



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ**



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



NÁRODNÍ
PLÁN OBNOVY



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



VYSOKOPOSUVOVÉ FRÉZOVÁNÍ (HFM)

INOVACE PRO PRODUKTIVITU A UDRŽITELNOST V ETAPĚ GREEN DEAL

SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY (ESV)

Garant předmětu: prof. Ing. Josef Sedlák, Ph.D

Autoři: prof. Ing. Josef Sedlák, Ph.D

Ing. Martin Drbal

BRNO 2025



V RÁMCI PROJEKTU AKCELERACE ZELENÝCH DOVEDNOSTÍ A UDRŽITELNOSTI
NA VUT V BRNĚ S REGISTRAČNÍM ČÍSLEM NPO_VUT_MSMT-2143/2024-5



Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Klíč k efektivní a ekologické výrobě v 21. století:

- **Efektivní a ekologická výroba ve 21. století** je klíčová pro udržení konkurenceschopnosti a zároveň pro minimalizaci negativního dopadu na životní prostředí. Tento moderní přístup kombinuje inovativní technologie, udržitelné postupy a efektivní řízení zdrojů.



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Klíčové body:

- **Úvod do vysokoposuvového frézování (HFM):** Co to je a proč je to důležité?
- **Technologie a nástroje pro HFM:** Jaké vybavení potřebujeme?
- **Parametry a strategie frézování:** Jak správně nastavit celý proces?
- **Green Deal a udržitelnost:** Legislativní a environmentální rámec v kontextu EU a ČR.
- **Synergie HFM a Green Dealu:** Jak HFM pomáhá dosáhnout cílů Green Dealu?
- **Případové studie a pohled do budoucna.**



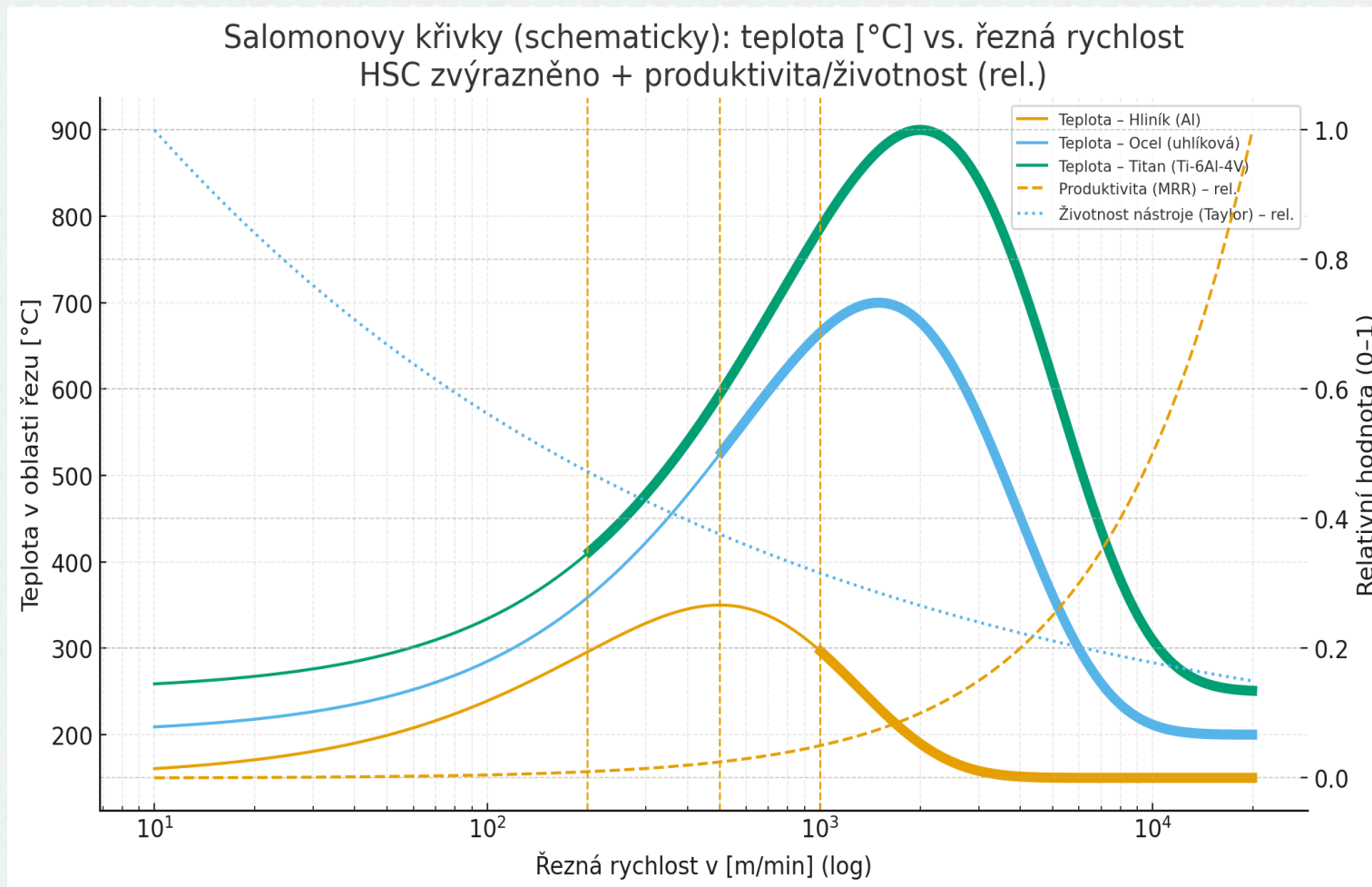
Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Solomonovy křivky:



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

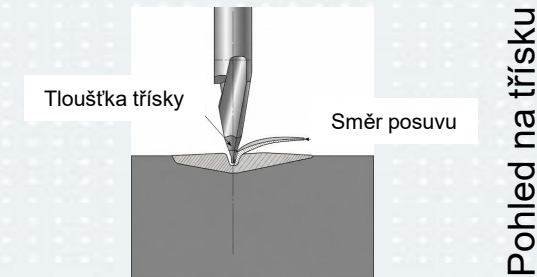
Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Vysokoposuvové frézování (*High-Feed Milling* – HFM):

- **Co to je:** Metoda frézování, která využívá vysoké rychlosti úběru materiálu.
- **Hlavní použití:** Hrubovací operace, primárně při výrobě forem a razidel.
- **Klíčové parametry:**
 - Malá hloubka řezu a_p (až do 2 mm).
 - Velký posuv na zub f_z (běžně okolo 3 mm).

Vlastnosti procesu:

- **Efekt ztenčování třísky:**
 - Nastavení úhlu ostří K_r v rozsahu 10° až 15° zásadně snižuje tloušťku třísky.
 - Tím se prodlužuje životnost nástroje.
- **Řezné síly a stabilita:**
 - Řezné síly směřují podél osy vřetena, což minimalizuje vibrace.
 - Pozor na zpětný tlak působící na obrobek, hlavně u menších a tenkostěnných dílů.
 - Radiální síly jsou zanedbatelné.



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Nástroje a jejich konstrukce:

- **Typy fréz:** Monolitní nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD).
- **Vlastnosti VBD:** Robustní, často jednostranné s velkým poloměrem špičky.
 - Nejčastější tvar: čtvercová destička (S), mezi další používané tvary patří například P, W, R nebo L.
- **Konstrukce fréz:**
 - Lze použít nástroje s velkým poměrem délky a průměru (až 7x průměr).
 - Často jsou odlehčené nad řeznou částí pro větší bezpečnost.
 - Vhodné pro ponorné frézování (plunging).

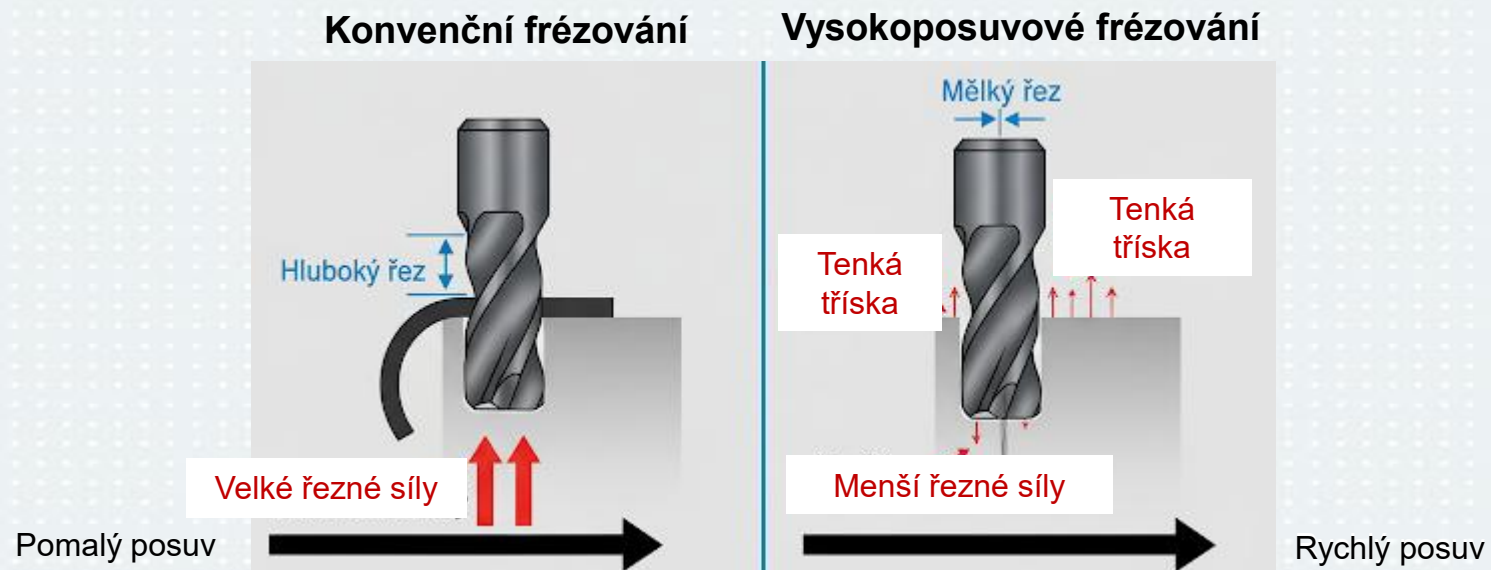
Praktická aplikace s kruhovými VBD:

- **Pravidlo pro hloubku řezu:**
 - U kruhových destiček je doporučeno omezit hloubku řezu na max. 10 % průměru destičky pro zachování efektu ztenčování třísky.
 - Hloubka řezu by neměla překročit 25 % průměru destičky pro optimální výkon.
- **Rizika:**
 - Při obrábění rohů nebo stěn dochází k náhlému nárůstu hloubky řezu. V těchto situacích je nutné snížit posuv.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Co je vysokoposuvové frézování (HFM)?

- **Definice:** Vysokoposuvové frézování (*High-Feed Milling* – HFM) je pokročilá strategie obrábění, která se vyznačuje malou axiální hloubkou řezu (a_p) a extrémně vysokou rychlostí posuvu (v_f) (často v řádu metrů za minutu), přičemž řezná rychlost (v_c) zůstává relativně vysoká.
- **Princip:** HFM se opírá o myšlenku, že menší axiální hloubka záběru minimalizuje řezné síly a teplo v nástroji, zatímco vysoký posuv na zub (f_z) zajišťuje masivní úběr materiálu. Většina tepla je odváděna tenkými třískami, což chrání nástroj i obrobek.
- **Základní myšlenka:** Místo "hlubokého zařiznutí" a pomalého pohybu, HFM preferuje "mělký, ale rychlý úběr", což vede k efektivnějšímu využití energie a materiálu.



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Historie a vývoj HFM

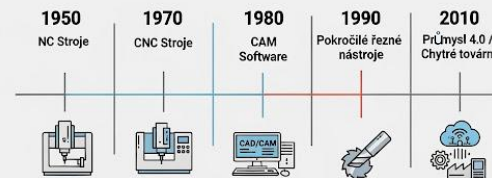
- **Počátky:** HFM se začalo rozvíjet s nástupem moderních CNC strojů v 80. a 90. letech 20. století, kdy se staly stroje dostatečně tuhé, výkonné a dynamické pro takovéto řezné podmínky. Klíčovou roli hrála i možnost programování komplexních drah nástrojů.

Klíčové milníky:

- **Vývoj pokročilých řezných nástrojů:** Zlepšení materiálů (slnuté karbidy), geometrií (pozitivní geometrie, větší úhly stoupání šroubovice) a zejména povlaků (TiAlN, AlCrN), které umožnily vyšší teploty a opotřebení.
- **Zvýšení výkonu a dynamiky obráběcích strojů:** Robustnější konstrukce, výkonnější vřetena, rychlejší lineární osy a servomotory.
- **Rozvoj CAM softwaru:** Schopnost generovat komplexní, plynulé a optimalizované dráhy nástrojů (např. trochoidní frézování), které jsou pro HFM klíčové.

Posun od konvenčního frézování: Zatímco konvenční frézování se zaměřovalo na pomalé, hluboké řezy s vysokými řeznými silami, HFM posouvá technologii k rychlým, mělkým řezům s nižšími řeznými silami, ale mnohem vyšším objemovým úběrem materiálu.

Časová osa technologických inovací ve výrobě



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Rozdíly mezi konvenčním a HFM frézováním

• Parametr	Konvenční frézování	Vysokoposuvové frézování (HFM)
• Axiální hloubka řezu (a_p)	Velká (často $0,5 \times D$ až $1 \times D$)	Malá (často $0,05 \times D$ až $0,2 \times D$, kde D je průměr nástroje)
• Radiální hloubka řezu (a_e)	Různá	Často větší, ale kontrolovaná (při trochoidním malá, při plošném velká)
• Rychlost posuvu (v_f)	Nižší (mm/min až desítky cm/min)	Velmi vysoká (metry za minutu, desítky m / min)
• Posuv na zub (f_z)	Nižší (0,05 až 0,2 mm / zub)	Vyšší (0,3 až 2,5 mm / zub i více)
• Řezná rychlost (v_c)	Nižší až střední	Vyšší (pro lepší odvádění tepla a stabilitu)
• Tvorba třísek	Silné, lámavé, často s nahromaděným břítem	Tenké, horké, efektivně odvádějící teplo
• Teplo v řezné zóně	Velké množství generováno v obrobku a nástroji	Většinou odváděno třískami, minimalizace přenosu na obrobek / nástroj
• Řezné síly	Vyšší a proměnlivé	Nižší a stabilnější (díky malé a_p)
• Produktivita (Q - objemový úběr)	Nižší	Výrazně vyšší
• Spotřeba energie	Vyšší na jednotku odebraného mater.	Nižší na jednotku odebraného materiálu

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Rozdíly mezi konvenčním a HFM frézováním:

Konvenční frézování:

Hloubka řezu (a_p): Větší hloubka řezu, což znamená, že nástroj se zanořuje hlouběji do materiálu.

Posuv na zub (f_z): Menší posuv na zub, což vede k pomalejšímu odebrání materiálu.

Celkový posuv (v_f): Pomalejší celkový posuv, což se projevuje nižší produktivitou.

Produktivita: Nižší, protože se obrábí pomaleji.

Životnost nástroje: Kratší, protože nástroj je vystaven větším rezným silám.



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování:

Hloubka řezu (a_p): Velmi malá hloubka řezu.

Posuv na zub (f_z): Velký posuv na zub, což je klíčový faktor pro vysokou produktivitu.

Celkový posuv (v_f): Extrémně rychlý celkový posuv, což výrazně zkracuje dobu obrábění.

Produktivita: Výrazně vyšší díky rychlému a efektivnímu odebrání materiálu.

Životnost nástroje: Delší, protože menší rezné síly a teplo snižují opotřebení břitu.

