≈ 0,30 · d, pro 140° je ls ≈ 0,18 · d.

Příklad 1: hrubování čepu

Hrubování z Ø45 v délce 45 mm, náběh 2 mm, 2 průchody, f = 0,25 mm/ot, vc = 200 m/min.

> n = 200 · 1000 / (3,14 · 45) = 1 415 ot/min
> t = (45 + 2) · 2 / (0,25 · 1 415) = 94 / 353,8 = 0,27 min, asi 16 s
> S konstantní řeznou rychlostí otáčky na menším průměru rostou a čas je ve skutečnosti o něco kratší.

Příklad 2: obrys osazení desky

Obrys 94 × 74 mm se zaoblením R10 z kapitoly 10, najetí, výjezd a přejetí podle podprogramu O2001 celkem 73,6 mm, 2 hloubky, vf = 300 mm/min.

> Obvod = 2 · (94 − 20) + 2 · (74 − 20) + 2 · 3,14 · 10 = 318,8 mm
> L = (318,8 + 73,6) · 2 = 784,8 mm
> t = 784,8 / 300 = 2,62 min

Příklad 3: vrtání čtyř děr

Vrták ze slinutého karbidu Ø6,8 s úhlem 140°, hloubka 16 mm, náběh 2 mm, vc = 80 m/min, f = 0,1 mm/ot.

> n = 80 · 1000 / (3,14 · 6,8) = 3 747 ot/min, vf = 0,1 · 3 747 = 375 mm/min
> ls = 6,8 / (2 · tan 70°) = 1,24 mm, L = 16 + 1,24 + 2 = 19,24 mm
> t = 4 · 19,24 / 375 = 0,21 min, asi 12 s

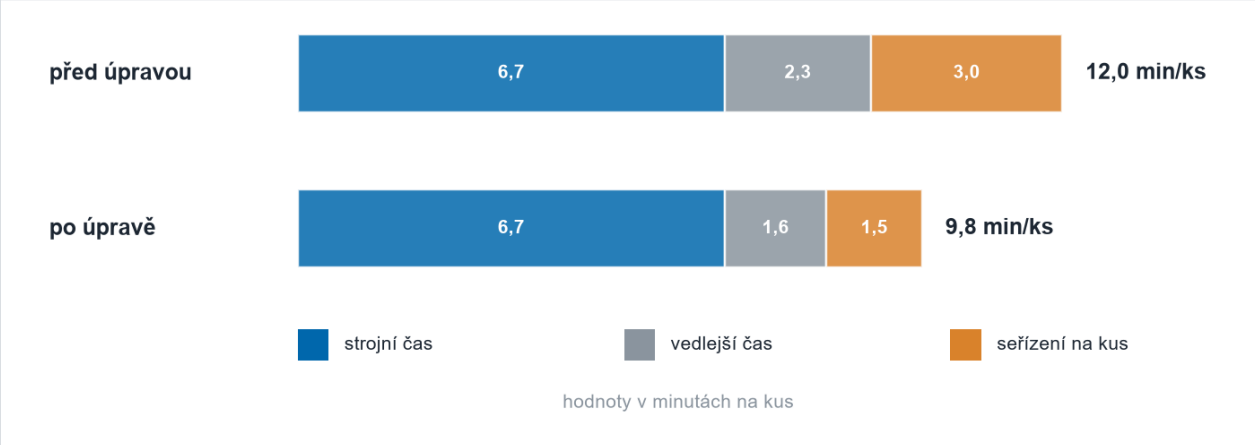
Náklady na kus

Firma počítá s hodinovou sazbou stroje s obsluhou. Obsahuje odpisy stroje, energii, mzdu a režii. Náklady na kus pak jsou:

> Nk = tk · sazba + materiál + nástroje

Příklad pro desku z kapitoly 10. Ceny jsou smyšlené, jen pro výpočet: sazba 1 200 Kč/h, tedy 20 Kč/min, polotovar 1,32 kg po 40 Kč/kg, nástroje 15 Kč na kus. Dávka 20 kusů, seřízení 60 minut.

> Před úpravou: tk = 6,7 + 2,3 + 60 / 20 = 12,0 min → 12,0 · 20 = 240 Kč
> Nk = 240 + 53 + 15 = 308 Kč
> Po úpravě (nižší odjezdy, rychlé upínání, dávka 40): tk = 6,7 + 1,6 + 60 / 40 = 9,8 min → 196 Kč
> Nk = 196 + 53 + 15 = 264 Kč

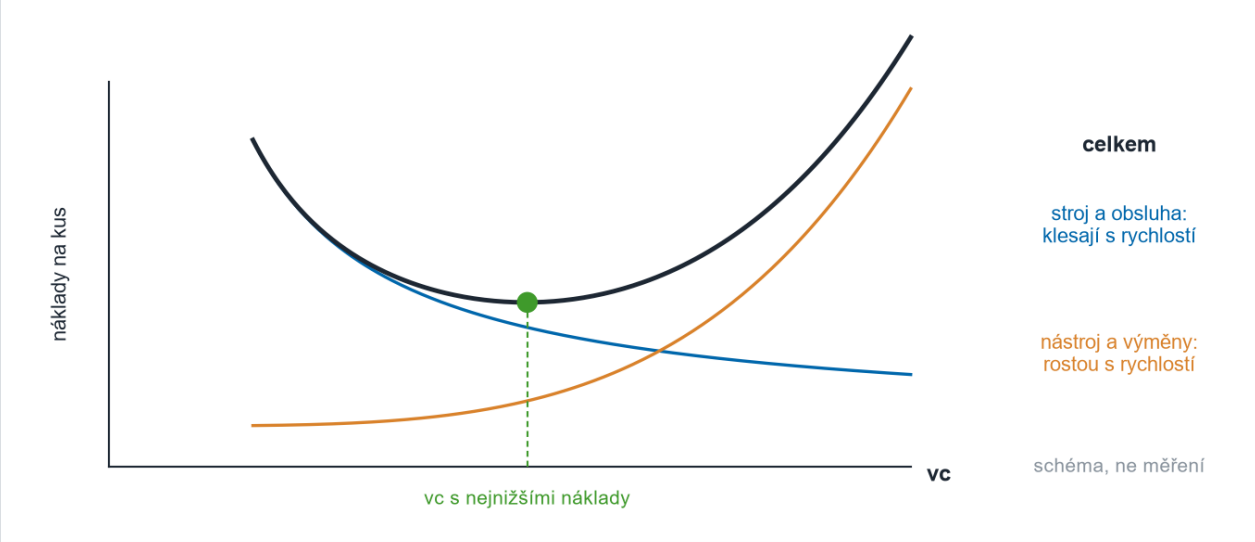


Obr. 7.1 Čas na kus desky před úpravou a po ní. Strojní čas se nezměnil, úspora je ve vedlejším a dávkovém čase.

Opotřebení a hospodárná trvanlivost

Vztah mezi řeznou rychlostí a trvanlivostí břitu popisuje Taylorův vzorec $v_c \cdot T^n = C$. Vysvětluje ho příručka Nástroje a břitové destičky v kapitole 10, pro slinutý karbid tam najdeš orientačně n = 0,25. Vyšší rychlost zkrátí strojní čas, ale břit se mění častěji. Kde je rovnováha, ukazují dva známé vztahy ekonomiky obrábění (M. P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing):

> Trvanlivost pro nejnižší náklady: $T = (1 / n - 1) \cdot (t_v + N_b / s)$
> Trvanlivost pro největší výkon: $T = (1 / n - 1) \cdot t_v$
> t_v je čas výměny břitu, N_b cena jednoho břitu, s sazba stroje v Kč/min.



Obr. 7.2 Náklady na kus podle řezné rychlosti: stroj zlevňuje, nástroj zdražuje, součet má minimum.

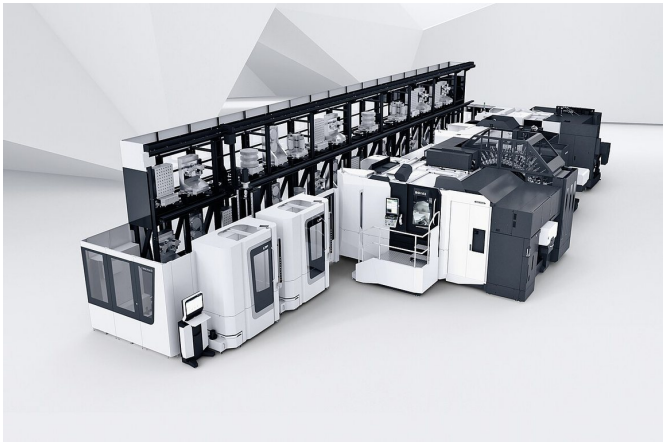
Příklad navazuje na příručku Nástroje: karbid, n = 0,25, při vc = 200 m/min vydrží břit 15 minut. Výměna břitu trvá 2 minuty, břit stojí 40 Kč, sazba je 20 Kč/min.

C	$= 200 \cdot 15^{0,25} = 393,6$
T pro nejnižší náklady	$= (4 - 1) \cdot (2 + 40 / 20) = 12$ min $\rightarrow$ vc $= 393,6 / 12^{0,25} = 211$ m/min
T pro největší výkon	$= (4 - 1) \cdot 2 = 6$ min $\rightarrow$ vc $= 393,6 / 6^{0,25} = 251$ m/min

Mezi 211 a 251 m/min se vyplatí jet tehdy, když je stroj úzkým hrdlem a každý kus navíc se prodá. Rychleji než 251 m/min se nevyplatí nikdy. Vzorce dávají směr, skutečné C a n platí jen pro konkrétní nástroj a materiál.

