FAKULTA STROJNÍ ČVUT V PRAZE

RCMT váš partner pro výzkum a vývoj

Monitoring a kompenzace strojů

Matěj Sulitka, Jiří Švéda

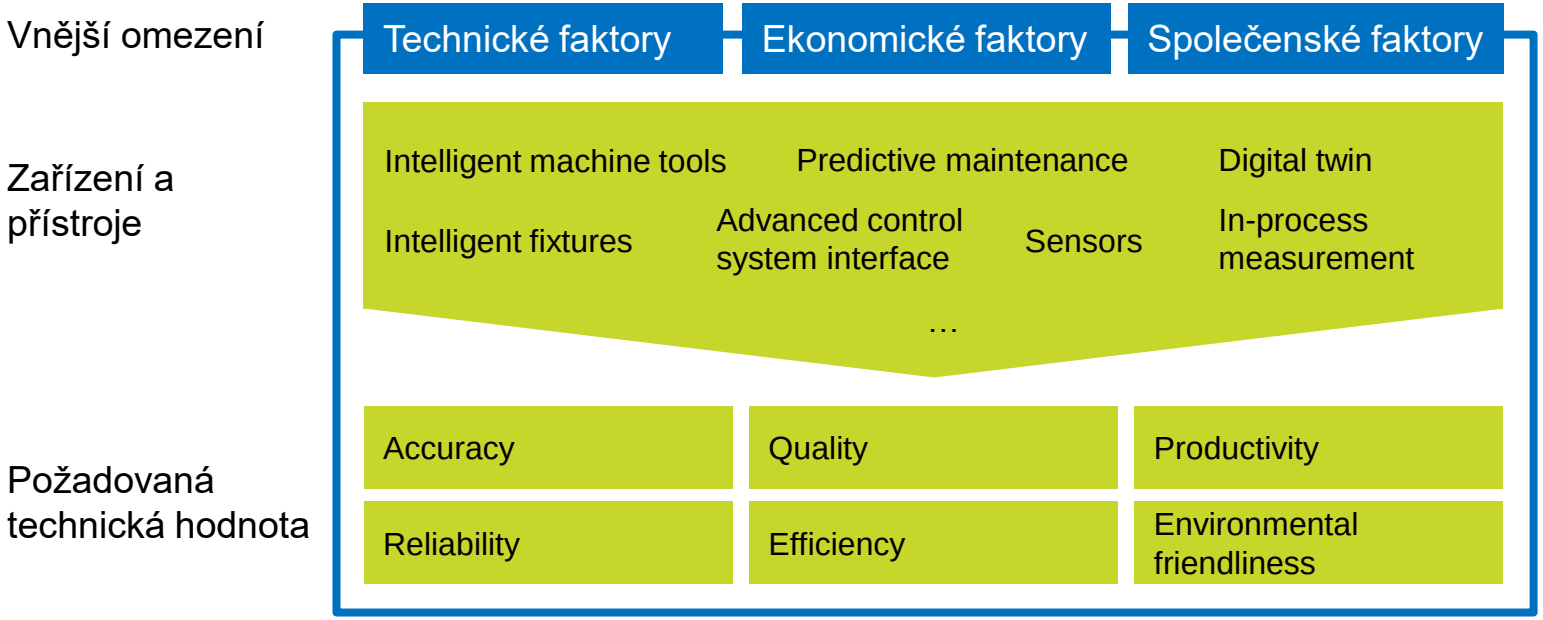
11.6.2020, Setkání obchodních ředitelů SST
Brno, Renishaw

www.rcmt.cvut.cz
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE | FAKULTA STROJNÍ
Ústav výrobních strojů a zařízení | RCMT
Horská 3 | 128 00 Praha 2 | Česká republika | tel.: +420 221 990 914 | email: info@rcmt.cvut.cz