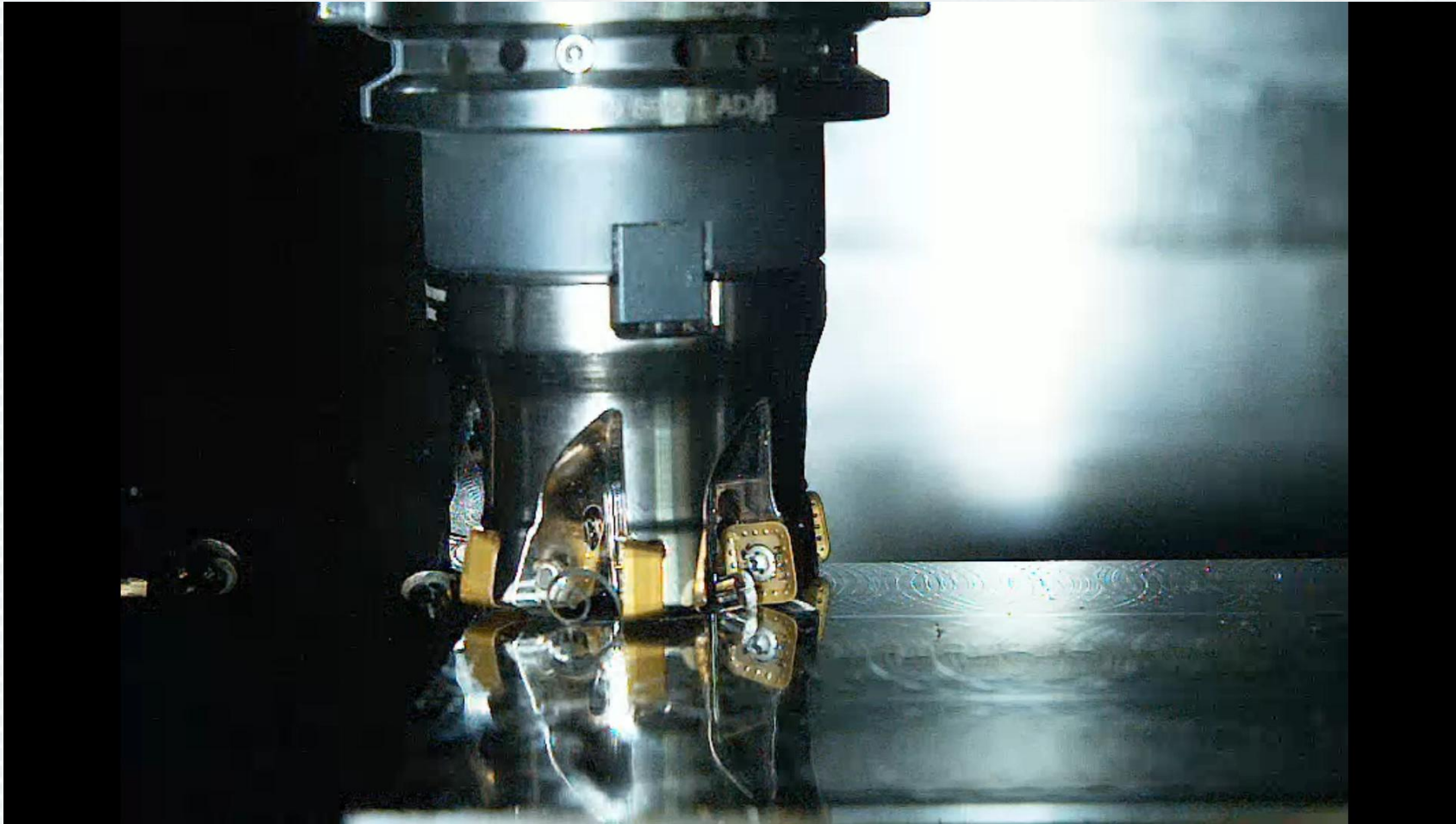
Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Klíčové principy HFM

- 1. Malá axiální hloubka řezu a_p , což je základ. Nástroj odebírá materiál v tenkých vrstvách.**
 - **Proč je to důležité?** Snižuje se kontakt řezné hrany s materiálem v ose nástroje, což minimalizuje radiální řezné síly a ohybové namáhání nástroje. Teplo je generováno blízko povrchu a efektivně odváděno s třískami.
- 2. Velký posuv na zub f_z / Vysoká rychlost posuvu v_f : Ačkoliv je a_p malá, posuv na zub je významně větší než u konvenčního frézování.**
 - **Dopad:** Díky tomu každý zub odebírá silnější třísku v radiálním směru, což umožňuje velký objemový úběr materiálu i přes malou a_p . Celková rychlost posuvu ($v_f = f_z \times z \times n$, kde z je počet zubů, n otáčky) je pak extrémně vysoká.
- 3. Vysoká řezná rychlost v_c :** Pro efektivní tvorbu třísek a minimalizaci nahromaděného břítu. V kombinaci s malou a_p a vysokým f_z přispívá k tomu, že teplo se soustředí do třísek.
- 4. Využití dynamiky stroje:** HFM vyžaduje stroje schopné **rychle akcelerovat a decelerovat** a udržovat vysoké rychlosti posuvu bez ztráty přesnosti, což je klíčové pro plynulé dráhy nástrojů.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Video – záznam vysokorychlostní kamerou



Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Výhody HFM – přehled

1. Výrazné zvýšení produktivity:

- Až 2x až 5x rychlejší oproti konvenčnímu frézování.
- Výrazné zkrácení doby obrábění na jeden díl.
- Vyšší objemový úběr materiálu (Q) za jednotku času.

2. Snížení provozních nákladů:

- Nižší spotřeba energie na obrobenou jednotku materiálu (i když stroj spotřebuje více W/hod, pracuje kratší dobu).
- Prodloužená životnost nástrojů: méně opotřebení díky nižším řezným silám a efektivnímu odvodu tepla.
- Snížení prostojů stroje: méně častá výměna nástrojů, stabilnější proces.
- Potenciální úspory chladicích kapalin (viz dále).

3. Zlepšení kvality povrchu obrobku:

- Menší řezné síly a stabilnější proces vedou k jemnějšímu povrchu s menšími deformacemi a napětím.
- Minimalizace vibrací.

4. Redukce tepelného zatížení obrobku: Většina tepla je odváděna s třískami, což snižuje riziko tepelných deformací a napětí v obrobku.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Materiály vhodné pro HFM

- **HFM** je efektivní pro širokou škálu materiálů, ale vyžaduje specifické nástroje a optimalizované podmínky:
 1. **Oceli (nizkolegované, vysokolegované, kalené):** Pro většinu ocelí je HFM velmi efektivní. Pro kalené oceli se používají nástroje z CBN nebo tvrdých karbidů.
 2. **Korozivzdorné oceli:** Díky jejich tendenci ke zpevňování a špatnému odvodu tepla je HFM přínosné. Tenké třísky odvádějí teplo, což minimalizuje zpevňování.
 3. **Litiny (šedá, tvárná, temperovaná):** Litiny jsou obecně dobře obrobitelné vysokými rychlostmi. HFM zde dosahuje vysokého objemovém úběru.
 4. **Žárovzdorné slitiny (např. Inconel, Hastelloy, Ti-slitiny):** Zde je HFM obzvláště cenné. Snižuje teplo v nástroji a obrobku, prodlužuje životnost nástroje a pomáhá s efektivním úběrem těchto obtížně obrobitelných materiálů. Často se používají nástroje z keramiky nebo s pokročilými povlaky.
 5. **Hliníkové slitiny:** Pro hliník je HFM naprosto vhodné. Lze dosáhnout extrémně vysokých řezných rychlostí a posuvů s velkým objemovým úběrem.
 6. **Kompozitní materiály:** Specifické nástroje a strategie HFM jsou vyvíjeny i pro tyto materiály, minimalizují delaminaci a opotřebení.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Technologie a nástroje pro vysokoposuvové frézování

- **Frézky pro HFM – klíčové požadavky na stroje:**

1. Extrémní tuhost a stabilita: Základ pro přesné a stabilní obrábění při vysokých rychlostech a zrychleních. Minimalizuje vibrace, které by poškozovaly nástroj i obrobek. Používají se lité konstrukce, lineární vedení s vysokou tuhostí, optimalizované dynamické chování.

2. Vysoký výkon a rychlost vřetene: Vřetena musí být schopna dosáhnout vysokých otáček (často 30 000 – 60 000 ot / min, pro speciální aplikace i více) a zároveň poskytovat dostatečný krouticí moment pro řezné podmínky.

3. Vysoká dynamika a rychlost posuvu: Schopnost os rychle akcelerovat a decelerovat (až 1G a více), aby bylo možné sledovat komplexní dráhy nástrojů s vysokou přesností. Rychlost posuvu 40 – 100 m / min i více.

4. Pokročilé řídicí systémy (CNC): Musí být schopny rychle zpracovávat velké objemy dat pro plynulé a přesné dráhy nástrojů, eliminaci ostrých změn směru a udržování konstantního zatížení nástroje.

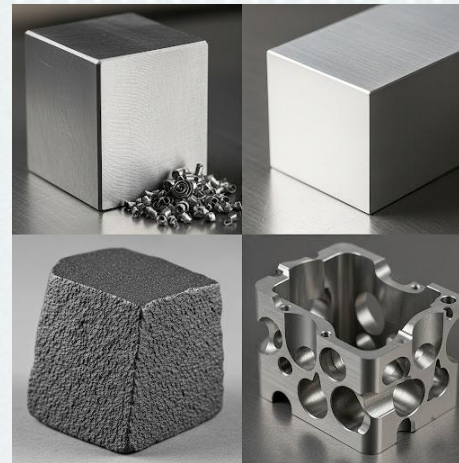
Zdroj:

<https://www.taikanmachine.com/products/fb-210p-c-5-axis-milling-and-turning-machining-center.html>

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Shrnutí úvodu do HFM – klíčové myšlenky

- **Vysokoposuvové frézování (HFM)** je progresivní metoda obrábění, která mění pohled na produktivitu a efektivitu.
- Kombinace malé axiální hloubky řezu, velkého posuvu na zub a vysoké řezné rychlosti je základem.
- **Přináší zásadní výhody:** vyšší produktivitu, nižší náklady a lepší kvalitu.
- **HFM** je aplikovatelné na širokou škálu operací a materiálů.
- **Důležitost pro navazující část přednášky:** Tyto principy tvoří základ pro pochopení, jak HFM přispívá k udržitelnosti a cílům **Green Dealu**.
- **Efektivita je klíčem k ekologickému řešení.**



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Technologie a nástroje pro vysokoposuvové frézování

Upínání nástrojů pro HFM:

- **Důležitost:** Bezpečnost, přesnost a opakovatelnost upnutí jsou zásadní pro HFM, kde i minimální házivost může vést k vibracím, opotřebení nástroje a nekvalitnímu povrchu.

- **Klíčové vlastnosti upínacích systémů:**

Přesnost: Minimální házivost (typicky pod 3 μm na 3D).

Tuhost: Maximální tuhost spojení **nástroj-držák-vřeteno** pro minimalizaci vibrací.

Vyvážení: Dynamické vyvážení celého kompletu (nástroj + držák) je nezbytné pro vysoké otáčky. Tolerance vyvážení musí být velmi přísná (např. 2,5G při 25 000 ot / min).

- **Typy upínání pro HFM:**

1. Tepelné upínání: Potřebná přesnost a tuhost. Držák se ohřeje, nástroj se zasune, po ochlazení se smrští a pevně sevře nástroj. Vhodné pro vysoké otáčky a precizní obrábění.

2. Hydraulické upínání: Poskytuje vysokou upínací sílu, potřebnou přesnost a tlumicí vlastnosti, které snižují vibrace. Snadná a rychlá manipulace s nástrojem.

3. Vysoce přesné mechanické upínání (např. ER kleštiny vyšší třídy, speciální boční upínání): Některé moderní mechanické systémy s vysokou přesností mohou být také použity.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

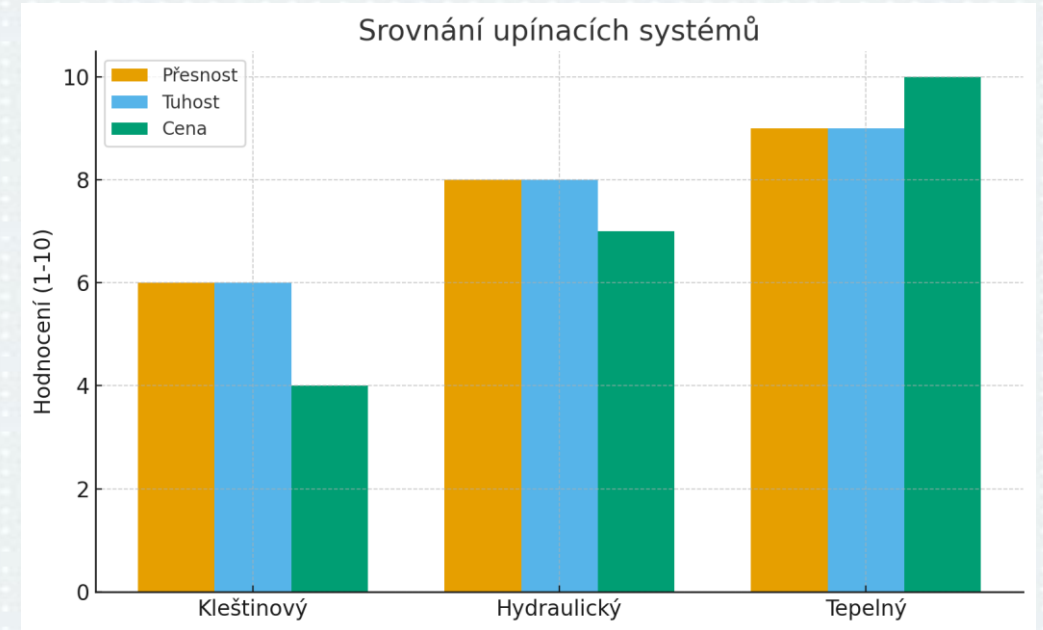
Technologie a nástroje pro vysokoposuvové frézování

Upínání nástrojů pro HFM:



Generováno: Gemini, 2025 [1].

Srovnání přesnosti, tuhosti a ceny upínacích systémů



Typ upínače	Přesnost	Tuhost	Cena
Kleštinový upínač	Dobrá	Střední	Nízká
Hydraulický upínač	Vysoká	Vysoká	Vyšší
Tepelný upínač	Nejvyšší	Nejvyšší	Vyšší

Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Technologie a nástroje pro vysokoposuvové frézování

Speciální nástroje pro HFM – obecně:

Nástroje pro HFM nejsou jen "ostřejší", ale jsou speciálně navrženy pro extrémní podmínky:

- **1. Geometrie:**

Pozitivní geometrie břitu: Snižuje řezné síly a podporuje plynulý odvod třísek.

Optimalizované úhly stoupání šroubovice: Pro efektivní odvod třísek a snížení vibrací. Často proměnný sklon šroubovice.

Zesílené jádro nástroje: Zvyšuje tuhost nástroje a odolnost proti lomu.

- **2. Materiály nástrojů:**

Vysoce výkonné slinuté karbidy: S optimalizovanou mikrostrukturou (jemnozrnné karbidy) pro kombinaci tvrdosti a houževnatosti.

Cermety: Pro dobrou odolnost proti opotřebení a tepelnou stabilitu, méně vhodné pro přerušovaný řez.

PKD (polykrystalický diamant): Velmi tvrdý, pro obrábění neželezných kovů, grafitu a kompozitů.

CBN (kubický nitrid boru): Druhý nejtvrdší materiál, vhodný pro obrábění kalených ocelí a litin.

- **3. Povlaky: Klíčové pro zvýšení životnosti a výkonu:**

TiAlN: Vysoká tepelná stabilita a odolnost proti opotřebení.

AlCrN: Vysoká tvrdost, odolnost proti otěru a oxidaci při vysokých teplotách.

DLC (Diamond-Like Carbon): Pro obrábění hliníku, plastů a kompozitů, snižuje tření a zabraňuje ulpívání materiálu.

Nové generace povlaků (např. nanostrukturované, s nízkým koeficientem tření).

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Frézy s břitovými destičkami pro HFM

- **Klíčové aspekty:**

Tvary břitových destiček: Speciální tvary destiček s velkým rádiem (tzv. High-Feed destičky) nebo kruhové destičky, které umožňují velký posuv na zub (f_z) při malé a_p . Křivka břitu je optimalizována pro rozložení síly a odvod třísek.

Počet břitů: Vyšší počet břitů (často více než 4, pro plošné frézy i přes 10) na jedné fréze pro efektivnější úběr materiálu.

Upínání destiček: Velmi pevné a stabilní upínání destiček do tělesa frézy, aby odolaly vysokým řezným silám a vibracím. Systémy, které zajišťují přesnou polohu a opakovatelnost.

Geometrie břitu destičky: Optimalizovaná pro nízké řezné síly, efektivní formování a odvod třísek. Často s utvařečem třísek.

Materiály destiček: Speciální třídy slinutých karbidů s optimalizovanými povlaky pro konkrétní aplikace a materiály.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Monolitní karbidové frézy pro HFM

- Klíčové aspekty:

Geometrie:

Speciální spirálové geometrie: S optimalizovaným úhlem šroubovice pro plynulý řez a efektivní odvod třísek.

Proměnný sklon šroubovice (*variable helix*): Pro tlumení vibrací a rozložení harmonických frekvencí.

Proměnná rozteč zubů (*variable pitch*): Také pro potlačení vibrací.

Optimalizovaná čelní plocha: Pro efektivní zanořování a kopírování.

Mikrogeometrie břitu: Jemné zaoblení břitu (tzv. *hone*) zvyšuje odolnost proti vylamování a prodlužuje životnost nástroje.

Povlaky: Klíčové pro monolitní nástroje. Zajišťují vysokou tvrdost, odolnost proti opotřebení a tepelnou stabilitu.

Materiál: Vysoce houževnaté a zároveň tvrdé submikronové slinuté karbidy.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Řezné materiály a povlaky pro HFM

- **Přehled řezných materiálů:**

1. **Slinutý karbid (WC-Co):** Základní kámen moderního obrábění. Pro HFM se používají jemnozrnné karbidy s optimalizovaným obsahem kobaltu pro dosažení rovnováhy mezi tvrdostí a houževnatostí.
2. **Cermet:** Keramická fáze (TiC, TiN) v kovové matici (Ni, Co). Dobrá odolnost proti opotřebení a vysokým teplotám. Pro dokončovací operace, kde je důležitý kvalitní povrch.
3. **PKD (Polykrystalický diamant):** Vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení. Používá se pro obrábění neželezných kovů (hliník s vysokým obsahem Si), kompozitů, grafitu. Není vhodný pro železné kovy kvůli difúzi uhlíku.
4. **CBN (Kubický nitrid boru):** Druhý nejtvrdší materiál. Vhodný pro vysokorychlostní obrábění kalených ocelí (až 65 HRC) a litin. Vyržší extrémní teploty.

- **Přehled povlaků (Fyzikální depozice par - PVD, Chemická depozice par - CVD):**

TiAlN: Nejčastější a univerzální povlak. Vysoká tvrdost, tepelná stabilita (až do 900°C), odolnost proti oxidaci a opotřebení.

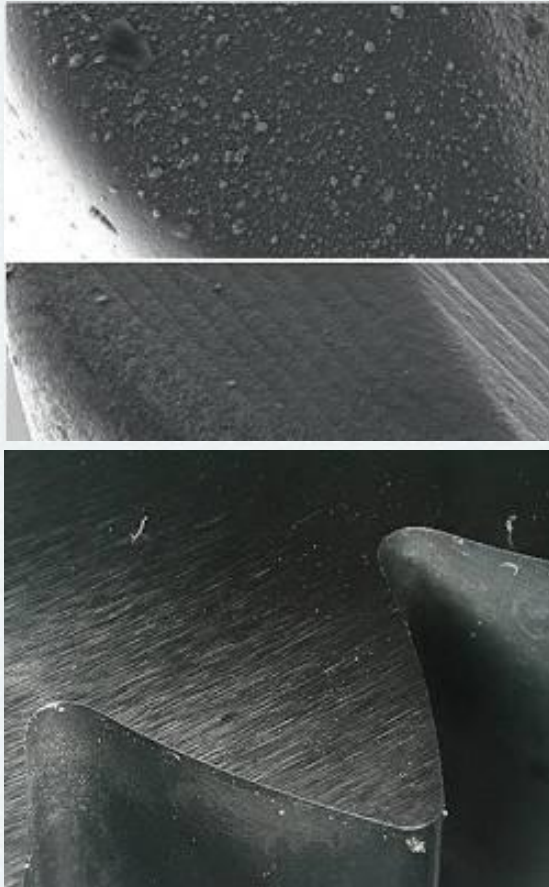
AlCrN: Vynikající odolnost proti otěru a oxidaci při vysokých teplotách, vhodný pro obrábění tvrdých materiálů a korozivzdorných ocelí.