Kde hledat úspory v programu

- Nižší bezpečné a odjezdové výšky, pokud je cesta prokazatelně volná.
- Méně výměn nástrojů: seskupit operace podle nástroje, kombinované nástroje.
- Adaptivní hrubování místo ofsetového (kapitola 5).
- Přídavky jen tak velké, jak je potřeba.
- Víc výkonu hledej nejdřív v hloubce řezu, pak v posuvu a až nakonec v řezné rychlosti (příručka Nástroje a břitové destičky).
- Upnutí více kusů najednou a rychlé upínací systémy zkrátí vedlejší a dávkový čas.



Obr. 7.3 Horizontální obráběcí centrum INH 63 v lince s paletovým zásobníkem. Díly se upínají na palety mimo stroj, takže stroj mezitím obrábí.
Vlastník obrázku: Ms. Kotone Ojiri, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:06_INH_Automation.jpg

PAMATUJ

Zkrácení času, které přinese zmetek nebo zlomený nástroj, není úspora. Každou změnu ověř na prvním kuse.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Čas na kus je tk = tA + tB + tbz / n.
- Strojní čas soustružení t = L · i / (f · n), frézování t = L / vf, dráha L obsahuje náběh a přeběh.
- Náklady na kus jsou čas krát sazba plus materiál a nástroje.
- Hospodárná trvanlivost T = (1 / n − 1) · (tv + Nb / s), pro největší výkon T = (1 / n − 1) · tv.
- Úspora často není v řezu, ale ve vedlejším a dávkovém čase.

8

KVALITA A PROVOZ

Kvalita a měření

Tolerance a GPS, programování na střed pole, SPC, způsobilost Cp a Cpk, sonda ve stroji, CMM a protokol prvního kusu.

Programátor kvalitu přímo ovlivňuje: volbou upnutí, pořadím operací, dokončovacími drahami a tím, na jaký rozměr program píše. Pak musí umět výsledek změřit a vyhodnotit.

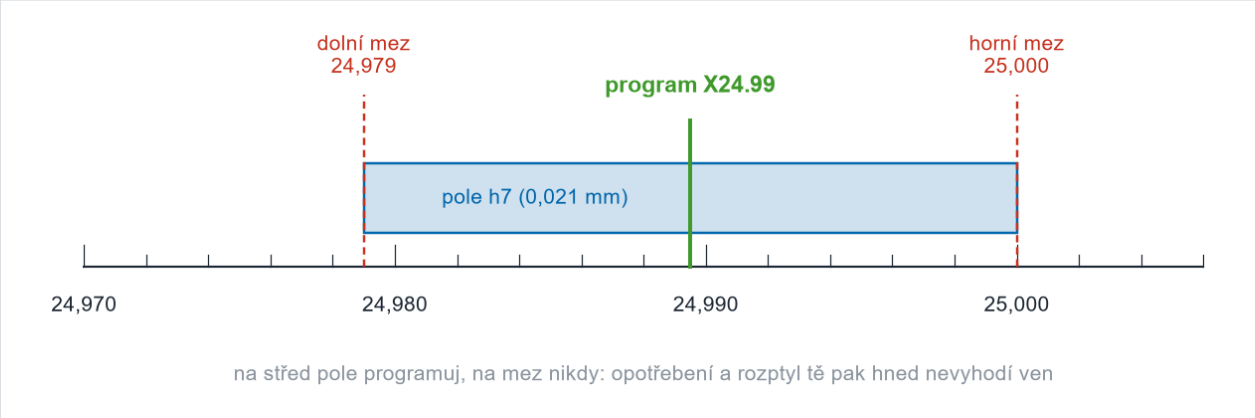
Tolerance a GPS ve výrobě

GPS (geometrické specifikace produktu) je soubor norem ISO, který říká, jak se na výkrese předepisují a jak se ověřují rozměry, tvar, poloha a povrch. Pro výrobu jsou důležité hlavně tyto:

- **ISO 8015**: základní pravidla GPS. Platí **princip nezávislosti**: každý požadavek se kontroluje samostatně. Tolerance průměru tedy neříká nic o kruhovitosti, pokud výkres nepředepisuje obálku (písmeno E v kroužku za rozměrem).
- **ISO 286**: soustava tolerancí a uložení, například h7 nebo H8.
- **ISO 1101**: geometrické tolerance tvaru, orientace, polohy a házení.
- **ISO 2768**: nevyznačené (všeobecné) tolerance.
- **ISO 14253-1**: pravidla pro rozhodnutí o shodě s ohledem na nejistotu měření.

Program na střed tolerančního pole

Jmenovitý rozměr často leží na kraji tolerance. Když napíšeš program na mez, stačí malé opotřebení nebo rozptyl a díl je mimo. Proto se programuje na **střed tolerančního pole**.



Obr. 8.1 Ø25h7 má pole 25,000 až 24,979 mm. Program míří na střed 24,9895, zapíše se X24.99.

> Ø25h7: horní úchylka 0, dolní −0,021 → střed 25 − 0,0105 = 24,9895 → X24.99
> Ø40H8: dolní úchylka 0, horní +0,039 → střed 40 + 0,0195 = 40,0195 → poloměr dráhy 20,01

Geometrická tolerance	Jak ji ovlivní programátor
rovinnost, válcovitost	tuhé upnutí bez deformace, dokončovací průchod s malým záběrem
kolmost, rovnoběžnost	plochy z jednoho upnutí, správně ustavený a vyrovnaný obrobek
souosost, házení	průměry na jedno upnutí, u druhého upnutí měkké čelisti nebo trn
poloha děr	stejný nulový bod pro všechny díry, navrtání, tuhý vrták

Statistická regulace procesu

SPC (statistická regulace procesu) sleduje výrobu podle naměřených hodnot a hledá v nich změny dřív, než vznikne zmetek. Do regulačního diagramu se zapisují hodnoty nebo průměry malých výběrů. Regulační meze se počítají z rozptylu procesu a nejsou totéž co toleranční meze z výkresu.

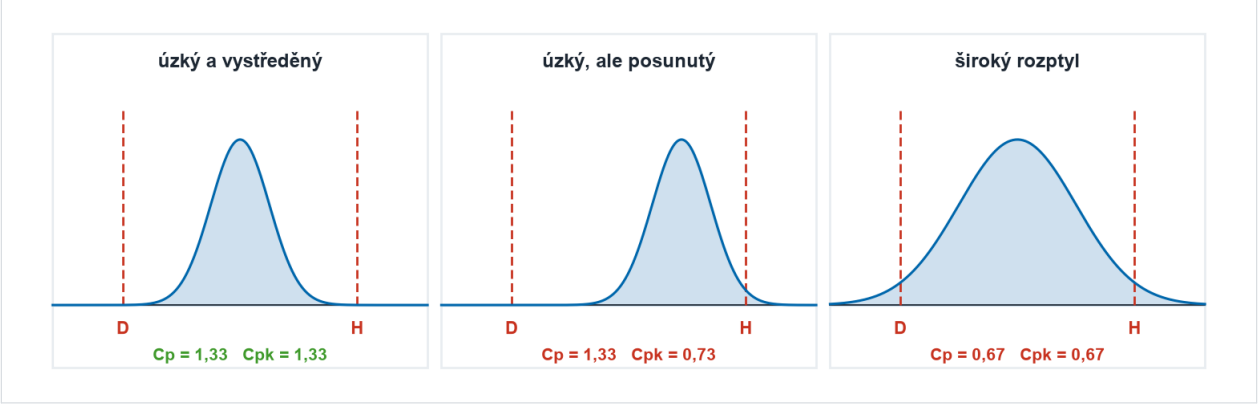
Ve 3. ročníku jsi viděl, jak se rozměr s opotřebením blíží k mezi. Tady jde o další krok: **umí proces vůbec trvale vyrábět v toleranci?** Odpověď dávají ukazatele způsobilosti.

Způsobilost procesu Cp a Cpk

Definice podle příručky NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, oddíl 6.1.6. H a D jsou horní a dolní toleranční mez, μ střední hodnota procesu a σ směrodatná odchylka:

$$Cp = (H - D) / (6 \cdot \sigma)$$
$$Cpk = \min[(H - \mu) / (3 \cdot \sigma); (\mu - D) / (3 \cdot \sigma)]$$

- **Cp** porovnává šířku tolerance s rozptylem procesu. Neví, kde proces leží.
- **Cpk** bere v úvahu i polohu. Když je proces mimo střed, je Cpk menší než Cp.
- Cp = Cpk znamená, že proces je přesně uprostřed tolerance.
- Hodnotu, kterou musí proces splnit, určuje zákazník. Často se požaduje Cpk alespoň 1,33. NIST ve svém příkladu bere za nedostatečné Cpk pod 1,0.

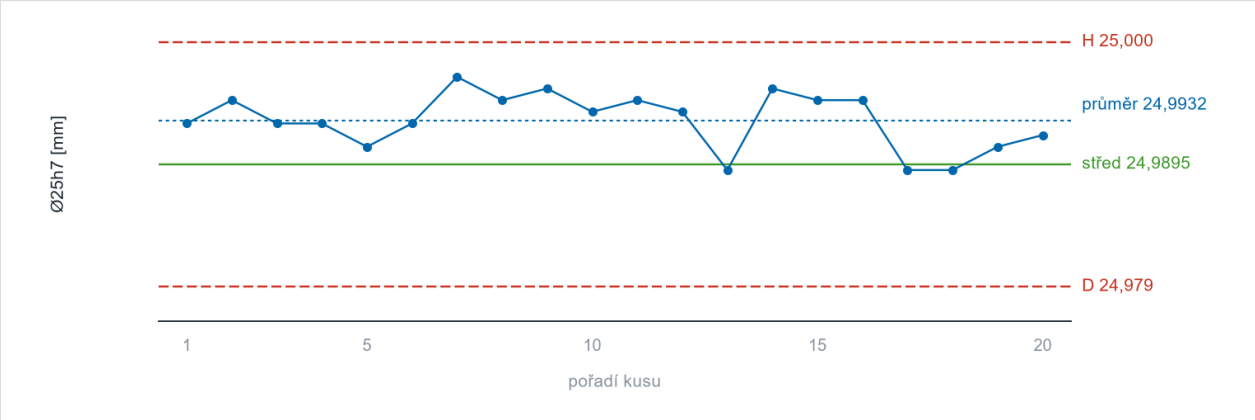


Obr. 8.2 Tři procesy se stejnou tolerancí: vystředěný, posunutý a s velkým rozptylem.

Řešený příklad: Ø25h7 na čepu

Z výroby čepů bylo postupně změřeno 20 kusů. Hodnoty jsou v milimetrech:

Kusy	Naměřené průměry [mm]
1 až 5	24,993; 24,995; 24,993; 24,993; 24,991
6 až 10	24,993; 24,997; 24,995; 24,996; 24,994
11 až 15	24,995; 24,994; 24,989; 24,996; 24,995
16 až 20	24,995; 24,989; 24,989; 24,991; 24,992



Obr. 8.3 Hodnoty z tabulky v diagramu: proces je stabilní, ale leží nad středem tolerance.

μ = součet / 20 = 24,99325 mm
σ (výběrová směrodatná odchylka) = 0,00243 mm
Cp = 0,021 / (6 · 0,00243) = 1,44
Cpk = min[(25,000 − 24,99325) / 0,00728; (24,99325 − 24,979) / 0,00728] = min[0,93; 1,96] = 0,93

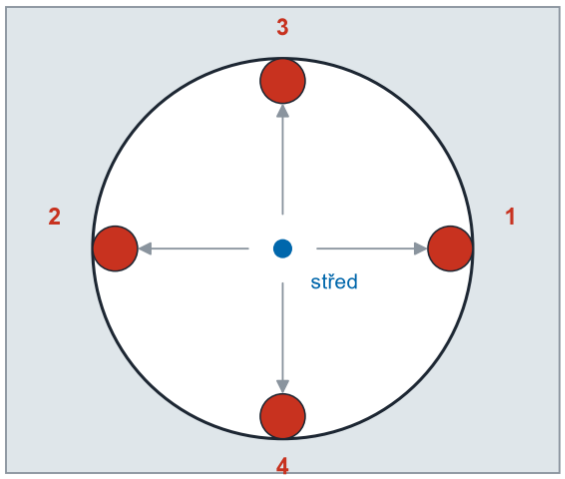
Rozptyl je dobrý (Cp = 1,44), ale proces je posunutý k horní mezi a Cpk vychází jen 0,93. Řešení je jednoduché: posunout střed o −0,004 mm, tedy upravit korekci X o −0,004 (X je průměr).

Nový střed μ = 24,98925 mm
Cpk = min[(25,000 − 24,98925) / 0,00728; (24,98925 − 24,979) / 0,00728] = min[1,48; 1,41] = 1,41

PAMATUJ
Dvacet hodnot stačí na výuku. Pro skutečné posouzení způsobilosti se bere víc hodnot ze stabilního procesu, často 50 a víc, a ověřuje se, že rozdělení odpovídá normálnímu. Podrobnosti určuje zákazník a firemní předpisy.

Měření na stroji sondou

Spínací sonda ve vřetenu vyšle signál ve chvíli, kdy se kulička dotkne plochy. Řízení si zapamatuje polohu a měřicí cyklus z několika dotyků spočítá roh, střed díry, natočení dílu nebo rozměr. Sonda se nejdřív **kalibruje** na kroužku nebo kouli se známým rozměrem.



X středu = (X1 + X2) / 2
Y středu = (Y3 + Y4) / 2

průměr = X1 − X2 + průměr kuličky
(sonda hlásí střed kuličky)

výsledek jde do tabulky nul,
nebo jako korekce nástroje

Obr. 8.4 Střed a průměr díry ze čtyř dotyků sondy.

> Dotyk vpravo X1 = 50,010, vlevo X2 = 14,000, kulička Ø4:
> X středu = (50,010 + 14,000) / 2 = 32,005
> průměr = 50,010 − 14,000 + 4 = 40,010 mm

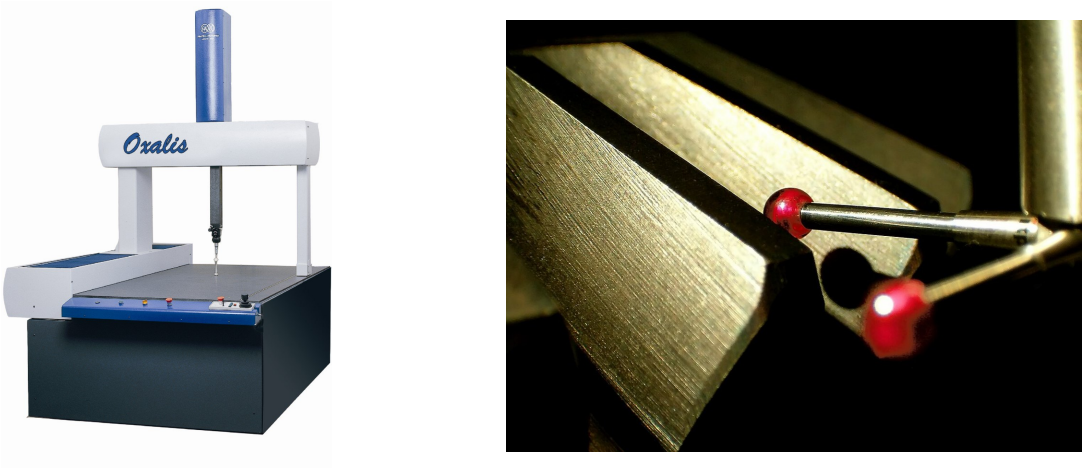
- **Nastavení nuly**: sonda najde roh nebo střed a zapíše ho do tabulky nul.
- **Měření v procesu**: po hrubování nebo před dokončením změří rozměr a program upraví korekci.
- **Omezení**: stroj měří sám sebe. Jeho geometrické chyby a teplota se projeví v měření i v obrábění stejně, takže je měření neodhalí. Konečná kontrola patří na nezávislé měřidlo.

Souřadnicový měřicí stroj

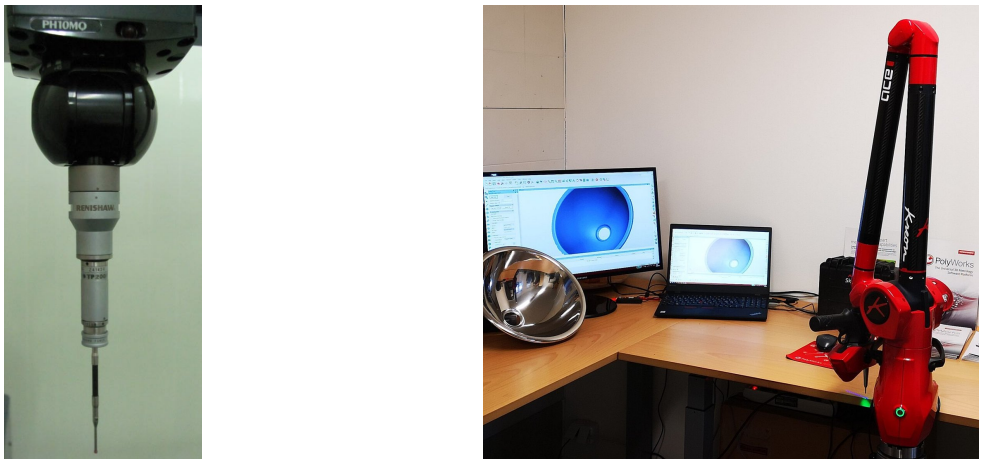
Souřadnicový měřicí stroj (CMM, česky též SMS) měří body v prostoru dotykovou nebo skenovací sondou a software z nich vypočítá prvky: roviny, válce, kružnice a jejich vzájemnou polohu. Měření probíhá takto:

1. Díl se ustaví a stroj ho **vyrovná**: rovina, přímka a bod, stejná logika jako 3-2-1 z kapitoly 3.
2. Program měření se připraví podle CAD modelu a výkresu, nebo se vytvoří ručně v režimu učení.
3. Stroj změří prvky a porovná je s tolerancemi.
4. Výsledkem je protokol s hodnotami a vyhodnocením.

Délka se podle ISO 1 vztahuje k teplotě **20 °C**. Proto stojí CMM v klimatizované místnosti a díl se má před měřením vytemperovat. ŠVP předmětu Kontrola a měření pro 4. ročník chce, abys uměl používat 3D měřicí stroj a rozuměl 3D skenování.