DLC (Diamond-Like Carbon): Velmi nízký koeficient tření, vysoká tvrdost. Ideální pro obrábění hliníku, plastů, kompozitů, zabraňuje nalepování materiálu.

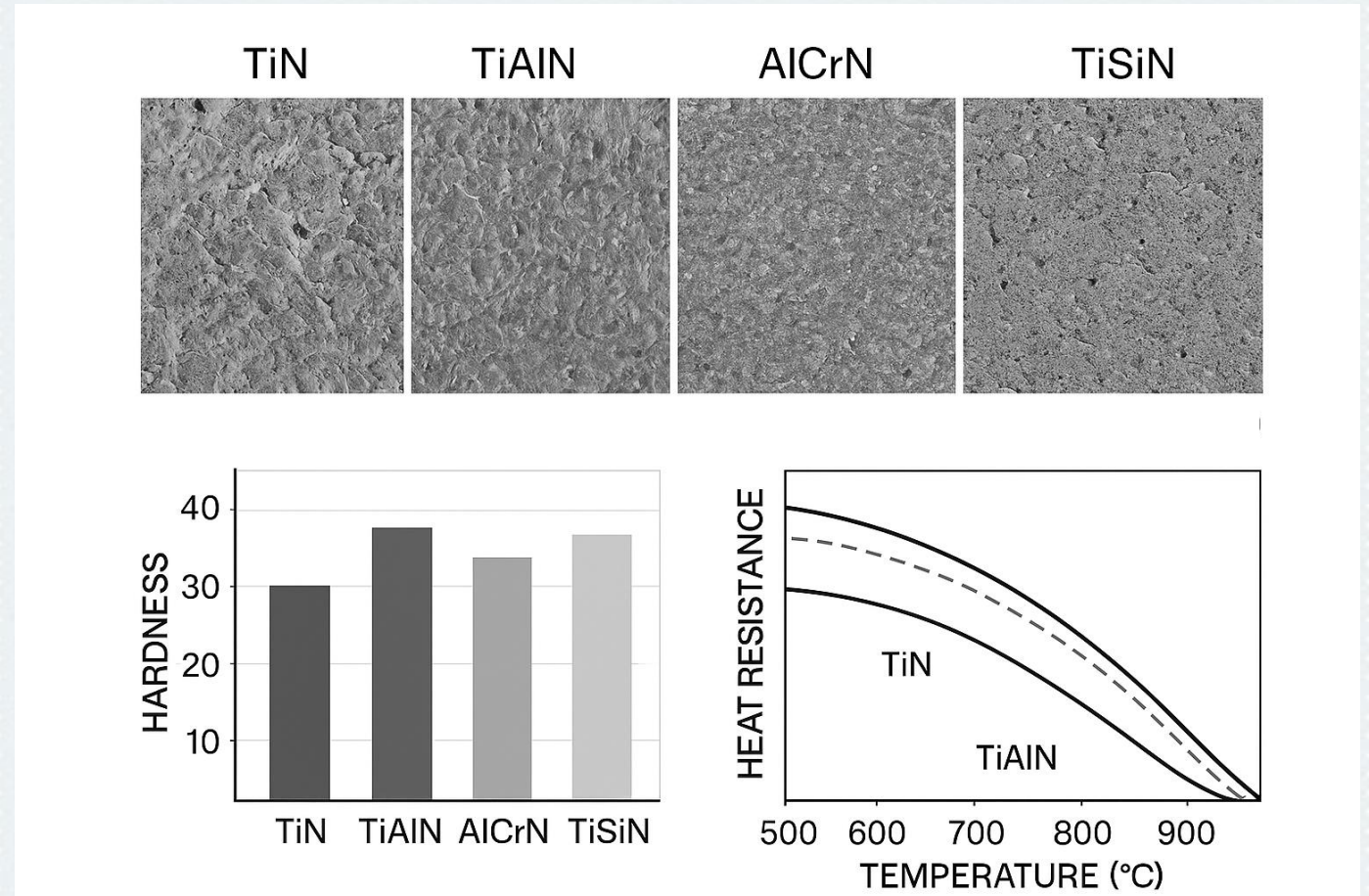
Vícevrstvé a nanostrukturované povlaky: Kombinace několika vrstev pro synergický efekt vlastností.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Řezné materiály a povlaky pro HFM



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Optimalizace geometrie nástroje pro HFM

- Optimalizace geometrie je klíčová pro maximalizaci výkonu a životnosti nástroje v HFM:

1. Rohový rádius (*Corner Radius*): Velikost rohového rádiusu má zásadní vliv na kvalitu povrchu a rozložení rezných sil. Velký rádius pomáhá rozložit zatížení a prodloužit životnost břitu.

2. Sklon šroubovice (*Helix Angle*): Ovlivňuje směr odvodu třísek, rezné síly a stabilitu procesu. Vyšší sklon (pozitivnější) pro plynulý řez, variabilní sklon pro tlumení vibrací.

3. Počet zubů: Větší počet zubů na nástroji umožňuje vyšší rychlost posuvu (v_f) při zachování akceptovatelného posuvu na zub (f_z). Více zubů znamená efektivnější úběr materiálu.

4. Tvar čelní plochy (*End Face Geometry*): Speciální tvary čelní plochy pro efektivní zanořování do materiálu (např. při šroubovicovém zahlubování) a optimální odvod třísek z rezné zóny.

5. Utvařeče třísek (*Chip Breakers*): Integrované do geometrie nástroje pro zajištění optimálního lámání a odvodu třísek, což je kritické pro bezproblémový proces HFM.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Chlazení a mazání v HFM

- Klíčové metody a jejich dopady:

1. MQL (*Minimum Quantity Lubrication* – minimum mazání):

Princip: Malé množství (ml/hod) speciálního maziva je rozptýleno ve stlačeném vzduchu a aplikováno přímo do řezné zóny ve formě aerosolu.

Výhody: Radikální snížení spotřeby chladicí kapaliny (až o 95 %), ekologičtější, čistší pracoviště (bez emulze), snadnější recyklace čistých třísek, snížení nákladů na likvidaci odpadu.

Nevýhody: Omezené chlazení pro některé aplikace (např. hluboké otvory), vyžaduje speciální MQL zařízení.

2. Suché obrábění (*Dry Machining*):

Princip: Obrábění bez jakékoli chladicí kapaliny nebo maziva.

Výhody: Maximální ekologický přínos, nulová spotřeba kapalin a náklady na likvidaci, čisté třísky pro recyklaci.

Nevýhody: Vyšší tepelné zatížení nástroje a obrobku, nutnost použití speciálních nástrojů (s vysokou tepelnou odolností) a vhodných materiálů obrobku.

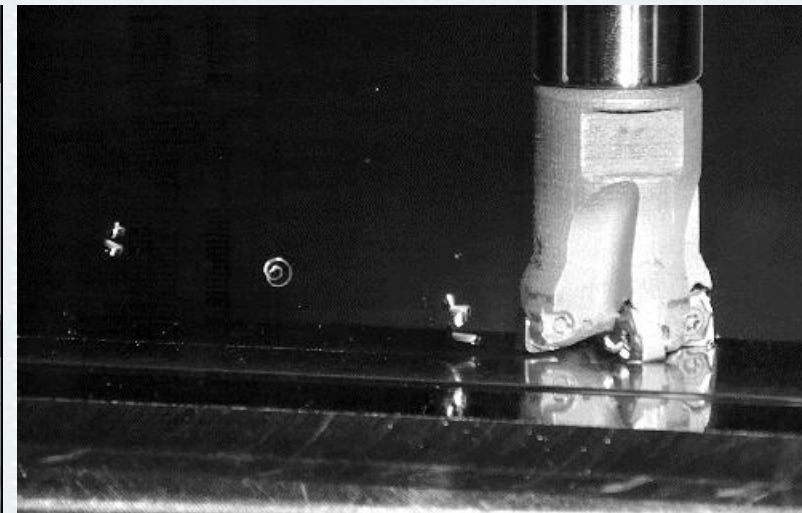
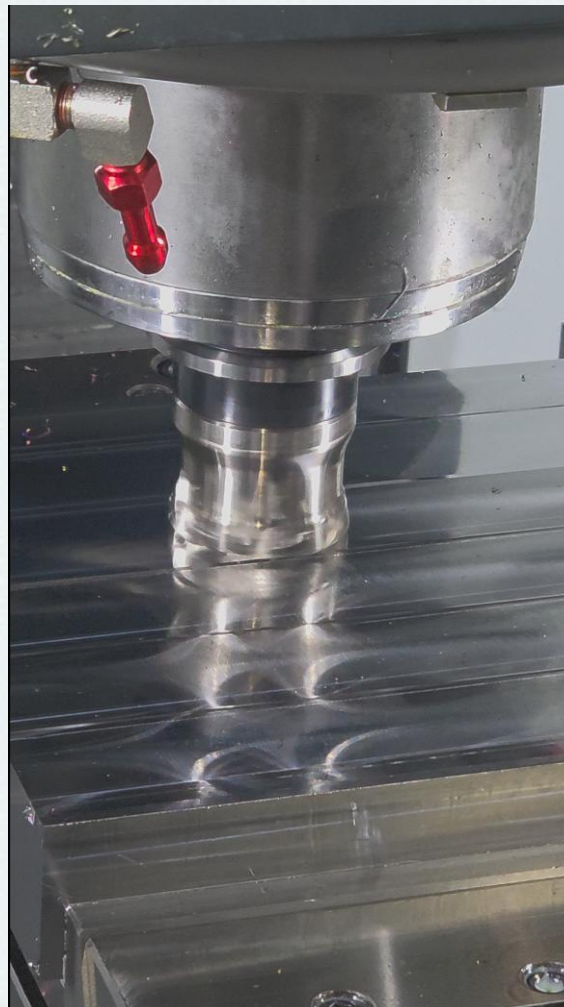
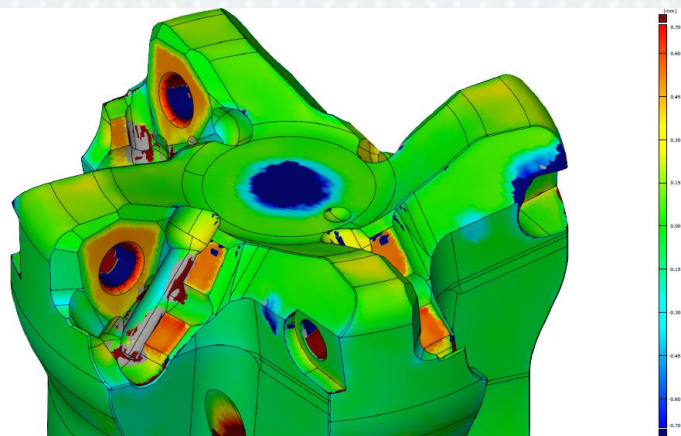
3. Konvenční chlazení (*Wet Machining*):

Princip: Použití velkého množství chladicí emulze.

Výhody: Nejúčinnější chlazení a mazání pro náročné procesy a materiály.

Nevýhody: Vysoká spotřeba kapalin, významné náklady na nákup, údržbu a likvidaci, zdravotní a ekologické dopady.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Deal



Pohled na řeznou část těla nástroje



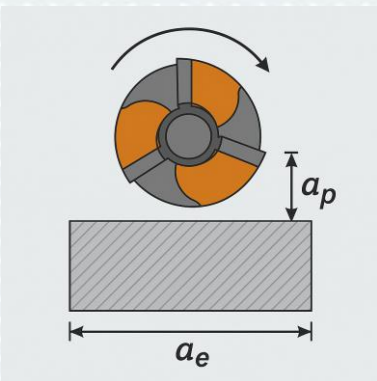
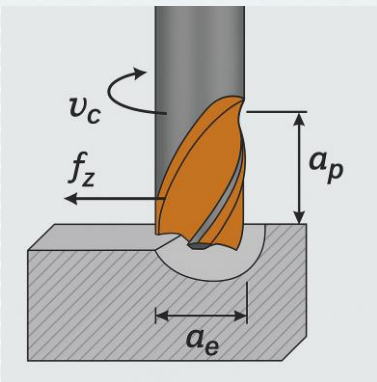
Detail přípravy lůžka

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Parametry a strategie frézování

- Klíčové řezné parametry v HFM

Pochopení interakce: Každý parametr ovlivňuje ostatní a jejich kombinace určuje efektivitu a stabilitu procesu.



1. **Řezná rychlost (v_c):** Rychlost bodu na obvodu břitu vůči obrobku (m / min).

HFM: Často vyšší v_c pro efektivnější formování třísek a odvádění tepla, ale není vždy nejvyšší prioritou oproti posuvu. Volba v_c je kompromisem mezi životností nástroje a úběrem materiálu.

2. **Otáčky vřetene (n):** Otáčky nástroje za minutu (ot / min). $n = v_c \cdot 1000 / (\pi \cdot D)$, kde D je průměr nástroje.

3. **Posuv na zub (f_z):** Tloušťka třísky, kterou odebere jeden zub nástroje při jednom otáčení (mm / zub).

HFM: Výrazně vyšší f_z než u konvenčního frézování, což je klíčový parametr pro vysoký úběr materiálu.

4. **Axiální hloubka řezu (a_p):** Hloubka, do které se nástroj zanoří do materiálu ve směru osy nástroje (mm).

HFM: Velmi malá a_p (typicky $0,05 \times D$ až $0,2 \times D$). Minimalizuje řezné síly a teplo.

5. **Radiální hloubka řezu (a_e):** Šířka záběru nástroje kolmo na směr posuvu (mm).

HFM: Může být různá, ale pro plošné frézování bývá velká, zatímco pro trochoidní malá.

6. **Rychlost posuvu (v_f):** Rychlost, se kterou se nástroj pohybuje vůči obrobku (mm / min). $v_f = f_z \cdot z \cdot n$, kde z je počet zubů.

HFM: Extrémně vysoká v_f je výsledkem vysokého f_z a n .

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Vliv řezných parametrů na proces obrábění (HFM)

1. Tvorba třísek:

HFM: Cílem je dosáhnout tenké, ale široké a správně stočené třísky, která se efektivně láme a odvádí teplo. Díky malé a_p a velkému f_z vznikají specifické třísky, které minimalizují ulpívání na břitu.

Problémy: Dlouhé, zamotané třísky mohou bránit odvodu a poškodit nástroj / obrobek.

2. Teplota v řezné zóně:

HFM: Většina generovaného tepla (až 80 % až 90 %) je odváděna s rychle se pohybujícími třískami. Tím se minimalizuje tepelné zatížení nástroje i obrobku, snižuje riziko deformací a prodlužuje životnost nástroje.

3. Opotřebení nástroje:

HFM: Díky nižším a stabilnějším řezným silám a efektivnějšímu odvodu tepla se snižuje abraze a adheze materiálu na nástroj, což vede k pomalejšímu i rovnoměrnějšímu opotřebení břitu a tím se prodlužuje životnost nástroje.

4. Řezné síly:

HFM: Nižší axiální síly a stabilnější radiální síly, což snižuje vibrace, zlepšuje kvalitu povrchu a snižuje zatížení stroje.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Řízení vibrací v HFM

Vibrace jsou „nepřítelem“ produktivity a kvality v HFM:

Příčiny vibrací:

Rezonance: Shoda frekvence řezného procesu s vlastní frekvencí nástroje, držáku nebo stroje.

Nedostatečná tuhost: Stroj, upínání nástroje nebo obrobku není dostatečně tuhé.

Špatné vyvážení nástroje: Při vysokých otáčkách způsobuje odstředivé síly.

Nevhodné řezné podmínky: Agresivní záběr, příliš vysoký a_e .

Dopady vibrací:

Zkrácení životnosti nástroje: Rychlé opotřebení břitů, vylamování.

Špatná kvalita povrchu: Vlnky, drážky, špatná drsnost.

Poškození stroje: Zatížení vřetene, ložisek, vedení.

Nadměrný hluk.

Metody řízení vibrací:

1. Pasivní metody:

Robustní konstrukce stroje: Těžké a tuhé lité rámy, tlumené podstavce.

Tlumené držáky nástrojů: Speciální držáky s tlumicími prvky, které absorbují vibrace.

Optimalizace řezných podmínek: Změna otáček (pro zamezení rezonance), změna a_p nebo a_e .

Nástroje s variabilní roztečí zubů a sklonem šroubovice: Narušují periodicitu řezných sil.

Precizní vyvážení nástrojů.