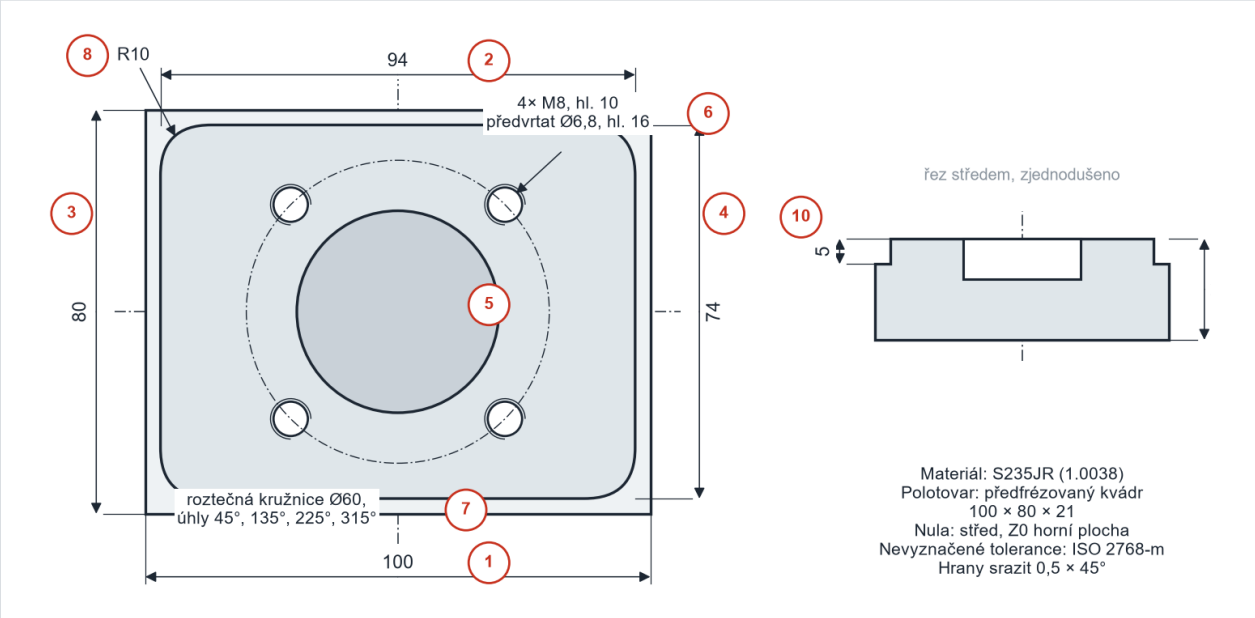
Obr. 8.5 Portálový souřadnicový měřicí stroj (vlevo) a dotyky měřicí sondy CMM s kuličkami při měření kuželového kola (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Aleroto, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Macchina_di_misura_3D.jpg; vpravo Rally, Wikimedia Commons, volné užití se zachováním autorství (Copyrighted free use), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taster_2.jpg



Obr. 8.6 Motorizovaná otočná hlava Renishaw PH10 se spínací sondou pro CMM (vlevo) a měřicí rameno s laserovým skenerem (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Blue tooth7, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PH10MO.jpg; vpravo TestoCH, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kreonace725.jpg

První kus a protokol

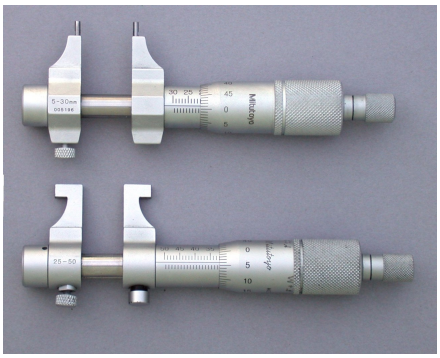
U nového nebo změněného programu se měří **všechny** kóty prvního kusu. Kóty se na kopii výkresu očíslují a stejná čísla jsou v protokolu, aby nic nechybělo. V letectví tento postup popisuje norma AS9102, v automobilovém průmyslu je součástí schvalování dílů PPAP.

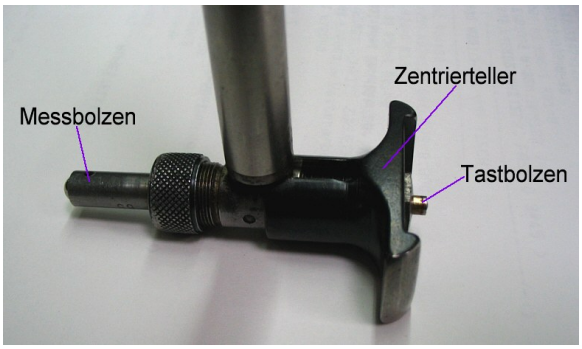


Obr. 8.7 Výkres maturitní desky z kapitoly 10 s očíslovanými kótami pro protokol prvního kusu.

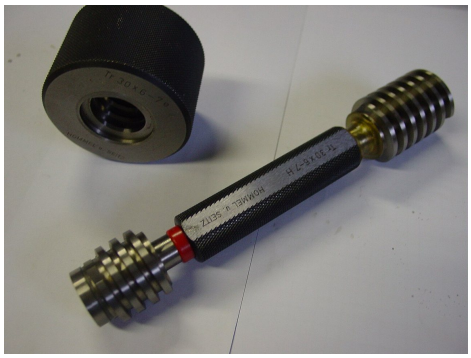
Č.	Požadavek	Tolerance	Naměřeno	Měřidlo	Shoda
1	100	±0,3	100,02	posuvné měřítko	ano
2	94	±0,3	94,04	posuvné měřítko	ano
3	80	±0,3	79,98	posuvné měřítko	ano
4	74	±0,3	74,05	posuvné měřítko	ano
5	Ø40H8, hloubka 8	+0,039 / 0; ±0,2	40,021; 8,05	dutinoměr, hloubkoměr	ano
6	4× M8	6H	dobrá strana projde, zmetková ne	závitový kalibr	ano
7	roztečná kružnice Ø60	±0,3	59,96	CMM	ano
8	R10	±1	v toleranci	rádiusová měrka	ano
9	20	±0,2	20,03	mikrometr	ano
10	5	±0,1	5,04	hloubkoměr	ano

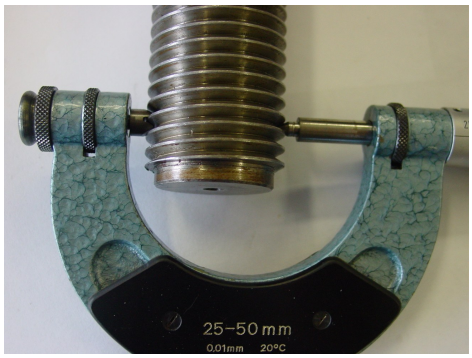
Tolerance kót bez předpisu odpovídají ISO 2768-m: délky nad 3 do 6 mm ±0,1, nad 6 do 30 mm ±0,2, nad 30 do 120 mm ±0,3 mm, vnější zaoblení nad 6 mm ±1 mm. Jak se která kóta měří, popisuje příručka Měření a měřidla.





Obr. 8.8 Vnitřní mikrometry s čelistmi pro 5 až 30 a 25 až 50 mm (vlevo) a spodní část dutinoměru (vpravo). Obojím se dá měřit kapsa Ø40H8.
Vlastník obrázku: vlevo Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicrometerInside5-30_25-50.jpg; vpravo Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bore_gauge_bottom_section.jpg





Obr. 8.9 Závitový kalibr pro Tr 30 × 6 a zmetkový kroužek (vlevo) a závitový mikrometr 25 až 50 mm (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG; vpravo Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Micrometer_Detail.jpg

CO SI ZAPAMATOVAT

- Programuj na střed tolerančního pole, například Ø25h7 jako X24.99.
- Cp = (H − D) / 6σ hodnotí rozptyl, Cpk navíc polohu procesu vůči mezím.
- Když je Cp dobré a Cpk špatné, pomůže posunout střed korekcí.
- Sonda ve stroji šetří čas při nastavení, ale konečná kontrola patří na nezávislé měřidlo.
- Protokol prvního kusu obsahuje všechny kóty očíslované stejně jako na výkrese.

9

KVALITA A PROVOZ

Bezpečnost, údržba a Průmysl 4.0

Povinnosti v BOZP, bezpečnost z pohledu programátora, údržba stroje, automatizace a sběr dat ze strojů.

Ve 4. ročníku se bezpečnost probírá i z pohledu firmy: kdo za co odpovídá a co se děje po úrazu. Programátor navíc rozhoduje o tom, jak se stroj pohybuje, takže jeho chyba může někoho ohrozit, i když u stroje vůbec nestojí.

Povinnosti v BOZP

Kdo nebo co	Hlavní povinnosti	Předpis
Zaměstnavatel	vyhledávat a hodnotit rizika, přijímat opatření, školit zaměstnance, poskytovat osobní ochranné pracovní prostředky	zákoník práce č. 262/2006 Sb., část pátá (§ 101 až 108)
Zaměstnanec	dodržovat předpisy a pokyny, používat ochranné prostředky, oznamovat závady a úrazy, nebýt pod vlivem alkoholu a návykových látek	zákoník práce, § 106
Stroje a zařízení	bezpečný provoz, kontroly a údržba pracovních prostředků	nařízení vlády č. 378/2001 Sb.
Státní dozor	kontrola dodržování BOZP: Státní úřad inspekce práce a oblastní inspektoráty práce	zákon č. 251/2005 Sb., o inspekci práce
Pracovní úraz	první pomoc, ohlášení, zápis do knihy úrazů; záznam o úrazu, trvá-li pracovní neschopnost déle než 3 kalendářní dny	nařízení vlády č. 201/2010 Sb.

Bezpečnost z pohledu programátora

- **Bezpečné výšky a najetí**: odjezd před výměnou nástroje, najetí nejdřív v rovině nad dílem a pak dolů.
- **Omezení otáček** u konstantní řezné rychlosti a u nevyvážených nebo velkých dílů.
- **Vyložení nástrojů** v programu i v knihovně musí odpovídat skutečnosti, jinak simulace kolizi neodhalí.
- **Zastavení M0 a M1** s komentářem tam, kde má obsluha něco zkontrolovat.
- **Ochranné kryty a blokace dveří se nikdy neobcházejí**, ani při zkoušení programu.

- U robotizovaných pracovišť platí ochranné zóny a bezpečnostní prvky robotu.