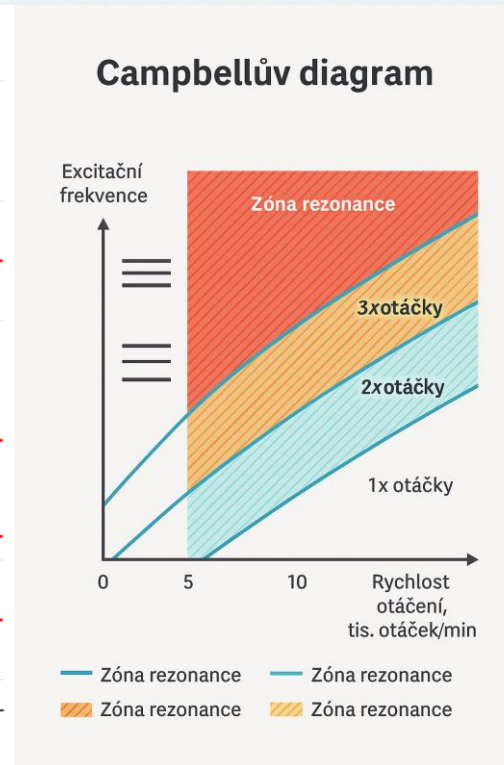
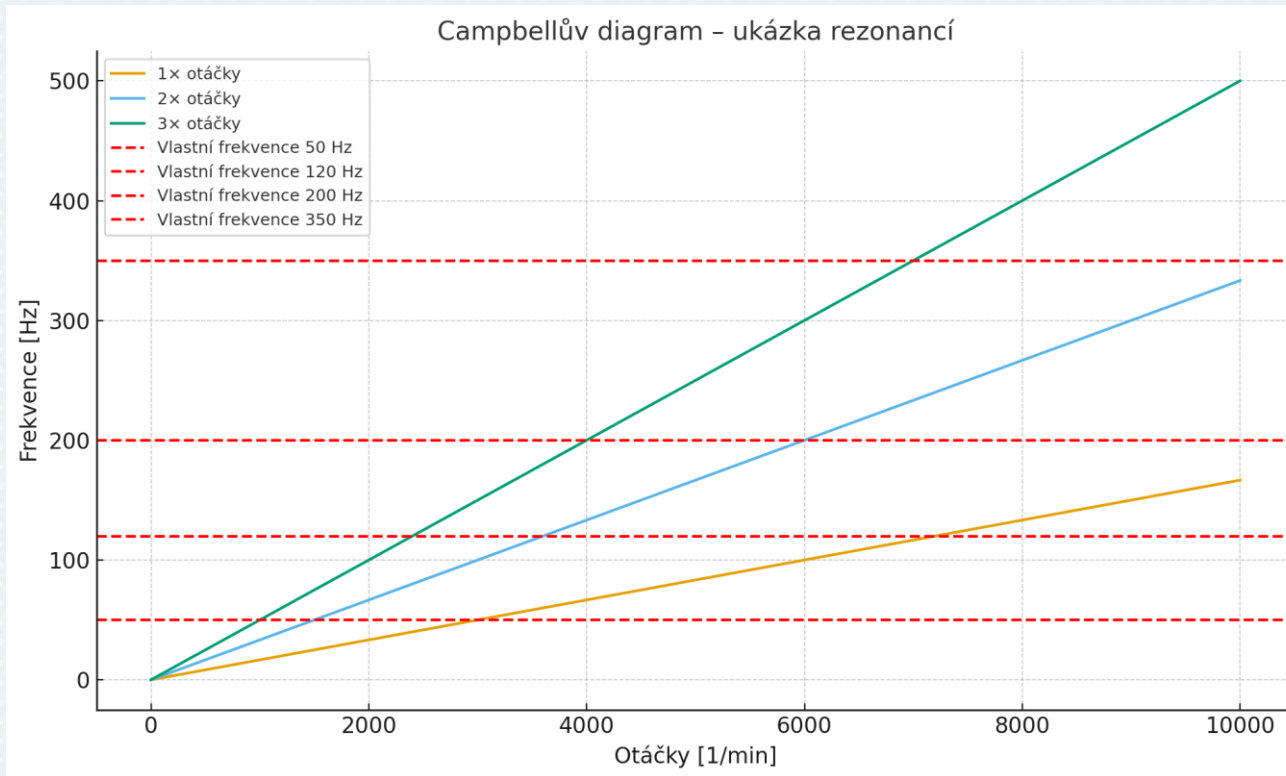
2. Aktivní metody:

Aktivní tlumiče vibrací: Systémy, které aktivně potlačují vibrace.

Aktivní řízení vřetene: Řídicí systém detekuje vibrace a dynamicky upravuje otáčky vřetene nebo posuv.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Řízení vibrací v HFM



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Monitorování procesu HFM

Proč monitorovat? Zajištění stability procesu, prevence havárií, optimalizace výkonu a životnosti nástrojů.

1. Senzory:

Silové senzory (dynamometry): Měří řezné síly v osách X, Y, Z. Umožňují detekovat přetížení, opotřebení nástroje, anomálie.

Akustická emise (AE): Vysoce citlivá metoda pro detekci tvorby mikrotrhlin v materiálu, opotřebení břitu, lomu nástroje. Umožňuje okamžitou reakci.

Vibrační senzory (akcelerometry): Monitorují vibrace nástroje a stroje. Důležité pro prevenci rezonance a zajištění kvality povrchu.

Teplotní senzory: Měří teplotu v řezné zóně nebo na nástroji.

2. Online monitorování a zpětná vazba:

Data ze senzorů jsou přenášena v reálném čase do CNC řídicího systému.

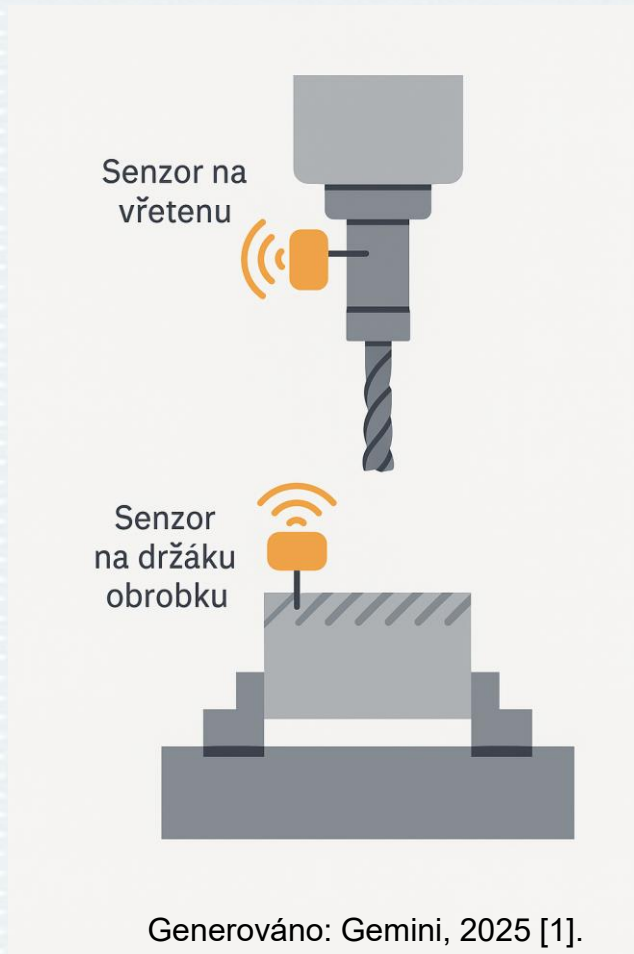
System může automaticky upravovat řezné podmínky (adaptivní řízení), zastavit proces v případě havárie nebo upozornit obsluhu.

3. Výhody: Zvýšení spolehlivosti procesu, snížení prostojů, prodloužení životnosti nástrojů, zlepšení kvality, úspory nákladů.

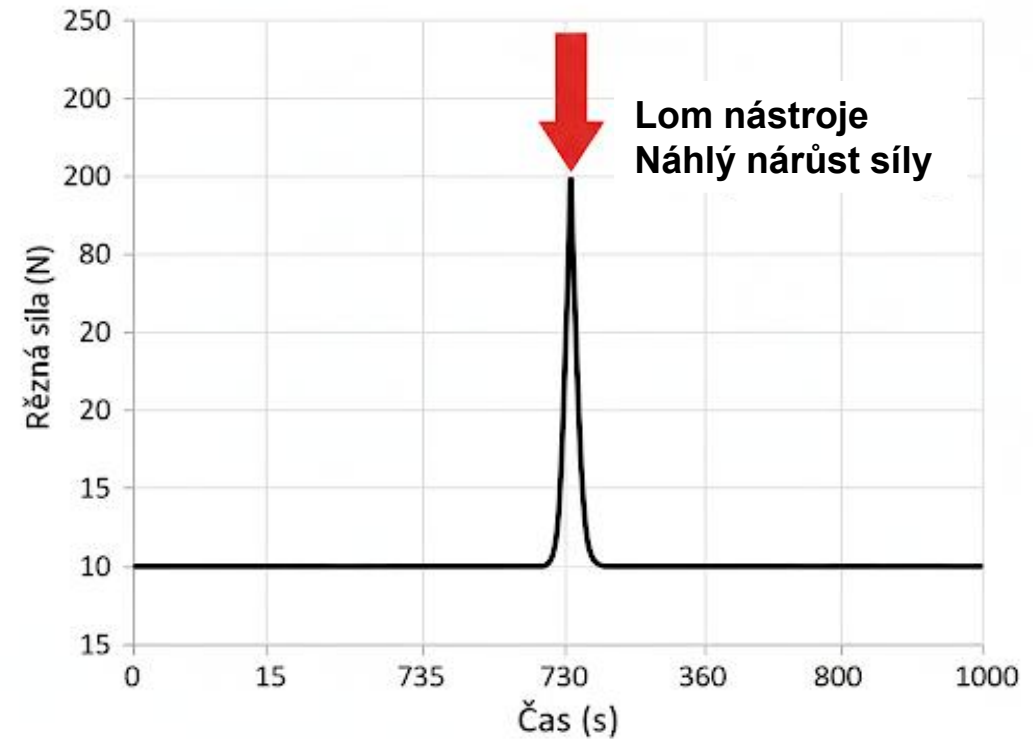
4. Průmysl 4.0 a IoT: Propojení senzorů s cloudovými platformami pro vzdálené monitorování, prediktivní analýzu a optimalizaci celých výrobních linek.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Monitorování procesu HFM



Detekce lomu nástroje na základě řezné síly



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Řešení problémů v HFM

I přes optimalizaci se mohou objevit problémy. Zde je přehled a tipy pro řešení:

1. Předčasné opotřebení nástroje / Zkrácená životnost:

Příčiny: Agresivní řezné podmínky, nevhodný nástrojový materiál / povlak, nedostatečné chlazení, vibrace.

Řešení: Optimalizovat v_c , f_z , a_p , a_e . Zvolit odolnější povlak, lepší řezný materiál. Zlepšit chlazení (např. MQL). Kontrolovat vyvážení.

2. Lom nástroje:

Příčiny: Náhlé přetížení, silné vibrace, špatné upnutí, vyčerpání životnosti.

Řešení: Snížit zatížení (např. adaptivní posuv), zlepšit upnutí, zkontrolovat tuhost stroje / obrobku, použít nástroj s vyšší houževnatostí.

3. Špatná kvalita povrchu (drsnost, vlnky, značky):

Příčiny: Vibrace, nevhodný rohový rádius, příliš velký posuv, opotřeбенý nástroj.

Řešení: Zlepšit tlumení vibrací, optimalizovat rohový rádius, snížit posuv na zub, vyměnit nástroj.

4. Nadměrné vibrace

Příčiny: Rezonance, nedostatečná tuhost, špatné vyvážení.

Řešení: Změna otáček, použití tlumených držáků, nástroje s variabilní geometrií, kontrola upnutí.

5. Špatný odvod třísek / namotávání třísek:

Příčiny: Nevhodná geometrie nástroje, špatné řezné podmínky, nedostatečné chlazení / ofukování.

Řešení: Optimalizovat geometrii břitu (utvařeče třísek), zvýšit f_z pro lepší lámání, zlepšit chlazení / ofukování.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Případové studie a praktické aplikace HFM

Konkrétní příklady ukazují sílu HFM v praxi:

1. Automobilový průmysl:

Aplikace: Frézování bloků motorů (hliník, litina), výroba forem pro plastové díly (palubní desky, nárazníky), opracování převodových skříní.

Přínosy: Zkrácení výrobních cyklů, snížení nákladů na nástroje, lepší kvalita povrchu.

2. Letectví a kosmonautika:

Aplikace: Obrábění složitých dílů z hliníku, titanu a super slitin (např. turbínové lopatky, rámy letadel).

Přínosy: Vysoká přesnost, integrita povrchu, masivní úběr materiálu u drahých a obtížně obrobitelných slitin.

3. Energetika:

Aplikace: Výroba komponent turbín (plynové, parní, vodní), díly pro jaderné elektrárny (z korozivzdorných ocelí, inconelů).

Přínosy: Vysoká produktivita u velkých a složitých dílů, udržení přesných tolerancí.

4. Výroba forem a zápusťek:

Aplikace: Rychlé a přesné vyhrubování a dokončování forem pro vstřikování plastů, tváření kovů.

Přínosy: Výrazné zkrácení doby výroby forem, vysoká přesnost detailů, lepší kvalita povrchu.

5. Zdravotnictví (*Medical*):

Aplikace: Výroba implantátů, chirurgických nástrojů z korozivzdorné oceli, titanu.

Přínosy: Vysoká přesnost a kvalita povrchu pro biokompatibilní díly.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Green Deal a udržitelnost

Co je to Green Deal?

Evropský Zelený úděl (*European Green Deal*): Ambiciózní soubor politických iniciativ Evropské unie, který byl představen Evropskou komisí v prosinci 2019. Cílem je transformovat EU na klimaticky neutrální kontinent do roku 2050.

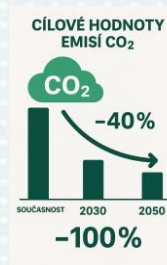
Hlavní cíle: Transformovat EU na moderní, konkurenceschopnou ekonomiku efektivně využívající zdroje.

Uhlíková neutralita do roku 2050: Cílem je dosáhnout nulových čistých emisí skleníkových plynů v EU do roku 2050. To znamená snížit emise co nejvíce a zbývající kompenzovat (např. zalesňováním).

Mezní cíl do roku 2030: Snížení emisí skleníkových plynů alespoň o 55 % ve srovnání s rokem 1990 (tzv. "Fit for 55,, balíček).

Součástí: Zahrnuje revizi stávající legislativy a zavádění nových iniciativ v oblastech jako jsou energetika, průmysl, doprava, zemědělství a stavebnictví.

Význam pro průmysl: Green Deal není jen o ekologii, ale i o nových obchodních příležitostech, podpoře inovací a zajištění dlouhodobé konkurenceschopnosti evropského průmyslu na globálním trhu.



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Cíle Green Dealu v kontextu výroby

Jak se Green Deal promítá do výrobního sektoru v roce 2025?

- 1. Snížení emisí:** Průmysl je jedním z největších producentů emisí. Cílem je dekarbonizace výroby, přechod na obnovitelné zdroje energie a snižování spotřeby energie.
- 2. Energetická účinnost:** Zvýšení efektivity využívání energie v každé fázi výroby, od návrhu přes výrobu až po logistiku. Důraz na energetické audity a implementaci úsporných opatření (např. ISO 50001).
- 3. Cirkulární ekonomika:** Odklon od lineárního modelu ("vezmi-vyrob-vyhoď") k modelu, kde se zdroje využívají co nejdéle, recyklují se a znovu používají. Zahrnutí minimalizace odpadu, prodlužování životnosti výrobků a efektivní recyklaci materiálů (včetně nástrojů a kapalin).
- 4. Udržitelné materiály a design:** Podpora vývoje a používání ekologičtějších, recyklovatelných a obnovitelných materiálů. Design výrobků s ohledem na jejich snadnou recyklovatelnost.
- 5. Digitální transformace a Průmysl 4.0:** Využití digitálních technologií (IoT, AI, Big Data) pro optimalizaci výrobních procesů, snížení plýtvání a zlepšení monitorování environmentálních dopadů.
- 6. ESG reportování (Environmentální, Sociální a Řízení):** Firmy, včetně těch v ČR, jsou stále více pod tlakem na transparentní vykazování svých environmentálních a sociálních dopadů. Ovlivnění přístupu k financování a reputaci.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Cíle Green Dealu v kontextu výroby



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Vliv průmyslové výroby na životní prostředí

Negativní dopady, které se snažíme minimalizovat:

1. Spotřeba energie a emise CO₂: Průmyslová výroba je energeticky náročná. Velká část energie pochází z fosilních paliv, což vede k významným emisím CO₂ a dalších skleníkových plynů.

2. Tvorba odpadu:

Materiálový odpad: Třísky z obrábění, zmetky, odřezky.

Chemický odpad: Opotřebené chladicí kapaliny, maziva, čisticí prostředky, které často obsahují toxické látky a vyžadují složitou likvidaci.

Pevný odpad: Opotřebené nástroje, obaly, filtry.

3. Spotřeba přírodních zdrojů: Vyčerpávání neobnovitelných zdrojů (rudy pro kovy, ropa pro plasty a maziva).

4. Znečištění vody a vzduchu:

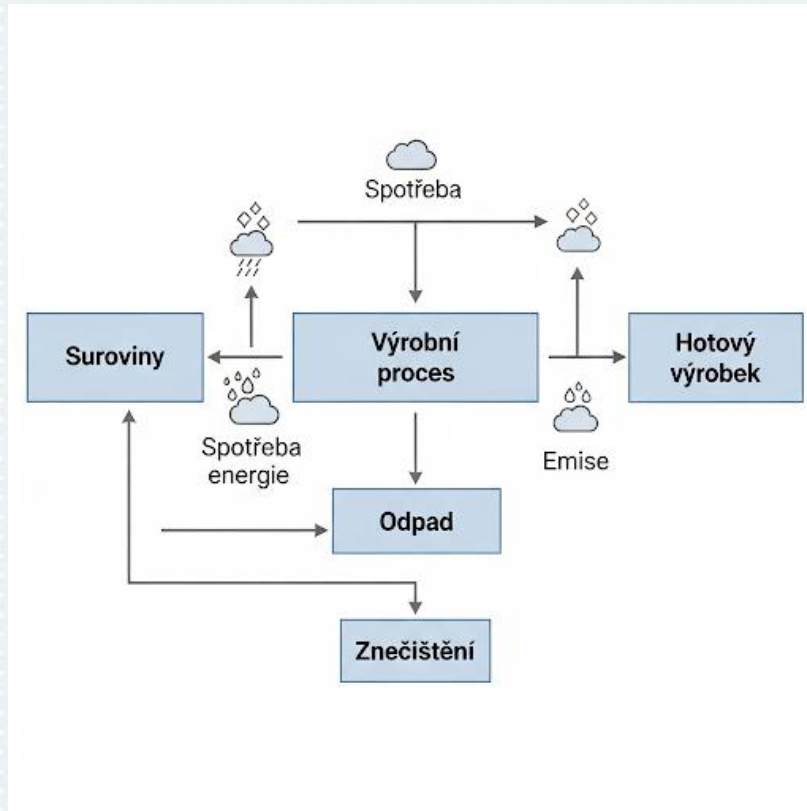
Vzduch: Emise VOC (těkavých organických sloučenin) z chladicích kapalin, prach z broušení, výpary ze svařování.

Voda: Znečištění vodními chladicími kapalinami, splašky z čištění.

5. Hluk a vibrace: Mají dopad na pracovní prostředí a okolí.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Vliv průmyslové výroby na životní prostředí



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Koncept udržitelnosti v obrábění

Více než jen ekologie: Udržitelnost v obrábění se opírá o 3 pilíře:

1. Environmentální pilíř (*Planet*):

Cíle: Minimalizace ekologické stopy výrobního procesu. Snížení spotřeby energie, vody, surovin. Minimalizace odpadu a znečištění (vzduch, voda, půda).

Příklady: Použití suchého obrábění / MQL, recyklace třísek, optimalizace spotřeby nástrojů.

2. Ekonomický pilíř (*Profit*):

Cíle: Dlouhodobá ekonomická životaschopnost podniku. Optimalizace nákladů, efektivní využití zdrojů, konkurenceschopnost na trhu.

Příklady: Snížení provozních nákladů díky úsporám energie a materiálů, prodloužení životnosti strojů, zvýšení produktivity.

3. Sociální pilíř (*People*):

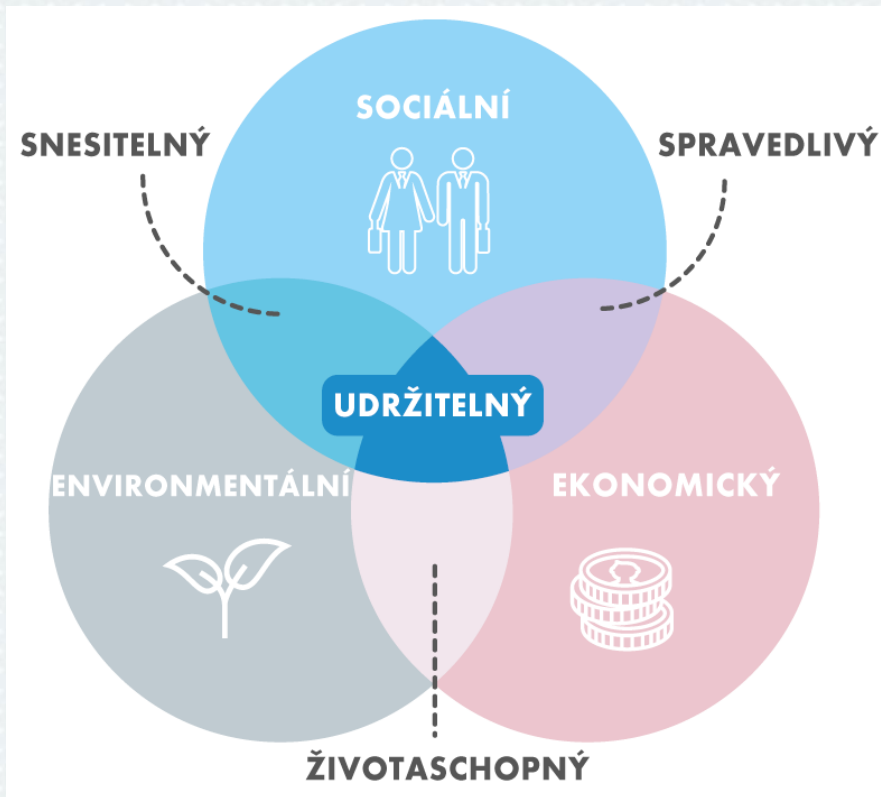
Cíle: Zajištění zdraví a bezpečnosti zaměstnanců. Zlepšení pracovních podmínek, etické standardy, společenská odpovědnost podniku.

Příklady: Snižování expozice chladicím kapalinám, méně hluku, bezpečnější pracoviště díky efektivnějšímu odvodu třísek.

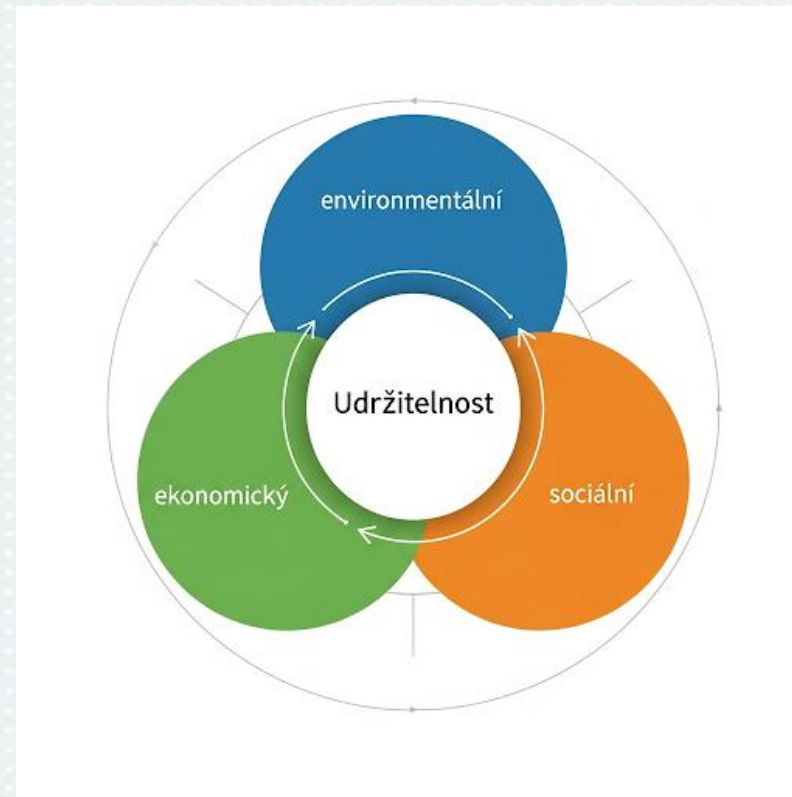
Integrace: Udržitelnost by neměla být vnímána jako dodatečná zátěž, ale jako integrální součást obchodní strategie a inovací, která přináší dlouhodobé benefity pro firmu i společnost.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Koncept udržitelnosti v obrábění



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Generováno: Gemini, 2025 [1].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Přímé a nepřímé dopady obrábění na životní prostředí

Rozlišení je důležité pro cílené strategie:

1. Přímé dopady (*Direct Impacts*): Tyto dopady vznikají přímo během obráběcího procesu ve výrobním závodě.

Spotřeba elektrické energie strojem: Během provozu stroje, včetně, posuvů, chladicích systémů.

Spotřeba a likvidace chladicích kapalin: Nákup, skladování, údržba, filtrace a následná likvidace použitých emulzí / olejů.

Tvorba třísek (odpadu): Množství a typ třísek, které je třeba sbírat, přepravovat a recyklovat / likvidovat.

Opotřebení a likvidace nástrojů: Opotřebované nástroje, které je třeba recyklovat nebo likvidovat.

Emise do vzduchu: Výpary z chladicích kapalin, prach z broušení, aerosoly.

Hluk a vibrace: Generované strojem.

2. Nepřímé dopady (*Indirect Impacts*): Tyto dopady se projevují v celém životním cyklu výrobku a jeho komponent, mimo samotný obráběcí proces.

Emise CO₂ z výroby elektřiny: Pokud je energie z fosilních paliv, pak každá spotřebovaná kWh má svou uhlíkovou stopu. V ČR je stále velký podíl elektřiny z uhlí, což podtrhuje důležitost úspor.

Emise z výroby a transportu nástrojů: Energie a zdroje potřebné k výrobě rezných nástrojů a jejich dodání.

Emise z výroby a transportu chladicích kapalin: Ekologická stopa spojená s jejich produkcí a distribucí.

Dopady na životní prostředí spojené s těžbou surovin: Ekologické dopady těžby kovů, ropy atd.

Konečná likvidace výrobku: Jak se výrobek po konci životnosti likviduje / recykluje.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

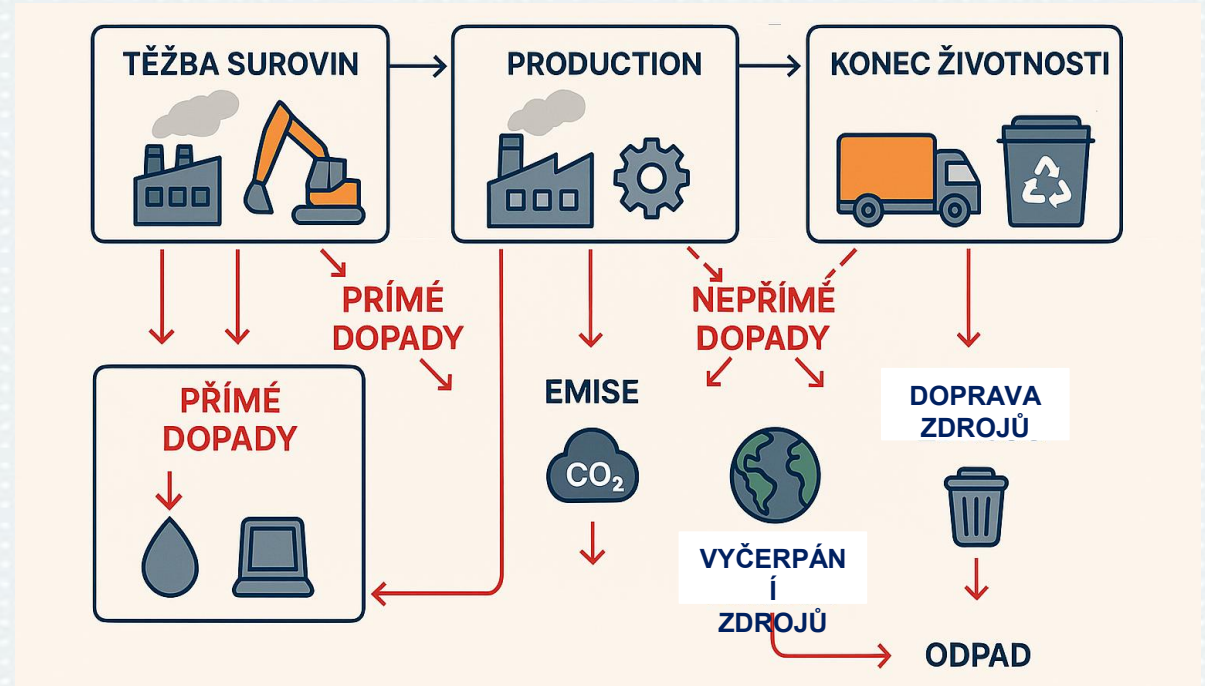
Přímé a nepřímé dopady obrábění na životní prostředí

Zjednodušené schéma životního cyklu produktu



Generováno: Gemini, 2025 [1].

Analýza životního cyklu produktu (LCA - Life Cycle Assessment)



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Cirkulární ekonomika v obrábění

Změna paradigmatu: Místo lineárního modelu ("vezmi-vyrob-vyhod") přecházíme na model, který maximalizuje hodnotu zdrojů.

1. Snížení spotřeby (*Reduce*):

HFM: Efektivnější úběr materiálu znamená menší množství zmetků a optimalizované využití surovin.

Optimalizace procesů: Snížení spotřeby energie a chladicích kapalin.

2. Znovupoužití (*Reuse*):

Renovace nástrojů: Možnost přestřeni nebo renovace opotřebovaných karbidových nástrojů, namísto jejich okamžité likvidace. Mnoho firem v ČR a SR se specializuje na renovaci nástrojů.

Systémy čištění chladicích kapalin: Prodloužení životnosti chladicích emulzí pomocí filtrace a úpravy, namísto jejich časté výměny.

3. Recyklace (*Recycle*):

Recyklace nástrojů: Slinuté karbidy jsou velmi cenné. Opotřebované nástroje jsou shromažďovány a recyklovány na sekundární suroviny.

Recyklace chladicích kapalin: Kapaliny, které již nelze renovovat, jsou recyklovány na složky.

Recyklace třísek: Čisté, neznečištěné třísky mají vysokou hodnotu a jsou snadno recyklovatelné do nových produktů.

4. Obnova a regenerace: Procesy, které umožňují získat zpět materiály z produktů po jejich životnosti s vysokou kvalitou.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Cirkulární ekonomika v obrábění



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Legislativa a normy pro ekologickou výrobu v ČR a EU (2025)

Rámec a tlak na změnu: Rostoucí legislativní tlak a normy nutí firmy k udržitelnějším praktikám.

1. ISO 14001 (Systémy environmentálního managementu):

Popis: Mezinárodní norma, která specifikuje požadavky na systém environmentálního managementu (EMS). Pomáhá organizacím řídit a zlepšovat své environmentální dopady.

Přínos: Firmy s certifikací ISO 14001 prokazují svůj závazek k ochraně životního prostředí.

2. Směrnice EU (Příklady relevantních směrnic pro 2025):

Směrnice o energetické účinnosti (EED): Podporuje zvýšení energetické účinnosti ve všech odvětvích, včetně průmyslu. Členské státy, včetně ČR, musí implementovat opatření.

Rámcová směrnice o odpadech (WFD): Stanovuje hierarchii nakládání s odpady (prevence, opětovné použití, recyklace, energetické využití, skládkování). V ČR se projevuje zpřísněním podmínek pro skládkování a podporou recyklace.

Směrnice o průmyslových emisích (IED) a její revize: Reguluje emise z velkých průmyslových zařízení a zavádí přísnější standardy pro znečištění.

REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals*): Nařízení EU, které reguluje výrobu a používání chemických látek. Má přímý dopad na složení chladicích kapalin a maziv, nutí výrobce k používání bezpečnějších alternativ. Neustále se aktualizuje seznam omezených látek.

Směrnice o reportování udržitelnosti (CSRD – *Corporate Sustainability Reporting Directive*): Od roku 2024 a dále se týká stále více firem (včetně velkých českých podniků), které budou muset povinně reportovat své environmentální a sociální dopady - zvyšování transparentnosti a tlaku na udržitelnost.

3. Národní legislativa v ČR: Harmonizace s EU legislativou, národní programy podpory (např. dotace na energetické úspory, digitalizaci).

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Legislativa a normy pro ekologickou výrobu v ČR a EU (2025)

Vývoj legislativy v oblasti udržitelnosti a odpovědnosti firem

Loga a popisy



ISO 14001

Mezinárodní norma pro systémy environmentálního managementu



REACH

V platnosti od: 2007
Ochrana zdraví a životního prostředí před riziky chemických látek



CSRD

Směrnice o podávání zpráv o udržitelnosti podniků (Corporate Sustainability Reporting Directive)



Časová osa zpříšňování legislativy

- | | |
|------|------------------------------------------------|
| 1996 | Zavedení ISO 14001 |
| 2007 | Vstup REACH v platnost |
| 2015 | Směrnice o nefinančním reportingu (NFRD) |
| 2020 | Evropský Green Deal |
| 2023 | Finalizace CSRD |
| 2024 | Povinný ESG reporting pro velké |
| 2026 | Rozšíření CSRD na SME (malé a střední podniky) |

Ikony pro směrnice a oblasti



Recyklace



Udržitelnost



Emise



Reporting



Etika



Chemické látky

Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Společenská odpovědnost firem (CSR) v kontextu udržitelnosti v ČR

Dobrovolný závazek s reálnými dopady:

Definice: CSR je závazek firem chovat se eticky a přispívat k ekonomickému rozvoji, přičemž zlepšují kvalitu života svých zaměstnanců a jejich rodin, ale i místní komunity a společnosti jako celku. V kontextu Green Dealu se CSR silně prolíná s environmentálními aspekty.

Integrace do obchodních operací: Není to jen "*green washing*", ale skutečné integrování environmentálních a sociálních ohledů do jádra podnikání.

Benefity pro firmy (specifické pro ČR / např. region Šumperk):

Zlepšení pověsti a značky: Místní komunity a zákazníci oceňují ekologicky a sociálně odpovědné firmy.

Přilákání a udržení talentů: V Olomouckém kraji a Šumperku je konkurence o kvalifikované pracovníky, CSR může být rozhodující faktor.

Snížení rizik: Minimalizace environmentálních, právních a reputačních rizik.

Inovace: CSR často vede k inovacím v produktech, procesech a obchodních modelech.

Přístup k zelenému financování: Stále více bank a investičních fondů nabízí výhodnější podmínky pro projekty s prokazatelnými ESG benefity.

Příklady v obrábění: Investice do MQL technologií, recyklace nástrojů, transparentní dodavatelské řetězce, programy pro snižování uhlíkové stopy. Podpora místních projektů a vzdělávání v oblasti udržitelné výroby.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Výzvy pro výrobní průmysl v éře Green Dealu v ČR

I přes příležitosti čelí průmysl v ČR a střední Evropě významným výzvám:

- 1. Zvýšení nákladů na počáteční investice:** Přejít na ekologičtější technologie (nové stroje, MQL systémy, recyklační zařízení) vyžaduje značné kapitálové investice. Dostupnost národních a EU dotací je klíčová.
- 2. Složitá regulace a byrokracie:** Orientace v neustále se měnící a rozšiřující legislativě může být pro české firmy náročná, zvláště pro MSP.
- 3. Nedostatek know-how a kvalifikované pracovní síly:** Potřeba vzdělávání a školení v nových technologiích a udržitelnosti je v ČR palčivá. Spolupráce s technickými školami a univerzitami (např. VUT Brno, VŠB Ostrava) je nezbytná.
- 4. Konkurenční tlak:** České firmy musí udržet konkurenceschopnost s firmami z regionů s méně přísnými environmentálními regulacemi.
- 5. Změna myšlení a firemní kultury:** Přejít na udržitelnější výrobu vyžaduje změnu přístupu od managementu až po výrobní pracovníky.
- 6. Dostupnost a cena udržitelných zdrojů:** Zajistit dodávky obnovitelné energie a recyklovaných materiálů za konkurenceschopné ceny. Problém s cenou energií v ČR je aktuální.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Příležitosti pro inovace v obrábění díky Green Dealu

Green Deal je katalyzátorem pro inovace a transformaci:

1. Vývoj nových, ekologičtějších nástrojů:

Delší životnost, vyšší výkon, optimalizace pro suché obrábění / MQL.

Snadnější recyklovatelnost nástrojových materiálů.

2. Optimalizace procesů:

Další vývoj HFM a jiných vysoce efektivních obráběcích metod.

Využití umělé inteligence a strojového učení pro prediktivní optimalizaci.

3. Udržitelné chladicí a mazací kapaliny:

Vývoj biologicky odbouratelných, méně toxických a recyklovatelných kapalin.

Zvýšení využívání MQL a suchého obrábění.

4. Digitalizace a Průmysl 4.0:

Využití dat z IoT senzorů pro přesné monitorování a řízení spotřeby energie a zdrojů.

Digitální dvojčata pro virtuální optimalizaci výrobních procesů.

5. Nové obchodní modely:

"Pay-per-use" modely pro nástroje (zákazník platí za odebraný materiál, ne za nástroj), což motivuje dodavatele k prodlužování životnosti nástrojů.