Obr. 9.1 Tlačítko nouzového zastavení na ovládacím panelu stroje (vlevo) a lékárnička první pomoci na pracovišti (vpravo).
Vlastník obrázku: vlevo Cjp24, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emergency_stop_button.jpg; vpravo Leigh Blackall from Dunedin, New Zealand, Wikimedia Commons, licence CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_aid_kit_on_wall.jpg

Údržba a provoz CNC pracoviště

Druh údržby	Princip	Příklad
preventivní	podle plánu, v pevných intervalech	výměna oleje, filtrů, kontrola mazání
prediktivní	podle skutečného stavu stroje z měření a dat	vibrace a teplota vřetena, zatížení pohonů
opravná	až po poruše	výměna vadného dílu
autonomní (TPM)	obsluha se stará o základní údržbu sama	čištění, kontrola hladin, denní kontrolní seznam

Přesnost stroje se ověřuje měřením geometrie. Pro CNC stroje je běžný **kruhový test** podle ISO 230-4: stroj objede kružnici a měřicí přístroj zaznamená odchylky. Z tvaru odchylek se pozná například vůle, nesouměrnost os nebo špatně nastavená regulace. O emulzi, mazání a pořádku píše Teorie 3. ročníku v kapitole 8.

Automatizace

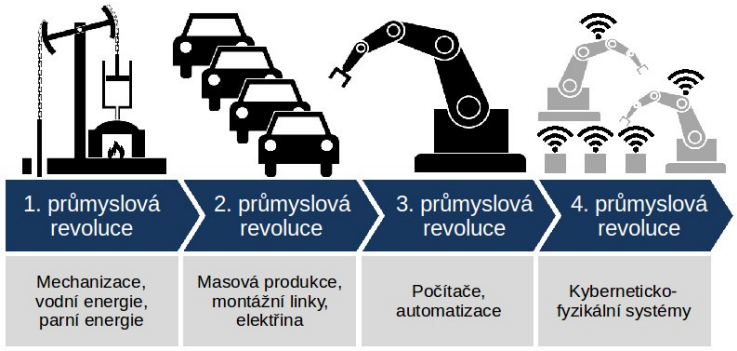
Robot nebo paletový systém zakládá díly, takže stroj vyrábí i bez obsluhy. Programátor pak musí myslet na to, že u stroje nikdo nestojí: program musí bezpečně skončit, nástroje hlídá řízení podle životnosti a sonda kontroluje rozměry. ŠVP ve 4. ročníku zařazuje i průmyslové roboty a manipulátory.



Obr. 9.2 CNC obráběcí centrum s připojeným robotem pro zakládání a odebírání dílů.
Vlastník obrázku: EGU-Metall, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EGU-Metall_CNC-Fräsen_mit_Roboterautomatisierung.jpg

Průmysl 4.0 a sběr dat ze strojů

Průmysl 4.0 je označení pro výrobu, ve které jsou stroje propojené a data z nich řídí plánování, údržbu i kvalitu.



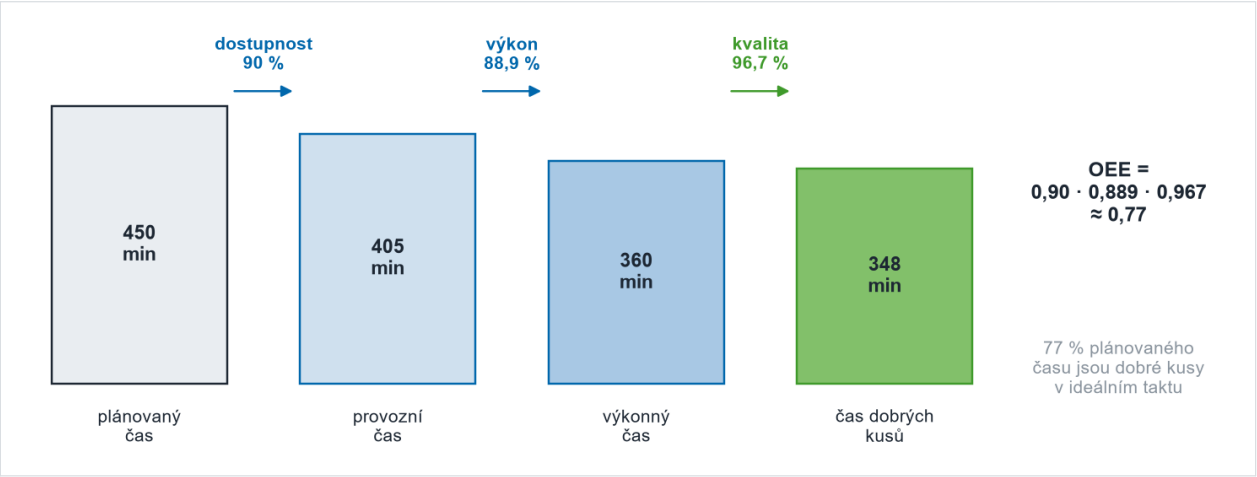
Obr. 9.3 Čtyři průmyslové revoluce podle Christopha Rosera, česká verze diagramu.
Vlastník obrázku: Christoph Roser, AllAboutLean.com, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0_(cs).png

- **Připojení strojů**: standardní rozhraní, například OPC UA, MTConnect nebo umati, místo uzavřených protokolů jednotlivých výrobců.
- **Data ze stroje**: stav, alarmy, běh programu, počty kusů, zatížení vřetena, opotřebení nástrojů.
- **Správa programů**: programy se posílají ze serveru a stroj hlásí, kterou verzi používá.
- **Kvalita**: naměřené hodnoty jdou rovnou do systému řízení kvality (CAQ) a SPC.
- **Digitální dvojče**: věrný model stroje pro simulaci a plánování.

Celková efektivita zařízení OEE

Z dat ze stroje se nejčastěji počítá **OEE** (Overall Equipment Effectiveness), ukazatel z metodiky TPM. Je součinem tří poměrů: **dostupnosti** (kolik plánovaného času stroj běžel), **výkonu** (jak rychle vůči ideálnímu taktu) a **kvality** (kolik kusů bylo dobrých).

Směna 480 min, plánované přestávky 30 min → plánovaný čas 450 min
Prostoje 45 min → provozní čas 405 min, dostupnost = 405 / 450 = 0,900
Ideální takt 1,5 min/ks, vyrobeno 240 ks → výkon = 240 · 1,5 / 405 = 0,889
Dobrých 232 ks → kvalita = 232 / 240 = 0,967
OEE = 0,900 · 0,889 · 0,967 = 0,773, tedy asi 77 %



Obr. 9.4 Ztráty dostupnosti, výkonu a kvality z příkladu.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Zaměstnavatel hodnotí rizika a školí, zaměstnanec dodržuje předpisy a hlásí závady a úrazy.
- Státní dozor nad BOZP vykonává Státní úřad inspekce práce a oblastní inspektoráty práce.
- Záznam o úrazu se sepisuje, trvá-li pracovní neschopnost déle než 3 kalendářní dny.
- Prediktivní údržba vychází ze skutečného stavu stroje, kruhový test ověřuje přesnost os.
- OEE = dostupnost · výkon · kvalita.

10

MATURITA A OPAKOVÁNÍ

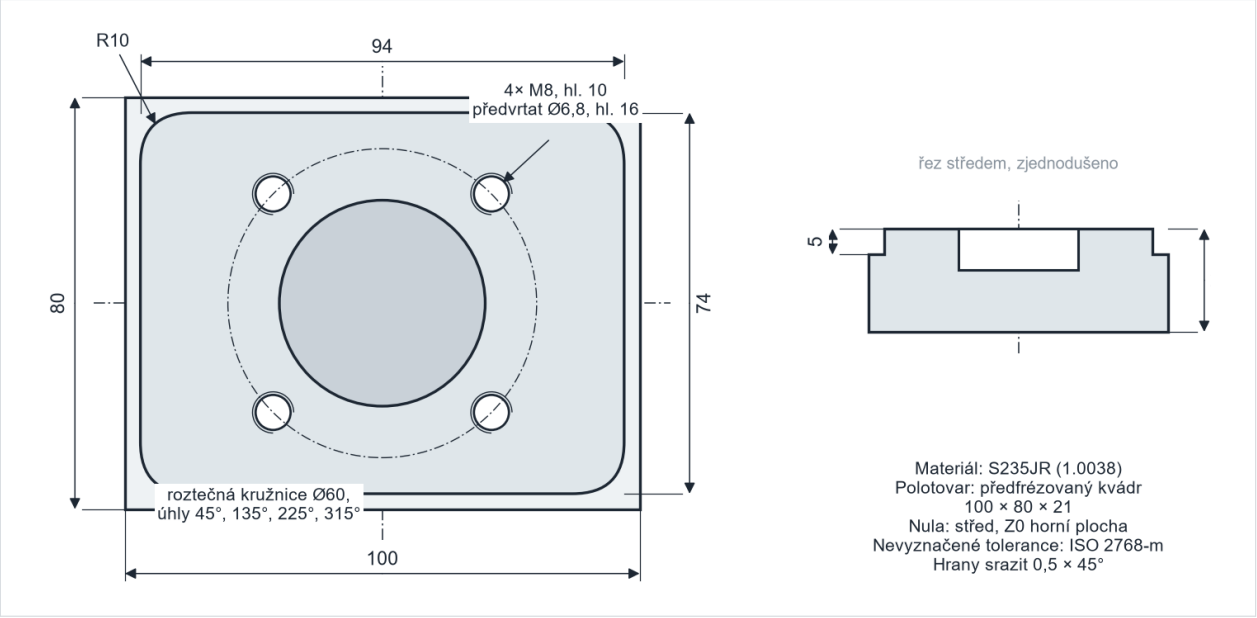
Maturitní díl krok za krokem

Vzorový maturitní díl od výkresu přes postup, nástroje a celý program v ISO kódu až po kontrolu a odhad času.