Služby recyklace a regenerace nástrojů/kapalin.

6. Konkurenční výhoda: Firmy, které se aktivně zapojí do udržitelné transformace, získají náskok na trhu a budou lépe připraveny na budoucí požadavky.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Synergie vysokoposuvového frézování a Green Dealu

Jak HFM přispívá k udržitelnosti – Úvod

Principiální propojení: HFM není jen o rychlosti, ale o chytré efektivitě, která přináší přímé a významné environmentální benefity. Efektivnější proces je ze své podstaty udržitelnější proces.

Myšlenka: „Rychleji a chytřeji“ se v tomto kontextu rovná „zeleněji a šetrněji k životnímu prostředí“.

Klíčové synergické oblasti:

- Snížení spotřeby energie.

- Optimalizace spotřeby nástrojů.

- Snížení odpadu a třísek.

- Minimalizace chladicích kapalin.

- Celková optimalizace výrobních procesů.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Snížení spotřeby energie díky HFM

Hlavní přínos pro uhlíkovou stopu:

1. Značné zkrácení doby obrábění: jedná se o nejdůležitější faktor. Ačkoliv HFM stroj pracuje s vyšším výkonem vřetene a vyššími posuvy, celková doba potřebná k obrobení dílu je výrazně kratší. Proto je celková spotřeba energie na obrobenou jednotku materiálu nebo na jeden díl nižší.

Příklad: Pokud HFM zkrátí dobu obrábění o 50 %, i když stroj spotřebovává 20 % více energie za hodinu, celková spotřeba energie na díl klesne. V ČR, kde je významný podíl uhlí na výrobě elektřiny, má každá ušetřená kWh ještě větší ekologický dopad.

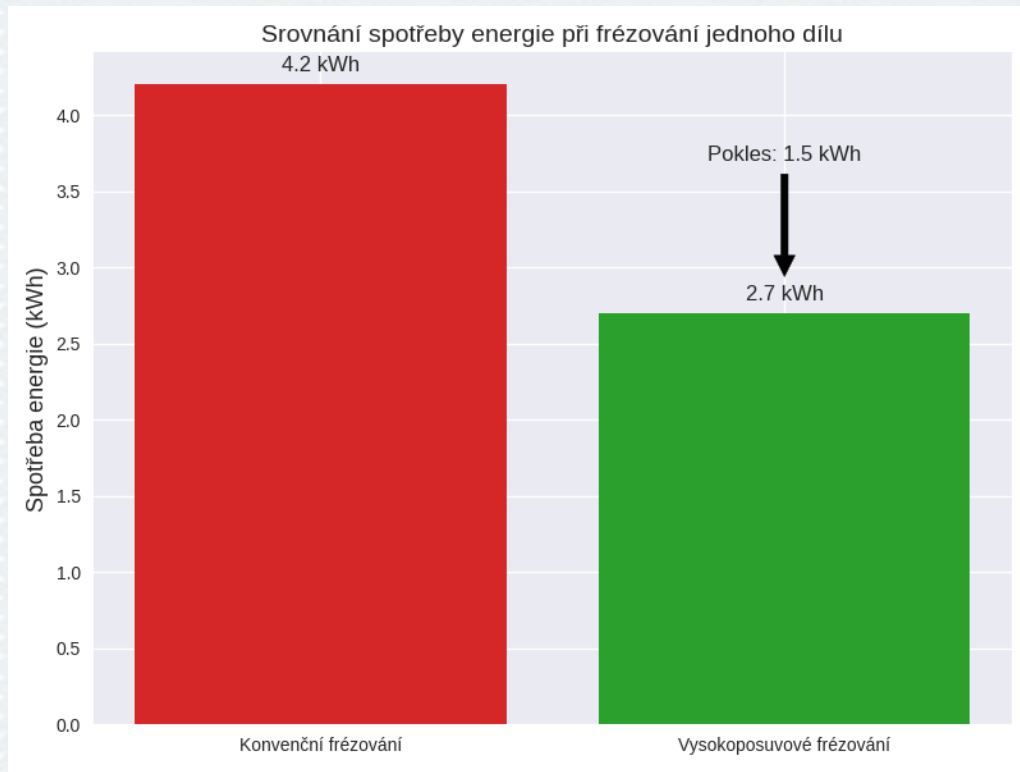
2. Vyšší energetická účinnost v řezu: Při optimálních HFM podmínkách je energie efektivněji využívána k odstraňování materiálu a méně se jí ztrácí jako teplo nebo vibrace.

3. Snížení neproduktivních časů: Díky rychlým posuvům a dynamickým zrychlením / zpožděním se minimalizuje čas, kdy je stroj zapnutý, ale neprodukuje.

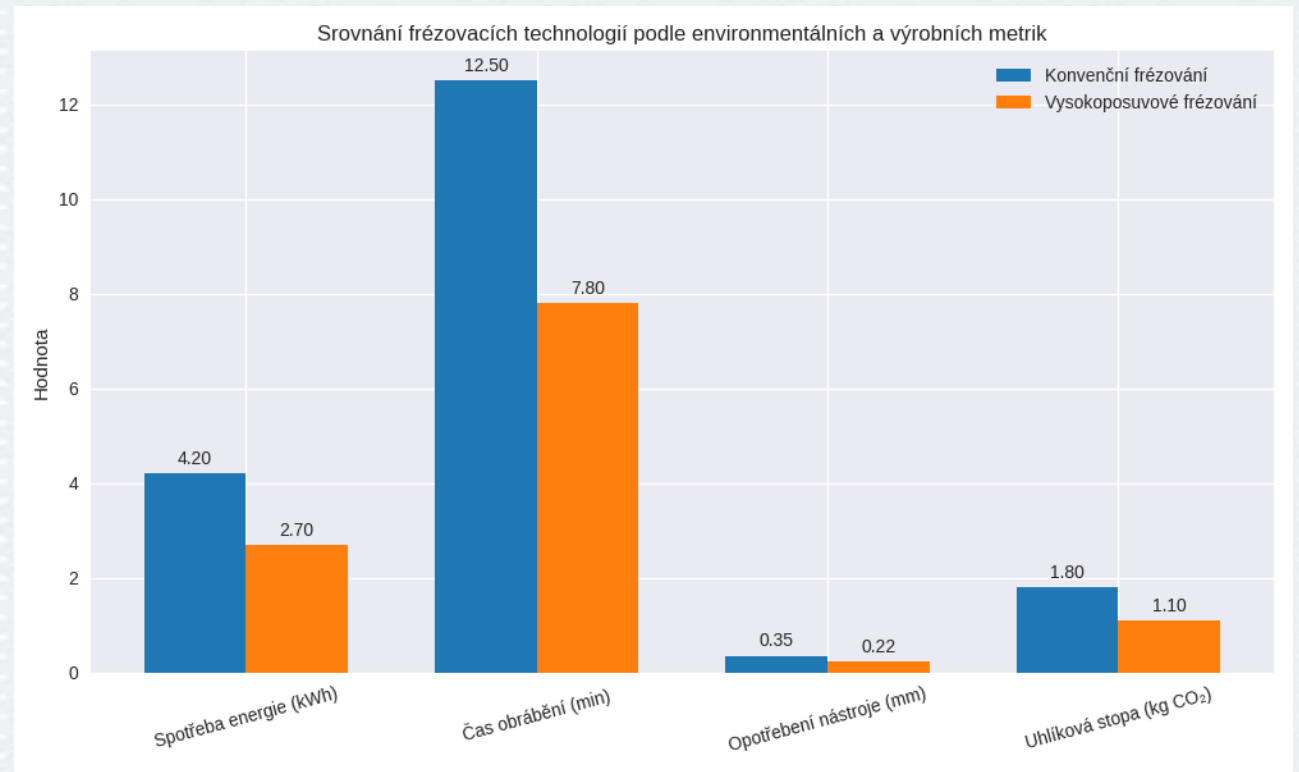
4. Méně prostojů: Díky delší životnosti nástrojů a stabilnějšímu procesu dochází k méně častým výměnám nástrojů a opravám, což dále snižuje celkovou spotřebu energie.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Snížení spotřeby energie díky HFM



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: Gemini, 2025 [1].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Optimalizace spotřeby nástrojů

Ekologický i ekonomický přínos:

1. Prodloužená životnost nástrojů:

Nižší řezné síly: Díky malé a_p a efektivní geometrii je nástroj méně mechanicky namáhán.

Efektivní odvod tepla: Většina tepla opouští systém s třískami, což chrání břit před tepelným přetížením.

Stabilnější proces: Méně vibrací a rázů, což snižuje mikro-vylamování břitu.

2. Méně opotřebených nástrojů: Delší životnost znamená, že je potřeba méně nástrojů na stejný objem výroby. Tato úvaha vede přímo ke snížení materiálového odpadu a spotřeby cenných surovin na výrobu nových nástrojů.

3. Optimalizace recyklace: Méně, ale stále efektivně recyklovatelných nástrojů. Větší kontrola nad cyklem recyklace karbidu. V ČR jsou aktivní společnosti zabývající se zpětným odběrem a recyklací karbidových nástrojů.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Snížení odpadu a třísek

Optimalizace toku materiálu:

- 1. Efektivní tvorba třísek:** HFM proces generuje menší, lépe formované a snadno odváděné třísky. Tyto třísky jsou méně kompaktní, což usnadňuje manipulaci a skladování.
- 2. Čistší třísky pro recyklaci:** Při použití suchého obrábění nebo MQL jsou třísky minimálně znečištěné chladicí kapalinou. To zvyšuje jejich kvalitu a hodnotu pro recyklační průmysl, snižuje náklady na čištění a zlepšuje environmentální dopad recyklačního procesu. Pro české kovošrotu a recyklační firmy je kvalita třísek klíčová pro efektivní zpracování.
- 3. Snížení objemu chemického odpadu:** Díky minimalizaci nebo eliminaci chladicích kapalin se výrazně snižuje objem nebezpečného chemického odpadu, který by bylo nutné likvidovat. V ČR jsou regulace pro likvidaci nebezpečných odpadů přísné a nákladné.
- 4. Minimalizace zmetků:** Díky stabilnějšímu procesu a lepší kvalitě povrchu dochází k menšímu počtu zmetků, což znamená menší plýtvání materiálem.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Snížení odpadu a třísek



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

DIAGRAM TOKU ODPADU



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Alternativní metody chlazení v HFM

Klíčový krok k ekologičtějšímu obrábění: HFM přirozeně podporuje metody, které minimalizují použití chladicích kapalin.

1. MQL (*Minimum Quantity Lubrication*):

Podpora HFM: Díky efektivnímu odvodu tepla třískami a nižšímu tepelnému zatížení nástroje je MQL velmi vhodné pro HFM.

Environmentální přínosy: Až 95% snížení spotřeby kapaliny, minimalizace mlh a aerosolů na pracovišti (zlepšení zdraví zaměstnanců), snížení nákladů na údržbu a likvidaci kapaliny. Čistší třísky pro recyklaci.

2. Suché obrábění (*Dry Machining*):

Podpora HFM: U vybraných materiálů a aplikací je HFM vhodné pro suché obrábění, protože minimalizuje generování tepla v nástroji.

Environmentální přínosy: Nulová spotřeba chladicích kapalin, žádné náklady na nákup, údržbu a likvidaci. Nejlepší pro životní prostředí i pracovní prostředí.

3. Konvenční chlazení (*Wet Machining*):

Přetrvávající nutnost: Pro některé materiály a operace (např. hluboké vrtání, velmi přesné dokončování) je stále nezbytné.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

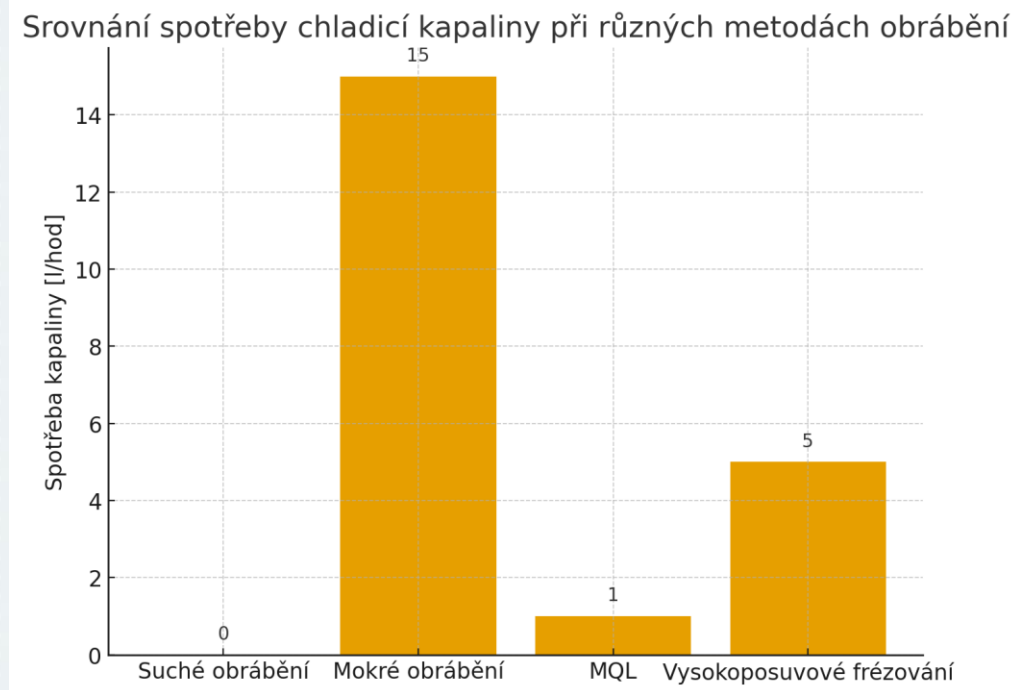
Alternativní metody chlazení



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Optimalizace výrobních procesů

Chytřejší výroba pro udržitelnost:

1. Integrace HFM do digitální továrny: Využití principů Průmyslu 4.0 – propojení strojů, senzorů a softwaru. V ČR se rozvíjí iniciativy pro digitální transformaci průmyslu, které podporují tyto technologie.

2. IoT (Internet věcí) pro monitorování:

Sběr dat: Kontinuální sběr dat o spotřebě energie, výkonu vřetene, opotřebení nástrojů, produktivitě.

Analýza a optimalizace: Analýza dat umožňuje identifikovat neefektivnosti a optimalizovat procesy pro snížení spotřeby energie a plýtvání.

3. Prediktivní údržba: Díky monitorování stavu stroje a nástrojů lze předvídat poruchy a provádět údržbu proaktivně, namísto reaktivně. Tím se minimalizují neplánované prostoje a s nimi spojená energetická neefektivita.

4. Zkrácení výrobních cyklů: Díky celkové efektivitě HFM se zkracuje čas od objednávky po dodání, což snižuje spotřebu energie v celém logistickém řetězci.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Snížení emisí CO₂ v celém výrobním řetězci díky HFM

Celková uhlíková stopa: HFM má pozitivní dopad na emise CO₂, a to jak přímo, tak nepřímo.

1. Přímé emise CO₂:

Snížení spotřeby energie strojem: Pokud je elektrická energie vyráběna z fosilních paliv, každá ušetřená kWh znamená snížení emisí CO₂.

Méně energie pro periferie: Kratší doba provozu znamená méně energie pro chlazení hal, odsávání atd.

2. Nepřímé emise CO₂:

Méně transportu nástrojů a chladicích kapalin: Delší životnost nástrojů a méně spotřebovaných kapalin znamená menší potřebu transportu, což snižuje emise z dopravy.

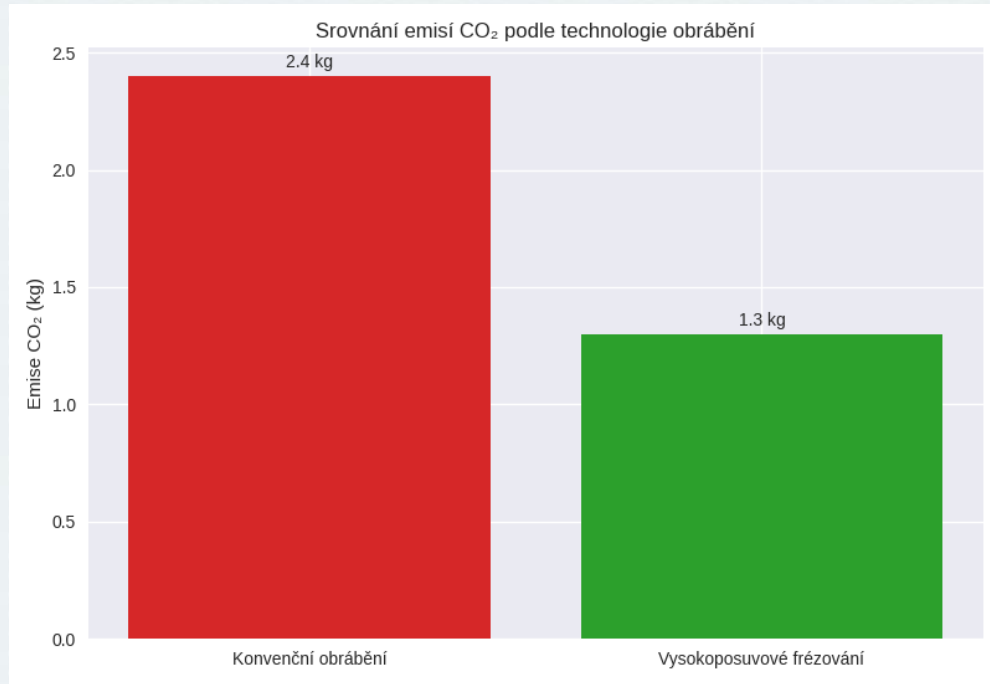
Méně energie pro výrobu nástrojů a kapalin: Nižší poptávka po nových nástrojích a kapalinách snižuje emise CO₂ spojené s jejich výrobou.

Snížení emisí z likvidace odpadů: Méně odpadu, který je třeba zpracovat nebo skládkovat, snižuje emise z těchto procesů.