Praktická maturitní zkouška znamená podle webu školy naprogramování stroje, zhotovení a seřízení výrobku. Konkrétní zadání, stroj, řídicí systém a čas určuje škola. Tato kapitola je **vzorový cvičný díl**, ne oficiální zadání. Ukazuje, jak postupovat od výkresu ke změřenému kusu, aby ti u zkoušky nic neuteklo.

1. Zadání a výkres

Deska s osazením, kruhovou kapsou a čtyřmi závity. Ocel S235JR, polotovar je předfrézovaný kvádr 100 × 80 × 21 mm z klasické frézky. Na CNC frézce se obrobí horní strana. Počet kusů: 20.



Obr. 10.1 Výkres vzorového maturitního dílu: půdorys a zjednodušený řez.

2. Rozbor výkresu

Prvek	Požadavek	Technologie
horní plocha	Z0, výška dílu 20	zarovnat 1 mm přídavku čelní frézou
osazení 94 × 74, R10, výška 5	ISO 2768-m	obrys stopkovou frézou ve 2 hloubkách s korekcí G41, sousledně
kapsa Ø40H8, hloubka 8	40,000 až 40,039	šroubovicové zanoření, hrubování a dokončení na průměr 40,02
4× M8, hloubka 10	6H, na kružnici Ø60	navrtání se sražením, vrtání Ø6,8 hloubka 16, závitník v pevném upnutí

3. Technologický postup

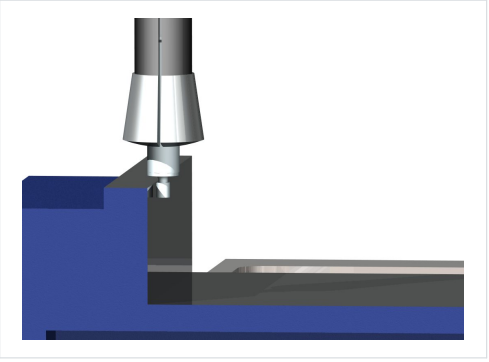
Op.	Pracoviště	Popis
10	pila	dělit plochou ocel na délku s přídavkem
20	klasická frézka	kvádr 100 × 80 × 21, kolmé a rovnoběžné plochy
30	CNC frézka	T1 čelo, T2 osazení a kapsa, T3 navrtání, T4 vrtání, T5 závity
40	zámečnické pracoviště	srazit hrany 0,5 × 45°, odjehlit závity
50	kontrola	první kus celý podle protokolu (kapitola 8), další podle plánu

4. Upnutí a nulový bod

- Strojní svěrák, obrobek na rovnoběžných podložkách, nad čelistmi vyčnívá asi 8 mm. Osazení je hluboké 5 mm, takže fréza do čelistí nenarazí.
- Nula X a Y ve středu obrobku: hledačem hran nebo sondou na stranách 100 a 80 mm (Teorie 3. ročník, kapitola 5).
- Nula Z: nástrojem nebo sondou se dotkneš horní plochy polotovaru. To je Z+1, protože se má odebrat 1 mm. Do tabulky nul proto zapíšeš hodnotu o 1 mm níž.

Hledač hran se upne do vřetena a při nízkých otáčkách se přibližuje k hraně. Ve chvíli, kdy hrot uhne, je osa vřetena od hrany vzdálená o poloměr hrotu.

Střed obrobku pak spočítáš jako průměr poloh dvou protilehlých hran, stejně jako u sondy v kapitole 8.



Obr. 10.2 Hledač hran u hrany obrobku, počítačový model.
Vlastník obrázku: Robert Hewitt, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edge_Finder_2.png

5. Nástroje a řezné podmínky

Otáčky z n = vc · 1000 / (3,14 · d), posuv vf = fz · z · n u fréz a vf = f · n u vrtáků. Řezné rychlosti pro frézy a závitník jsou výchozí hodnoty pro výpočet, ve firmě je bereš z katalogu. Pro vrtání platí školních 80 m/min pro slinutý karbid.

T	Nástroj	vc [m/min]	fz nebo f	n [ot/min]	vf [mm/min]
1	čelní fréza Ø50, 5 zubů, destičky SK	150	0,1 mm/zub	955	478
2	stopková fréza SK Ø16, 3 zuby	100	0,05 mm/zub	1 990	300, zanořování 150
3	NC navrtávák SK Ø10, 90°	80	0,05 mm/ot	2 548	127
4	vrták SK Ø6,8, 140°	80	0,1 mm/ot	3 747	375
5	strojní závitník M8 × 1,25	10	1,25 mm/ot	400	500

6. Program

Celý program je ve stylu Fanuc podle ISO dialektu z příručky SINUMERIK ISO Milling. Komentáře v závorkách jsou bez diakritiky, protože ji řídicí systémy často neumějí zobrazit. Podprogram O2001 s obrysem osazení je v kapitole 4.

```
O2026 (DESKA S KAPSOU, VZOR K MATURITE)
(MATERIAL S235JR, POLOTOVAR 100X80X21)
(NULA G54: STRED DILU, Z0 HOTOVA HORNI PLOCHA)
N10 G21 G17 G40 G49 G80 G90
N20 G54
(T1 CELNI FREZA D50 Z5)
N30 T1 M6
N40 S955 M3
N50 G0 X85 Y-20
N60 G43 Z50 H1 M8
N70 Z5
N80 G1 Z0 F478
N90 X-85
N100 G0 Y20
N110 G1 X85
N120 G0 Z50 M9
N130 M5
(T2 STOPKOVA FREZA D16 Z3)
N140 T2 M6
N150 S1990 M3
N160 G0 X-65 Y-62
N170 G43 Z50 H2 M8
N180 Z2
N190 G1 Z-2.5 F150
N200 M98 P2001
N210 G1 Z-5 F150
N220 M98 P2001
N230 G0 Z2
(KRUHOVA KAPSA D40H8 HL. 8)
N240 G0 X5 Y0
N250 G1 Z0 F150
N260 G3 X5 Y0 Z-2 I-5 J0
N270 G3 X5 Y0 Z-4 I-5 J0
N280 G3 X5 Y0 Z-6 I-5 J0
N290 G3 X5 Y0 Z-8 I-5 J0
N300 G3 X5 Y0 I-5 J0
N310 G1 X11.8 F300
N320 G3 X11.8 Y0 I-11.8 J0
N330 G1 X0 Y0
N340 G41 G1 X10.01 Y-10 D2 F150
N350 G3 X20.01 Y0 R10
N360 G3 I-20.01
N370 G3 X10.01 Y10 R10
N380 G40 G1 X0 Y0
N390 G0 Z50 M9
N400 M5
(T3 NAVRTAVAK D10 90ST)
N410 T3 M6
N420 S2548 M3
N430 G0 X0 Y0
```

```
N440 G43 Z50 H3 M8
N450 G16
N460 G99 G81 X30 Y45 Z-4.5 R2 F127
N470 Y135
N480 Y225
N490 G98 Y315
N500 G80 G15
N510 G0 Z50 M9
N520 M5
(T4 VRTAK SK D6.8 140ST)
N530 T4 M6
N540 S3747 M3
N550 G0 X0 Y0
N560 G43 Z50 H4 M8
N570 G16
N580 G99 G81 X30 Y45 Z-17.3 R2 F375
N590 Y135
N600 Y225
N610 G98 Y315
N620 G80 G15
N630 G0 Z50 M9
N640 M5
(T5 ZAVITNIK M8X1.25)
N650 T5 M6
N660 G0 X0 Y0
N670 G43 Z50 H5 M8
N680 M29 S400
N690 G16
N700 G99 G84 X30 Y45 Z-14 R5 F500
N710 Y135
N720 Y225
N730 G98 Y315
N740 G80 G15
N750 G0 Z50 M9
N760 M5
N770 G91 G28 Z0
N780 G90
N790 M30
```


Co program dělá

- **N10 až N20**: bezpečný začátek. Milimetry, rovina XY, zrušené korekce a cykly, absolutní souřadnice, nula G54.
- **N30 až N130**: T1 zarovná horní plochu ve dvou drahách Y−20 a Y+20, které se překrývají o 10 mm.
- **N140 až N230**: T2 objede obrys osazení ve dvou hloubkách podprogramem. Korekce G41 se zapíná a vypíná mimo materiál.
- **N240 až N330**: šroubovicové zanoření do hloubky 8 mm, rozšíření na poloměr 11,8 mm a návrat do středu.

- **N340 až N380**: dokončení kapsy s korekcí G41 a tečným najetím a výjezdem po oblouku R10. Poloměr 20,01 mm míří na střed pole Ø40H8.
- **N410 až N520**: navrtání do hloubky 4,5 mm. Navrtávák 90° tím udělá i sražení Ø9 pro závit, tedy 0,5 × 45°.
- **N530 až N640**: vrtání Ø6,8. Z−17,3 je hloubka 16 mm plus špička vrtáku 1,24 mm.
- **N650 až N760**: závitování v pevném upnutí. Závitník jede do Z−14, o 4 mm hlouběji než plný závit hloubky 10 mm, protože náběh závitníku pro neprůchozí díry (tvar C) má 2 až 3 závity, tedy 2,5 až 3,8 mm. Pod hrotem zůstanou 2 mm do konce plného průměru díry.
- **N770 až N790**: odjezd v Z do referenčního bodu a konec programu. Výměnu M6 dělá makro stroje, které obvykle samo odjede do polohy výměny. Jestli stroj potřebuje před M6 ještě G91 G28 Z0, ověř na stroji s UOV.