Efektivnější recyklace: Čisté třísky a recyklované nástroje snižují potřebu primárních surovin, jejichž těžba a zpracování jsou energeticky náročné a produkují CO₂.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Snížení emisí CO₂ v celém výrobním řetězci díky HFM



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Metrika	Konvenční obrábění	Vysokoposuvové frézování
Emise CO ₂ (kg/díl)	2,4	1,3
Spotřeba energie (kWh)	4,2	2,7
Spotřeba vody (l)	1,8	1,1
Recyklovatelnost (%)	65 %	88 %

Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Příklad implementace HFM pro udržitelnou výrobu (hypotetická případová studie v ČR)

Konkrétní příklad, který ilustruje teoretické principy:

Název společnosti: Šumperská Strojírna s.r.o.

Původní stav: Používali konvenční frézování pro výrobu složitých ocelových forem. Dlouhé doby obrábění (např. 20 hodin na formu), vysoká spotřeba chladicí kapaliny (500 l / měsíc), časté výměny nástrojů (každých 8 hodin).

Implementace HFM (od roku 2024/2025): Investice do nové pětiosé HFM frézky s vysokootáčkovým vřetenem, pokročilého CAM softwaru s adaptivními strategiemi (trochoidní frézování), nástrojů s optimalizovanými AlCrN povlaky a přechod na MQL chlazení. Využití konzultací s tuzemskými univerzitami (např. VUT v Brně, VŠB Ostrava).

Klíčové výsledky po implementaci HFM (za 1 rok – data k červnu 2025):

Produktivita: Doba obrábění konkrétní formy zkrácena o 55 % (z 20 na 9 hodin).

Spotřeba energie: Celková spotřeba elektrické energie na formu snížena o 32 % (i přes vyšší špičkový výkon stroje).

Spotřeba chladicí kapaliny: Snížena o 99 % díky MQL (z 500 litrů / měsíc na cca 5 litrů / měsíc). Výrazné úspory na nákupu i likvidaci.

Životnost nástrojů: Prodloužena o 70 % (z 8 na 13,6 hodin na nástroj, méně nákupů nástrojů, méně odpadu).

Kvalita povrchu: Výrazně lepší drsnost povrchu (Ra 0,6 μm místo Ra 1,2 μm).

Uhlíková stopa: Odhadované snížení emisí CO₂ o 20 % v rámci celého výrobního cyklu daného dílu.

Sociální dopad: Čistší a bezpečnější pracovní prostředí pro operátory díky minimalizaci aerosolů z chladicích kapalin.

Dopad: Šumperská Strojírna s.r.o. nejen zvýšila svou konkurenceschopnost a ziskovost na trhu forem, ale také významně zlepšila svůj environmentální profil a je nyní lépe připravena na budoucí regulace Green Dealu.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

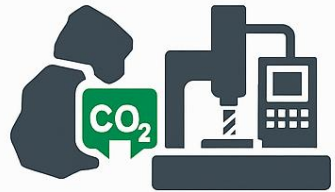
Příklad implementace HFM pro udržitelnou výrobu (hypotetická případová studie v ČR)

Příklad implementace HFM pro udržitelnou výrobu (hypotetická případová studie v ČR)

Konkrétní příklad ilustrující teoretické principy:

Šumperská Strojírna s.r.o.

PŮVODNÍ METODA



Dlouhé doby obrábění
– např. 20 hodin na formu)

Vysoká spotřeba chladicí kapaliny
– 500 l/měsíc)

Časté výměny nástrojů – každých 8 hodin

IMPLEMENTACE HFM



Produktivita +55 %
z 20 h na 9 h

Spotřeba energie
–32 %

Spotřeba chladicí kapaliny
–99 %
z 500 l na cca 5 l/měsíc)

Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Metrika	Před implementací HFM	Po implementaci HFM	Zlepšení (%)
Doba obrábění	20 h	9 h	-55 %
Spotřeba energie	4,2 kWh	2,7 kWh	-32 %
Spotřeba chladiva	500 l/měsíc	5 l/měsíc	-99 %
Životnost nástrojů	8 h	13,6 h	+70 %
Kvalita povrchu (Ra)	Ra 1,2 μm	Ra 0,6 μm	-50 %
Uhlíková stopa	2,4 kg CO ₂	1,9 kg CO ₂	-20 %

Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Budoucnost HFM v kontextu Green Dealu

Současné trendy a budoucí výhled (2025 a dál):

1. Další výzkum a vývoj nástrojů:

Chytřejší nástroje: Nástroje s integrovanými senzory pro ještě přesnější monitorování a adaptivní řízení.

Pokročilé materiály: Nové slitiny a kompozity pro nástroje, které budou ještě odolnější vůči teple a opotřebením, umožňující ještě vyšší v_c a f_z .

Ekologičtější povlaky a procesy povlakování: Nižší energetická náročnost při výrobě povlaků.

2. Nástup umělé inteligence (AI) a strojového učení (ML):

Optimalizace v reálném čase: AI algoritmy budou schopny analyzovat obrovská množství dat ze senzorů a dynamicky upravovat řezné podmínky pro maximální efektivitu a minimální dopad.

Prediktivní údržba: Ještě přesnější předpověď poruch a opotřebením, minimalizace neplánovaných odstávek.

3. Rozšíření suchého obrábění a MQL: S vývojem nástrojů se bude suché obrábění stávat aplikovatelnější pro širší škálu materiálů a operací.

4. Hlubší integrace do konceptu Průmyslu 4.0: Vytvoření plně automatizovaných a optimalizovaných "zelených" výrobních buněk.

5. Integrace s obnovitelnými zdroji energie: Čím více výrobních závodů (včetně např. těch v Šumperku a okolí) bude poháněno "zelenou" energií (solární panely, větrné elektrárny), tím větší bude celkový environmentální přínos HFM.

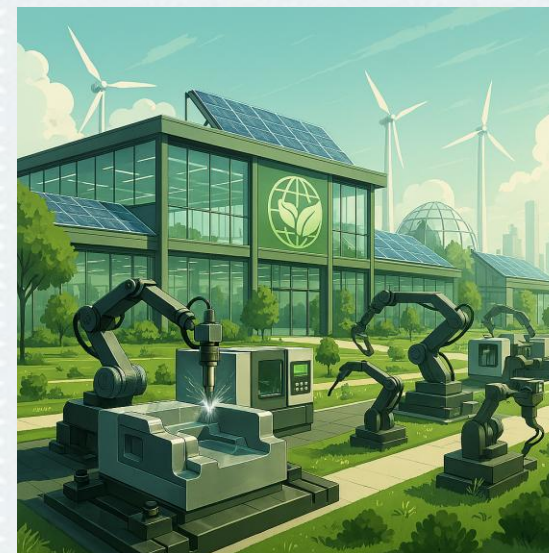
6. Legislativní tlak a tržní poptávka: Zákazníci, dodavatelské řetězce (např. automotive, aerospace) a regulační orgány budou stále více vyžadovat udržitelné výrobní procesy a prokazatelné ESG parametry. To povede k dalším investicím do HFM.

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Budoucnost HFM v kontextu Green Dealu



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Umělá inteligence



Robotika



Zelená energie

Generováno: Gemini, 2025 [2].

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v procesu Green Dealu

Závěr a diskuse

Shrnutí klíčových bodů:

Vysokoposuvové frézování (HFM) je špičková technologie obrábění, která zásadně zvyšuje produktivitu a efektivitu výrobních procesů.

HFM není jen o produktivitě, ale díky své inherentní efektivitě je i významným nástrojem pro dosažení cílů Evropského Green Dealu.

Jeho přínosy v podobě snížení spotřeby energie, optimalizace využití nástrojů, minimalizace odpadu a podpory ekologičtějších metod chlazení jsou klíčové pro udržitelnější budoucnost výroby.

Výzva pro firmy např. v Šumperku a celé ČR: Investice do HFM a souvisejících technologií není jen otázkou modernizace, ale je to strategické rozhodnutí pro zajištění dlouhodobé konkurenceschopnosti a společenské odpovědnosti v době, kdy udržitelnost je prioritou a regulace se zpřísňují.

Budoucnost: Integrace HFM s AI a Průmyslem 4.0 bude dále posilovat jeho roli v zelené transformaci průmyslu.

Závěrečná myšlenka: Efektivní výroba je udržitelná výroba. A HFM je jedním z jejích klíčových pilířů.

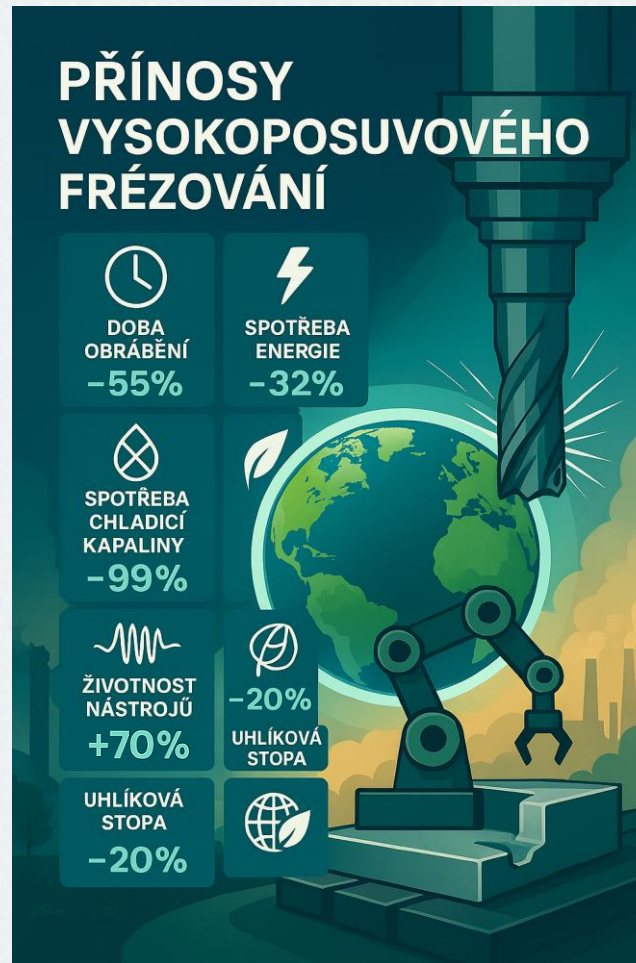
Prostor pro dotazy: "Děkuji za pozornost. Nyní je prostor pro vaše dotazy."

Vysokoposuvové frézování (HFM): Inovace pro produktivitu a udržitelnost v etapě Green Dealu

Závěr a diskuse



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: Gemini, 2025 [1].



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Převzato ze zdroje (3), upraveno.

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Legislativa:

- **Evropská zelená dohoda** klade na průmyslové sektory nároky na transformaci. Očekává se, že podniky zavedou takové **praktiky**, které povedou k **redukci emisí uhlíku, vyšší energetické úspornosti a přechodu na cirkulární model**. V tomto modelu jsou materiály a hotové **produkty opakovaně využívány, regenerovány a recyklovány**, čímž se **minimalizuje zátěž pro životní prostředí**.
- Součástí této rozsáhlé ekologické **strategie** je i **Nařízení o ekodesignu** (konkrétně se jedná o nařízení EU 2024/1781, které definuje rámec pro stanovení ekologických požadavků na udržitelné zboží). Toto nařízení **ukládá povinnost** výrobcům, aby **konstruovali své výrobky** tak, aby měly **nižší spotřebu energie a vyšší míru recyklovatelnosti**.

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Legislativa:

Nová Evropská **směrnice o ekodesignu** a požadavky na energetickou účinnost – sledované oblasti:

- a) **trvanlivost,**
- b) **spolehlivost,**
- c) opětovná využitelnost,
- d) **modernizovatelnost,**
- e) **opravitelnost,**
- f) **možnost údržby a renovace,**
- g) přítomnosti látek vzbuzujících obavy,
- h) **využívání energie a energetická účinnost,**
- i) využívání vody a účinnost využívání vody.
- j) využívání zdrojů a účinné využívání zdrojů,
- k) recyklovaný obsah,
- l) **možnost repasování,**
- m) recyklovatelnost,
- n) možnost využití materiálů,
- o) **dopady na životní prostředí, včetně uhlíkové a environmentální stopy,**
- p) předpokládané množství vyprodukovaného odpadu.

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Legislativa:

Růst významu **ESG** (*Environmental Social Governance*) hodnocení organizací.



Generováno: Gemini, 2025 [1].

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Legislativa:

- **Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2022/2464**, známá jako **CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive)**, která modifikuje dřívější legislativu (včetně nařízení (EU) č. 537/2014 a směrnic 2004/109/ES, 2006/43/ES a 2013/34/EU), **stanovuje povinnost** pro určenou skupinu podniků **zveřejňovat informace nefinanční povahy** související s jejich přístupem k udržitelnosti.
- Součástí tohoto **reportingového procesu** bude i **zobrazení výkonnosti** společností v kontextu jednotlivých **pilířů ESG**. Povinnost CSRD se bude **postupně vztahovat na většinu firem** – některé společnosti **musí dodat** své první zprávy **již za rok 2024**, přičemž **další se budou připojovat** v následujících letech, v závislosti na jejich velikosti a charakteru činnosti.
- **Lze očekávat, že velké korporace podniků v rámci svého dodavatelského řetězce malé a střední podniky k rychlému zavedení tohoto procesu a k poskytování nezbytných dat.**

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Legislativa:

Z hlediska průmyslového pohledu se váže ESG na zelenou transformaci zejména v tématech:

- Klimatická změna - **emise skleníkových plynů (uhlíková stopa), efektivní využívání energií, čisté energie (energetický mix).**
- Znečištění a odpady - **emise toxických plynů a dalších látek, odpadová politika, nakládání a likvidace obalových materiálů.**
- **Recyklace a principy cirkulární ekonomiky.**
- Kvalita vody a vodní zdroje.
- Biodiverzita a ráz krajiny.
- Příležitost pro životní prostředí - čisté technologie, zelené budovy, inovace a digitalizace.
- Politiky na ochranu životního prostředí.

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Otázky pro vedení firem ve vazbě digitální a zelenou transformaci:

- Rozumí těm tématům na dostatečně detailní úrovni moji lidé v **marketingu, obchodu, technickém úseku**?
- Neměli bychom ta témata **nechat posoudit s ohledem na naši nabídku** a rozhodnout **čemu věnovat kapacity a peníze**? Třeba v plánu technického rozvoje, nebo dlouhodobé strategii, atd....
- Umíme si představit **vliv digitální a zelené transformace na naši firmu a konkurenceschopnost**?
- Jak se to dá **promítnout do firmy, aby to dávalo smysl**?
- Jak **využít příležitost** a téma pro konkurenceschopnost a profit?

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Plán pro digitální a zelenou transformaci oboru Machine Tools:

1. Sladění s vizí duální transformace:

- První prioritou je zajistit, aby hráči v oboru Machine Tools byli v souladu s vizí digitální a zelené transformace a **rozuměli možnostem a hrozbám**. Tato vize zahrnuje zejména **technologie Průmyslu 4.0, udržitelné výrobní postupy** a principy oběhového hospodářství.

2. Řešení inovačních příležitostí pro posílení konkurenceschopnosti:

- Z důvodu konkurenceschopnosti českého průmyslu v oboru Machine Tools na globálním trhu, se **musí využít příležitostí, které nabízí digitalizace a zelené technologie**. Opatřeními v oblasti **digitalizace a snižování emisí CO₂** je třeba se **zavázat ke zvyšování produktivity a snižování nákladů**. Opatření musí mít rovněž **ekonomickou návratnost**.

3. Překonávání bariér digitální a zelené transformace:

- **Překonání překážek digitální a zelené transformace** vyžaduje komplexní přístup, který řeší finanční i provozní problémy. **Spojit se ve zvládnutí formalit a praktické implementace** **Spojit se v rozvoji nových dovedností a školení lidí**

4. Posílení připravenosti malých a středních podniků:

Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti

Plán pro digitální a zelenou transformaci oboru Machine Tools:

1. Sladění s vizí duální transformace:

- Propagujme přijetí **Průmyslu 4.0**.
- **Podpora zelené výroby**.
- Vytvořit rámec pro **oběhové hospodářství**.

2. Řešení inovačních příležitostí pro posílení konkurenceschopnosti:

- Vyvíjet specifická průmyslová řešení AI.
- Rozšíření **využití digitálních dvojčat**.
- Podpora **meziodvětvové spolupráce**.

3. Překonávání bariér digitální a zelené transformace:

- Přístup k financování pro malé a střední podniky.
- **Zjednodušení dodržování předpisů**
- **Rozvoj dovedností a školicích programů**

4. Posílení připravenosti malých a středních podniků:

- Podpora digitálních inovačních center (DIH).
- Dotace na přijímání zelených technologií.

Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy při obrábění

Převzato ze zdroje (4), upraveno.

Kontext a motivace

Evropský Green Deal (je tu a bude)

- Reakce (nejen) na rychlé oteplování a klimatické změny.
- Čistá energie, udržitelná doprava, **zelený průmysl**, eliminace emisí, energetická efektivita staveb,...