Jak to zapsat na školních systémech

Systém	Co použít	Kde je postup
Heidenhain iTNC 530	TOOL CALL, přímky L, oblouky C a CR, kapsa cyklem 252, vrtání cykly 200 a 240, závit cyklem 207	Manual Heidenhain, kapitoly 2 až 5; cykly 240 a 207 v příručce iTNC 530 Cycle Programming
Sinumerik	T a D, G41, kapsa POCKET4, díry na kružnici HOLES2 s CYCLE81, závit CYCLE84	Manual Sinumerik, kapitoly 9 a 15
Mikroprog F	G41, kruhové vybrání G75, prvky na kružnici G76, vrtání G81	Manual Mikroprog, kapitoly 6 a 7
Eltek F2000	cykly a podprogramy frézky F2000, parametrické programy	Manual Eltek, kapitoly 7 a 8

Názvy cyklů a jejich parametry si u zkoušky vždy ověř v manuálu daného systému. Příklady cyklů na školních systémech najdeš v kapitolách s řešenými programy.

7. Simulace, seřízení a první kus

1. Nahraj program a podprogram, zkontroluj čísla programů.
2. Seřiď nástroje T1 až T5 a zapiš délky H a poloměr D2 = 8,0.
3. Upni obrobek a nastav nulu podle bodu 4.
4. Spusť grafickou simulaci v řízení. Hlídej hlavně kapsu a polohu děr.
5. Projeď program po blocích se sníženým rychloposuvem, u T2 sleduj zapnutí korekce.
6. Po dokončení kapsy změř průměr dutinoměrem. Když je 40,01 místo 40,02, zmenši opotřebení v D2 o 0,005 mm (poloměr), ne program.
7. Změř celý první kus podle protokolu z kapitoly 8 a výsledek ukaž UOV.

8. Kontrola

Kóta	Měřidlo	Poznámka
Ø40H8	dutinoměr nebo třídotekový mikrometr	měř ve dvou směrech, kontroluj i kruhovitost
hloubka 8 a 5	hloubkoměr	od horní plochy Z0
M8-6H	závitový kalibr dobrý a zmetkový	dobrá strana projde celou hloubkou
poloha děr	posuvné měřítko přes trny, CMM	rozteč protilehlých děr 60 mm
obrys 94 × 74	posuvné měřítko	sleduj stopu po najetí na obrys

9. Odhad strojního času

Strojní čas pro každý nástroj z délek drah a posuvů v programu, bez rychloposuvů a výměn:

T	Výpočet	Čas [min]
1	2 × 170 mm při 478 mm/min	0,71
2, osazení	2 × 392 mm při 300 mm/min	2,62
2, kapsa	šroubovice a kruh 157 mm při 150, rozšíření 81 mm při 300, dokončení 185 mm při 150	2,59
3	4 × 6,5 mm při 127 mm/min	0,20
4	4 × 19,3 mm při 375 mm/min	0,21
5	4 × 2 × 19 mm při 500 mm/min	0,30
Celkem		6,6, zaokrouhleno 6,7 s nájezdy

Na co se u zkoušky soustředit

- Přečti celý výkres, než začneš psát program. Najdi nejpřesnější kóty.
- Napiš si list nástrojů a spočítej otáčky a posuvy na papír.
- Korekce zapínej a vypínej mimo materiál a najížděj na obrys tečně.
- Programuj na střed tolerance a rozměr pak doladíš korekcí.
- Simulace a první průjezd po blocích nejsou ztráta času, ale součást práce.
- Pracuj čistě a bezpečně. Hodnotí se i pořádek a dodržení BOZP.

CO SI ZAPAMATOVAT

- Postup: rozbor výkresu, postup, upnutí a nula, nástroje a podmínky, program, simulace, první kus, kontrola.
- Z0 na hotové ploše znamená zapsat nulu o přídavek níž, než je povrch polotovaru.
- Korekce G41 se zapíná na najížděcí dráze mimo materiál a ruší G40 při výjezdu.
- Rozměr doladíš opotřebením v korekci, program se kvůli tomu nepřepisuje.

11

MATURITA A OPAKOVÁNÍ

Cvičení, test, slovníček a zdroje

Cvičení a test s řešením, slovníček pojmů a zdroje včetně vlastníků obrázků.

Nejdřív odpovídej sám a teprve potom se podívej na řešení. Výpočty piš celé, se vzorcem i jednotkami, stejně jako u maturity.

Cvičení

1. Pro čep z kapitoly 3 napiš seřizovací list pro operaci 30 (druhé upnutí).
2. Navrhni pořadí operací pro přírubu Ø120 se středovou dírou Ø40H7 a šesti děrami na roztečné kružnici.
3. Přepiš navrtání čtyř děr z kapitoly 4 bez polárních souřadnic, jen kartézsky.
4. Napiš podprogram pro drážku 30 × 8 mm a zavolej ho natočený o 30° pomocí G68.
5. V CAM porovnej čas ofsetového a adaptivního hrubování stejné kapsy a výsledky zapiš do tabulky.
6. Pro maturitní desku spočítej čas na kus a náklady pro dávku 50 kusů se stejnými sazbami jako v kapitole 7.
7. Změř 20 dílů ze své výroby, spočítej průměr, směrodatnou odchylku, Cp a Cpk.

Test

1. Jak se jmenuje tvůj obor podle ŠVP a z kterého RVP vychází?
2. Z jakých tří zkoušek se skládá profilová část maturity podle ŠVP?
3. Jmenuj čtyři dokumenty, které programátor předává do dílny.
4. Proč se oprava programu provedená na stroji musí vrátit do archivu nebo do CAM?

5. Co znamená pravidlo 3-2-1?
6. Polotovar Ø45 × 64 z oceli. Spočítej hmotnost (hustota 0,00785 g/mm³).
7. V jakém pořadí postupuješ při volbě řezných podmínek?
8. Co znamenají I a J u oblouku ve stylu Fanuc?
9. Kdy zapíšeš R záporně?
10. Napiš polární souřadnice díry na kružnici Ø80 pod úhlem 30° (G16).
11. Co se stane se sousledným frézováním při zrcadlení jedné osy?
12. Jaká je hloubka profilu a průměr jádra závitu M16 × 1,5?
13. Hloubka závitu h = 0,9 mm, 4 průchody. Jaká je hloubka po 1. průchodu?
14. Závitník M10 × 1,5, n = 300 ot/min. Jaký posuv F v mm/min?
15. Co dělá postprocesor?
16. Proč adaptivní hrubování používá malé ae a velké ap?
17. Fréza Ø10, ae = 1 mm. Spočítej poměr hex / fz.
18. Kulová fréza r = 4 mm, krok s = 0,4 mm. Jaká je výška hřebínku?
19. Co znamenají osy A, B a C?
20. Jaký je rozdíl mezi 3+2 a pětiosým obráběním současně?
21. Spočítej strojní čas: soustružení l = 60 mm, náběh 2 mm, 1 průchod, f = 0,2 mm/ot, n = 1 000 ot/min.
22. Dávka 25 kusů, seřízení 50 min, tA = 4 min, tB = 2 min. Jaký je čas na kus?
23. Karbid n = 0,25, výměna břitu 1 min, břit 30 Kč, sazba 15 Kč/min. Jaká je trvanlivost pro nejnižší náklady?
24. Na jaký průměr napíšeš program pro Ø30h6 (horní úchylka 0, dolní −0,013)?
25. Tolerance 20 ±0,03, σ = 0,008, μ = 20,010. Spočítej Cp a Cpk.
26. Proč sonda ve stroji nenahradí konečnou kontrolu?
27. Při jaké teplotě platí rozměry podle ISO 1?
28. Kdy se sepisuje záznam o pracovním úrazu?
29. Dostupnost 0,95, výkon 0,80, kvalita 0,98. Jaké je OEE?
30. Tolerance kapsy Ø40H8 je +0,039 / 0. Kapsa měří 40,008. Co uděláš?

Řešení

1. Programátor CNC strojů, vychází z RVP 23-45-L/01 Mechanik seřizovač.
2. Praktická zkouška z odborného výcviku a dvě ústní zkoušky z odborných předmětů I a II.
3. Například technologický postup, NC program, seřizovací list, list nástrojů, kontrolní plán.
4. Jinak se při další zakázce použije stará verze se stejnou chybou.

5. Tři body v rovině, dva na přímce a jeden doraz odeberou obrobku všech šest stupňů volnosti.
6. V = 3,14 · 22,5² · 64 = 101 736 mm³, m = 101 736 · 0,00785 = 799 g.
7. Skupina materiálu, nástroj, vc, f a ap z katalogu, přepočet na otáčky, kontrola omezení stroje, ověření na stroji.
8. Přírůstkovou vzdálenost od startu oblouku ke středu v ose X a Y.
9. Když má být oblouk delší než 180°.
10. G16, X40 Y30. X je poloměr 40, Y úhel 30°.
11. Otočí se smysl G2 a G3 i strana korekce, ze sousledného je nesousledné frézování.
12. h = 0,6134 · 1,5 = 0,920 mm, d3 = 16 − 1,840 = 14,16 mm.
13. a(1) = 0,9 · √(1/4) = 0,45 mm.
14. F = 300 · 1,5 = 450 mm/min.
15. Převede neutrální dráhy z CAM na program pro konkrétní stroj a řízení.
16. Úhel záběru zůstává malý a stálý, nástroj nedostává rázy a opotřebuje se celá délka břitu.
17. hex / fz = 2 · √(10 · 1 − 1) / 10 = 2 · 3 / 10 = 0,6.
18. h = 4 − √(16 − 0,04) = 0,005 mm = 5 µm.
19. Rotace kolem os X, Y a Z podle ISO 841.
20. U 3+2 se rotační osy natočí a stojí, u pětiosého obrábění se během řezu pohybují všechny osy.
21. t = 62 / (0,2 · 1 000) = 0,31 min.
22. tk = 4 + 2 + 50 / 25 = 8 min.
23. T = (4 − 1) · (1 + 30 / 15) = 9 min.
24. Střed pole je 30 − 0,0065 = 29,9935, program X29.994 nebo X29.993 podle rozlišení systému.
25. Cp = 0,06 / (6 · 0,008) = 1,25. Cpk = min[(20,03 − 20,010) / 0,024; (20,010 − 19,97) / 0,024] = min[0,83; 1,67] = 0,83.
26. Stroj měří sám sebe, jeho geometrické chyby a teplota se projeví v měření i obrábění stejně.
27. Při 20 °C.
28. Když pracovní neschopnost trvá déle než 3 kalendářní dny (a vždy při smrtelném úrazu).
29. OEE = 0,95 · 0,80 · 0,98 = 0,745, tedy asi 74 %.
30. Je v toleranci, ale pod středem 40,0195. Zmenším opotřebení v korekci D o polovinu rozdílu na průměru, asi 0,006 mm, a další kus přeměřím.

Slovníček

Pojem	Vysvětlení
adaptivní hrubování	strategie CAM se stálým malým úhlem záběru a velkou hloubkou řezu
CAM	počítačová podpora výroby, výpočet drah nástroje z modelu
CAQ	počítačová podpora řízení kvality, sběr a vyhodnocení měření
CMM	souřadnicový měřicí stroj, měří body v prostoru a počítá z nich prvky
Cp, Cpk	ukazatele způsobilosti procesu: rozptyl a poloha vůči toleranci
dávkový čas	čas na seřízení a přípravu, který se rozpočítá na kusy v dávce
GPS	geometrické specifikace produktu, soubor norem ISO pro výkresy a měření
hřebínek	nerovnost mezi dvěma drahami kulové frézy
kinematika stroje	uspořádání os stroje, které musí znát CAM a postprocesor
knihovna nástrojů	databáze ověřených nástrojů s rozměry a řeznými podmínkami
OEE	celková efektivita zařízení: dostupnost · výkon · kvalita
osa C	řízené natáčení vřetena soustruhu
podprogram	část programu volaná opakovaně, ve stylu Fanuc M98 a M99
postprocesor	převodník drah z CAM na program pro konkrétní řízení
seřizovací list	dokument s upnutím, nulou, nástroji a korekcemi pro seřízení stroje
singularita	poloha pětiosého stroje, kdy malá změna sklonu vyžaduje velké natočení osy
SPC	statistická regulace procesu
TCPM	řízení špičky nástroje při souvislém pětiosém obrábění
trochoidální frézování	fréza krouží a postupuje, nikdy neřeže celým průměrem
UOV	učitel odborného výcviku
zbytkový materiál	materiál, který po předchozím větším nástroji zůstal v rozích
3+2	obrábění s natočenými a zastavenými rotačními osami

Zdroje

Rozložení učiva vychází ze ŠVP Programátor CNC strojů SOŠ Frýdek-Místek a z RVP oboru. Vzorce, definice a čísla jsou ověřené u zdrojů níže. Hodnoty řezných podmínek a ceny v příkladech jsou výchozí hodnoty pro výpočet, ne doporučení pro konkrétní stroj.

- SOŠ Frýdek-Místek: stránka oboru Programátor CNC strojů (sosfm.cz, Pro uchazeče, Maturitní obory) a stránka Dokumenty.
- SOŠ Frýdek-Místek: Školní vzdělávací program Programátor CNC strojů, RVP 23-45-L/01 Mechanik seřizovač, učební osnova předmětu Odborný výcvik (stažená verze s platností od 1. 9. 2025; učební plán pro 3. a 4. ročník uvádí ŠVP s platností od 1. 9. 2022), profilová část maturitní zkoušky, sociální partneři.
- SOŠ Frýdek-Místek: Učební plán pro 3. a 4. ročník, Programátor CNC strojů, školní rok 2026/2027.
- SOŠ Frýdek-Místek: Maturitní témata, odborné předměty I a II, obor 23-45-L/01, třída 4. MS, školní rok 2026/2027.
- MŠMT: Rámcový vzdělávací program pro obor vzdělání 23-45-L/01 Mechanik seřizovač, revidované znění 2020, edu.gov.cz.
- Siemens AG: SINUMERIK 840D sl / 828D ISO Milling, Programming Manual, 02/2012, 6FC5398-7BP40-3BA0 (ISO dialekt ve stylu Fanuc: G16, G68, G51, G51.1, G52, M98, G81, G83, G84).
- Siemens AG: SINUMERIK 840D sl / 828D Fundamentals, Programming Manual, 03/2013, 6FC5398-1BP40-3BA1 (R parametry, skoky, TRANS, ROT, MIRROR, SCALE, TRANSMIT, TRACYL, TRAORI, CYCLE800).
- HEIDENHAIN: iTNC 530 Cycle Programming, NC software 60642x-04 (cykly 7, 8, 10, 11, 19, PLANE, M128 a TCPM).
- Sandvik Coromant: Milling formulas and definitions, coromant.com (n, vf, Q, vztah fz a hex).
- NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, oddíl 6.1.6 What is Process Capability (Cp, Cpk).
- M. P. Groover: Fundamentals of Modern Manufacturing, kapitola o ekonomice obrábění (hospodárná trvanlivost).
- Normy ISO 1, ISO 286, ISO 513, ISO 841, ISO 1101, ISO 1832, ISO 2768-1, ISO 5608, ISO 8015, ISO 14253-1, ISO 230-4 (uvedeny podle názvu a účelu).
- Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce; zákon č. 251/2005 Sb., o inspekci práce; nařízení vlády č. 201/2010 Sb. a č. 378/2001 Sb.
- Školní materiály: Teorie odborného výcviku 1. až 3. ročník, Manual Heidenhain, Manual Sinumerik, Manual Mikroprog, Manual ProtoTRAK, Manual Eltek, CNC soustruh, CNC frézka, Řezné otáčky, Měření a měřidla, Nástroje a břitové destičky, Upínání obrobků, Závady a zmetky.
- Skutečné obrázky mají vlastníka uvedeného pod obrázkem a v tabulce níže. Schémata bez uvedeného vlastníka jsou vlastní zpracování.

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obálka vlevo	Maschinologen, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mechanische_Fertigung.jpg
Obálka vpravo	Delcam Plc, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PowerMILL_Toolpaths_Image.png
Obr. 1.1, 2.2 vpravo	Střední odborná škola - Frýdek-Místek, web sosfm.cz, stránka oboru Obráběč kovů se zaměřením na obsluhu CNC strojů, galerie
Obr. 2.2 vlevo	Mike Zielinski, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kent_USA_MACHINING_CENTER_KVR-4020A.jpg
Obr. 3.3 vlevo	Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteSchlicht.jpg
Obr. 3.3 vpravo	Florian Schott, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WendeschneidplatteSchrupp.jpg
Obr. 3.4 vlevo	Cjp24, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lycée_Albert-Claveille_10.jpg
Obr. 3.4 vpravo	GasparíniMB, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chain_type_changer_and_arm_with_two_grippers.jpg
Obr. 4.6 vlevo	Àncora, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plaqueta_roscar_pas_3.jpg
Obr. 4.6 vpravo	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Machine-screw-tap-1.JPG
Obr. 5.6	Delcam Plc, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PowerMILL_Toolpaths_Image.png
Obr. 6.3	Loffredo, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:STEP-NC_impeller.jpg
Obr. 6.5 vlevo	Berthold Hermle AG, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bearbeitungszentrum_Schnittmodell_Hermle_01.jpg
Obr. 6.5 vpravo	ReinoldTomberg (autor podle stránky souboru předpokládaný), Wikimedia Commons, volné dílo (public domain), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Metaalbewerking_frezen.jpg
Obr. 6.6	Maschinologen, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mechanische_Fertigung.jpg
Obr. 6.7 vlevo	Hunini, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:YAMAZAKI_MAZAK_Multi-Tasking_Machine_INTEGREX_i-200S_in_THE_YAMAZAKI_MAZAK_MUSEUM_OF_MACHINE_TOOLS_November_8,_2019_01.jpg
Obr. 6.7 vpravo	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
Obr. 7.3	Ms. Kotone Ojiri, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:06_INH_Automation.jpg
Obr. 8.5 vlevo	Aleroto, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Macchina_di_misura_3D.jpg

Kde	Vlastník a zdroj obrázku
Obr. 8.5 vpravo	Rally, Wikimedia Commons, volné užití se zachováním autorství (Copyrighted free use), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Taster_2.jpg
Obr. 8.6 vlevo	Blue tooth7, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PH10MO.jpg
Obr. 8.6 vpravo	TestoCH, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kreonace725.jpg
Obr. 8.8 vlevo	Glenn McKechnie, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicrometerInside5-30_25-50.jpg
Obr. 8.8 vpravo	Solaris2006, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bore_gauge_bottom_section.jpg
Obr. 8.9 vlevo	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Gauge.JPG
Obr. 8.9 vpravo	Christoph Baumgartinger, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thread_Micrometer_Detail.jpg
Obr. 9.1 vlevo	Cjp24, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Emergency_stop_button.jpg
Obr. 9.1 vpravo	Leigh Blackall from Dunedin, New Zealand, Wikimedia Commons, licence CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_aid_kit_on_wall.jpg
Obr. 9.2	EGU-Metall, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EGU-Metall_CNC-Fräsen_mit_Roboterautomatisierung.jpg
Obr. 9.3	Christoph Roser, AllAboutLean.com, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Industry_4.0_(cs).png
Obr. 10.2	Robert Hewitt, Wikimedia Commons, licence CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Edge_Finder_2.png

PAMATUJ

Tato příručka shrnuje teorii a nenahrazuje školení, návod ke stroji ani manuál řídicího systému. Programy a hodnoty vždy ověř na konkrétním stroji s UOV.