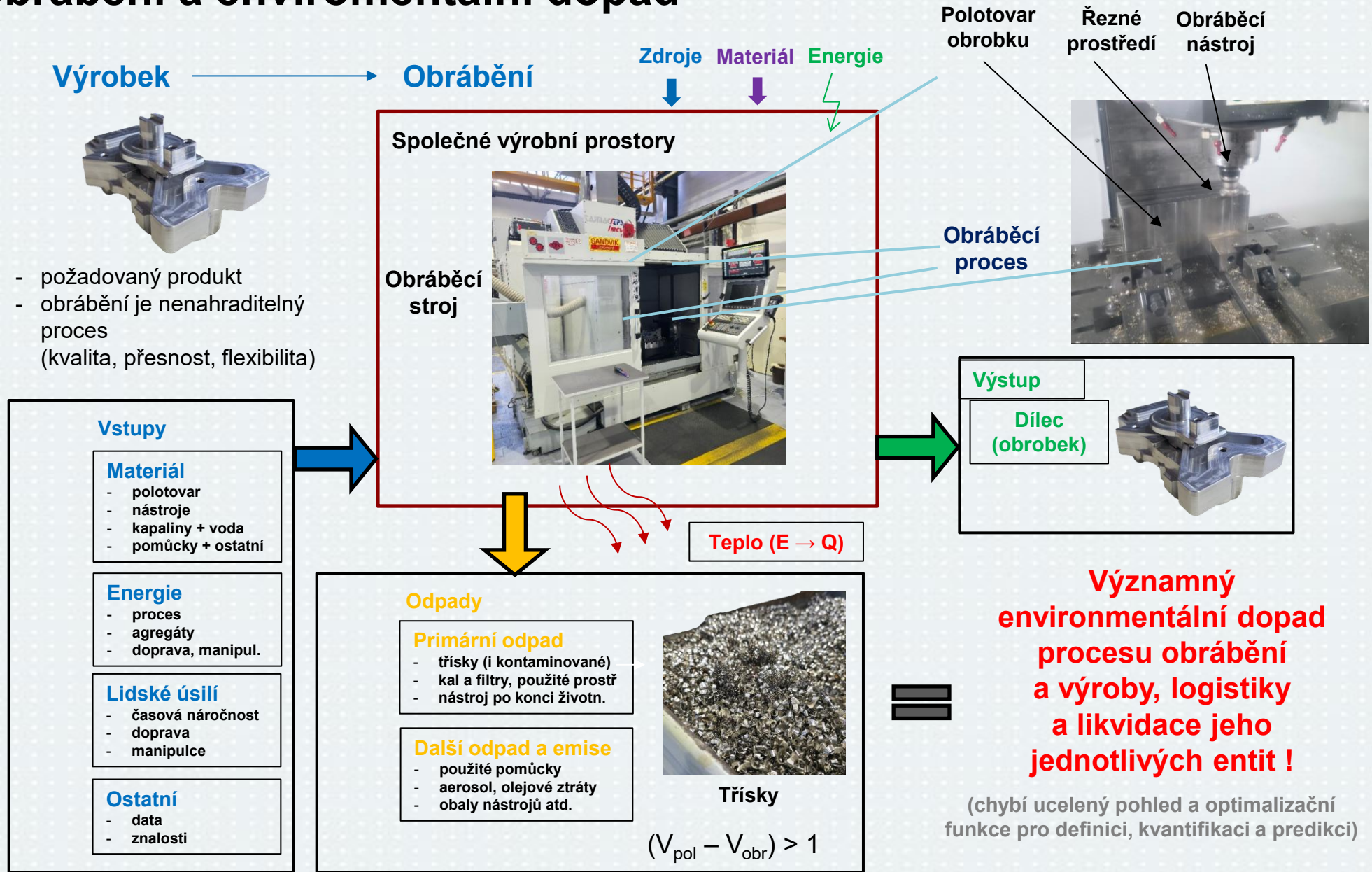
Plynoucí platné závazky

- Uhlíková neutralita Evropy do 2050.
- Snížení emisí skleníkových plynů o 55 % do 2030 (vůči roku 1990).

Transformující se prostředí... (legislativa, normy, nástroje)

- **CSRD** – *Corporate Sustainability Reporting Directive*
 - Nefinanční reportování firem o vztahu k životnímu prostředí, sociální oblasti a o řízení firmy, vychází z ESG
- **Ekodesing**
 - ISO 14045
- **EPD** – Environmentální prohlášení o produktu
 - ČSN EN 15804
- **ESG** – *Environmental, Social, Governance*
 - Směrnice EU: 2022/2464CSRD
- **LCA** – *Life cycle assessment*, neboli posuzování životního cyklu produktu / služby
 - ISO 14040, 14044
- **OEF** – *Organisation environmental footprint*
 - Obojí dle Evropské komise (*PEFCR guidance, OEFCR guidance*)
- **PEF** – *Product environmental footprint*
- **Uhlíková stopa**
 - Produktu dle ČSN ISO 14067
 - Organizace dle ČSN ISO 14064
- **Vodní stopa**
 - Výrobku, procesu, organizace dle ČSN 14046
-

Proces obrábění a enviromentální dopad



Spotřeba energie obráběcích strojů

- **Moderní stroje**

- Vyšší stupeň automatizace, multifunkčnost, více obslužných systémů a agregátů.
- **Spotřebu energie výrazně ovlivňuje:** celkový příkon, spotřeba vzduchu, tlakování a chlazení kapalin.
- **Samotné obrábění:** i méně než 20 % (typ technologie, operace, snižování sil v procesu).
- **Zjednodušená optimalizační úloha:**

Snižovat spotřebu výrobní jednotky a zkracovat výrobní cyklus.

- **Na straně procesu (čas výroby):**

- **Zkracování nevýrobních pracovních časů:**

- ✓ (pře-) upínání dílců (přípravky, zero-pointy), paletizace,
- ✓ systém správy nástrojů, sdružené nástroje,
- ✓ výrobní dávka, tok materiálu,
- ✓ inspekce a měření.

- **Zkracování výrobních časů:**

- ✓ tuhost a přesnost upnutí, moderní strategie, nástroje, intenzivnější podmínky.

- **Změna rezného prostředí:**

- ✓ záplavové chlazení vs. minimální mazání.

Prostředky a způsoby zefektivnění výroby

- **Na straně procesu (čas výroby):**
 - **Technologie a proces:**
 - ✓ automatizace, plynulost výroby,
 - ✓ kombinace technologií (vč. nekonvenčních),
 - ✓ náhrada a sdružování operací,
 - ✓ strategie a řezné podmínky (optimalizace),
 - ✓ snižování zmetkovitosti.
 - **Obráběcí nástroj:**
 - ✓ řezné materiály, povlaky, geometrie břitu,
 - ✓ tuhost, přesnost,
 - ✓ správná volba a vhodné použití,
 - ✓ volba a lepší využití nástroje
 - **Stroj: Existuje nekonečně mnoho různých variant zefektivnění procesu obrábění!**

Efektivní CNC výroba – požadavky a parametry

- Vlastní přístup.

		Předmět analýzy	Funkční jednotka	Stupně volnosti	Primární přínos	Sekundární důsledky (obvyklé)
Uživatelé strojů	A	Efektivita výrobní operace	Daná výrobní operace na daném dílci a stroji	Volba nástrojů, drah, řezných podmínek	Náklady výrobní operace [Kč/operaci]	- Zkrácení času operace - Snižování potřebné energie/operaci - Optimalizace využití řezných nástrojů
	B	Efektivita výroby dílce	Výroba daného dílce na jednom nebo více strojích	Volba strategie, strojů, nástrojů, drah, podmínek	Náklady na výrobu dílce [Kč/dílec]	- Zkrácení času výroby dílce - Snižování potřebné energie/dílec - Optimalizace využití strojů a nástrojů
Výrobci strojů	C	Energetická efektivita stroje	Hodina provozu daného výrobního stroje v referenčním režimu	HW a SW daného stroje	Příkon stroje v referenčním režimu [kW]	- Snižování potřebné energie/dílec - Snižování nákladů/dílec
	D	Technologické možnosti stroje	Přidaná hodnota produkovaná strojem za jednotku času / energie / nákladů	HW a SW daného stroje (s ohledem na cílové technologie s vysokou přidanou hodnotou)	Přidaná hodnota [Kč/h] nebo [Kč/kWh] případně [Kč(hodnota)/Kč(nákladů)]	- Zkrácení času výroby dílce - Snižování potřebné energie/dílec - Optimalizace využití strojů a nástrojů
Návrh dílců	E	Alternativní návrh dílce	Daná cílová funkce (účel) dílce	Volba materiálu a geometrie dílce s ohledem na účel a technologičnost výroby	Náklady na výrobu dílce [Kč/dílec]	- Úspora materiálu/dílec - Zkrácení času výroby dílce - Snižování potřebné energie/dílec - Optimalizace využití strojů a nástrojů

Myšlenková mapa efektivní výroby. [4]

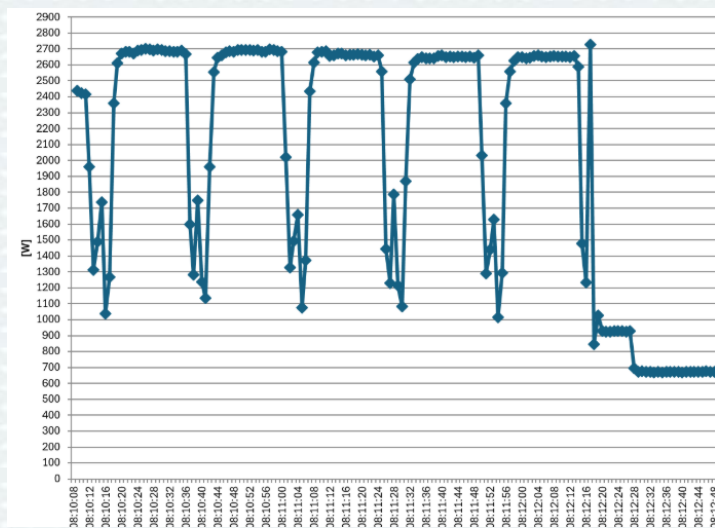
Spotřeba energie vs. uhlíková stopa

- Spotřebovaná energie → množství vytvořeného CO₂

- Krok 1: Stanovení spotřeby energie při výrobě.

- ✓ Měření, výpočet, predikce.

- Krok 2: Výpočet množství produkovaných emisí.

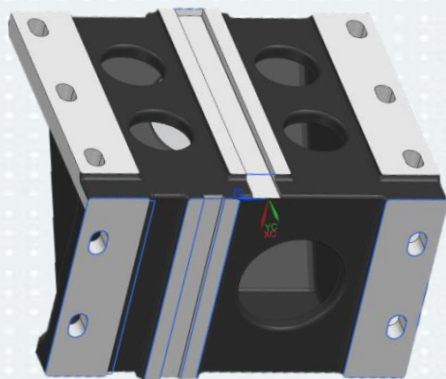


$$\text{průměrný příkon [kW]} \cdot \text{čas [h]} = \text{spotřeba el. energie [kWh]}$$

$$\text{spotřeba el. energie [kWh]} \cdot \text{uhlíková intenzita} \left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{kWh}} \right] =$$
$$= \text{množství emisí [kg CO}_2\text{]}$$

Případová studie – A, B / konzola EN-GJL-250

Předmět analýzy		Parametry stroje
A	Efektivita výrobní operace	Typ stroje: Horizontální CNC centrum Pojezdy v osách X, Y, Z: 1050 x 800 x 880 mm Upínací plocha stolu: 630x630 mm Vřeteno: 25 kW, 10 000 ot/min; Nominální připojovací příkon: 45 kVA; Řídicí systém: Fanuc 18iM
B	Efektivita výroby dílce	
€	Energetická efektivita stroje	
Đ	Technologické možnosti stroje	
E	Alternativní návrh dílce	



75 ks / dávka



Výchozí stav případové studie doc. Zemana. [4]

Případová studie – B / konzola EN-GJL-250

Identifikované kritické výrobní operace

Operace 11 (Vrtání otvorů)

Použitý nástroj: Monolitní_Vrtak D17 - slinutý karbid

Spotřeba energie: 0,53 kWh

Operace 13+14 (Hrubování vybrání)

Použitý nástroj: Monolitní_D25_2zuby - slinutý karbid

Spotřeba energie: 8,96 kWh

Operace 23+24+25 (Hrubování dosedací plochy)

Použitý nástroj: FR. HLAVA_D100_9zubů - slinutý karbid

Spotřeba energie: 1,25 kWh



Identifikace kritických operací. [4]

Vyhodnocení a návrh opatření

Po analýze technologie, nástrojového hospodářství a průběhu obrábění byl navržen přístup zahrnující tato opatření:

- **Náhrada stávajících řezných nástrojů** nástroji efektivnějšími lépe využívajícími výkon vřetena a stroje.
- **Náhrada stávajících „weldon“ držáků** nástrojů za hydraulické s vyšší modularitou.
- **Sdružení operací** volbou progresivních strategií obrábění.
- **Upravení upínací přípravek** pro větší tuhost upnutí dílce.
- **Celkové jednorázové náklady do 150 tis. Kč.**

Vyhodnocení případové studie. [4]



Implementace nových nástrojů. [4]

Případová studie – B / konzola EN-GJL-250

Výrobní operace		nástroj Před / Po	výrobní čas operace [h:mm:ss] Před / Po		střední příkon stroje [kW]	spotřeba energie [kWh/operace] Před / Po		úspora energie [kWh/dávka]	snížení emisí GHG [kgCO ₂ /dávka]
I	Operace 11 (Vrtání otvorů)	Monolitní Vrtak D17 - slinutý karbid (0,44 kg)	0:01:50	0:01:40	17,2	0,53	0,48	3,8	2,0
II	Operace 13+14 (Hrubování vybrání)	Monolitní_D25_2zuby-slinutý karbid (0,9 kg) / Monolitní_D16_R1_HRUB_7zubů - slinutý karbid (0,35 kg)	0:28:08	0:02:39	17,9	8,96	0,79	612	318
III	Operace 23+24+25 (Hrubování dosedací plochy)	FR. HLAVA_D100_9zubů - slinutý karbid (destičky 0,15 kg)	0:05:35	0:04:36	12,9	1,25	0,99	19,3	10,1
IV	Další operace na dílci	různé	2:24:00	1:42:00	16,2	36,24	27,54	653	339
Celkem			2:59:33	1:50:55		46,97	29,80	1288	670
Úspora celkem				38,2 %			36,6 %	36,6 %	

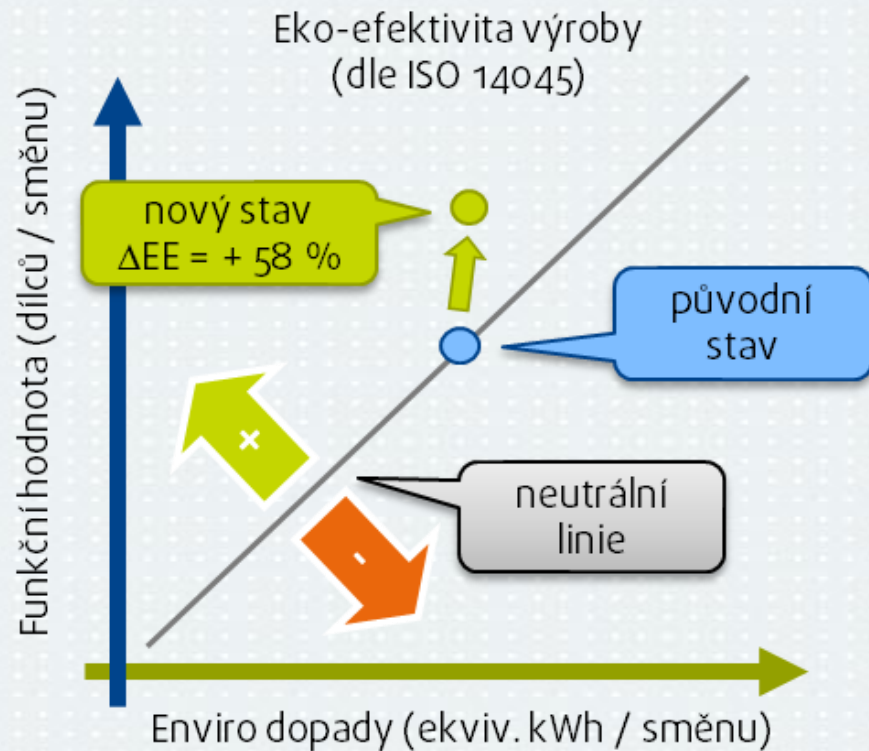
Přehled a výsledky případové studie doc. Zemana. [4]

Úspora na dílec:

17,2 kWh

8 kg CO₂

Případová studie – B / konzola EN-GJL-250



Zhodnocení:

- Bylo dosaženo **úspory energie 37 %** a zlepšení **indikátoru eko-efektivity výroby dílce o 58 %**.
- **Eko-efektivita (3.6) a její indikátor (3.9):**
 - **Původní stav:**
 $iEE = (2,7 \text{ dílec / směnu}) / (126 \text{ kWh/směnu}) = 0,0213 \text{ [dílec/kWh]}$
 - **Nový stav:**
 $iEE = (4,3 \text{ dílec / směnu}) / (129 \text{ kWh/směnu}) = 0,0336 \text{ [dílec/kWh]}$
 - **DEE = 57,7 %** (mírně se zvyšuje příkon stroje a tím jeho enviro dopady, funkční hodnota roste výrazně rychleji)

Vyhodnocení případové studie. [4]

AI pro využití dat snímaných z výroby

Shrnutí:

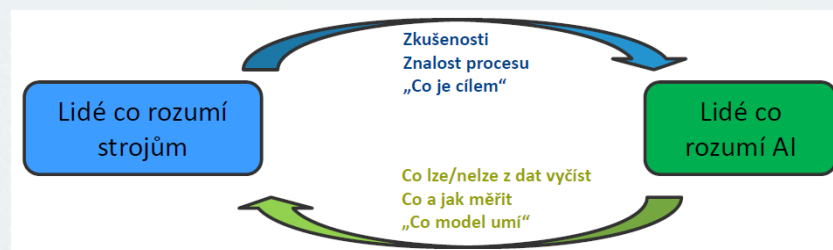
Přínosy využití AI

- Modelování složitých nelineárních dynamických jevů.
- Model jako pomocník porozumění procesu.

Úskalí nasazení modelů

- Zajistit dostupnost dat.
- Nutnost zachytit v datech klíčové situace (stavy).
 - *Nežádoucí stavy – poruchy, opotřebení.*
 - *Postihnout celou škálu jevů – celé spektrum teplotních deformací.*
- Nároky na senzorické vybavení.

Nutná komunikace mezi „lidmi co rozumí strojům“ a „lidmi co rozumí AI“.



Generováno: ChatGPT, 2025 [2].



**Děkujeme Vám za
pozornost**

Zdroje

- 1) Google. *Gemini*. Online generativní AI. Verze Gemini 2.5 Pro. September 25, 2025. Dostupné z <https://www.gemini.google.com/>. [cit. 2025-09-25].
- 2) OpenAI. *ChatGPT*. Online, generativní AI. Verze GPT-4o mini. September 25, 2025. Dostupné z: <https://chatgpt.com/>. [cit. 2025-09-25].
- 3) SMOLÍK, Jan. Představení akčního plánu pro digitální a zelenou transformaci v oboru Machine Tools - Digitální a zelená transformace jako strategické téma konkurenceschopnosti. Digitální a zelená transformace ve výrobní technice: hrozby a příležitosti. Praha / RCMT ČVUT. 06.02.2025. Použito se svolením autora.
- 4) ZEMAN, Pavel. *Snižování spotřeby energie a uhlíkové stopy při obrábění*. Digitální a zelená transformace ve výrobní technice: hrozby a příležitosti. Praha / RCMT ČVUT. 06.02.2025. Použito se svolením autora.