RCMT

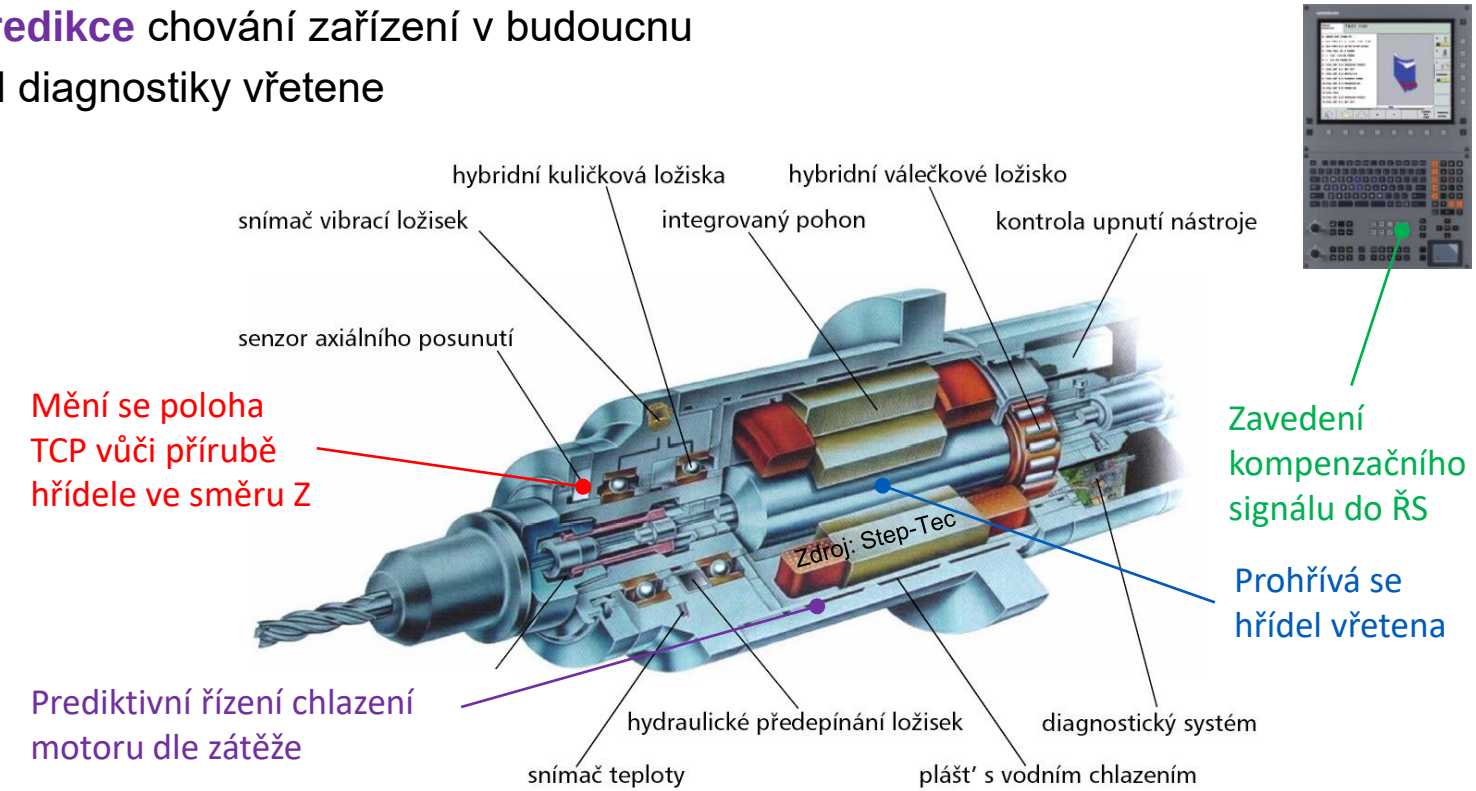
Inteligentní obráběcí stroj

- **Mechanická struktura je často vyladěna, nyní je čas k plnému využití jejího potenciálu**
- Existují různá technická řešení pro zlepšení technické hodnoty obráběcích strojů
- Specifická platforma je užitečná pro snadnou a nákladově efektivní integraci:
  - Dalších hardwarových zařízení
  - Specializovaného software
  - Podporu operátora



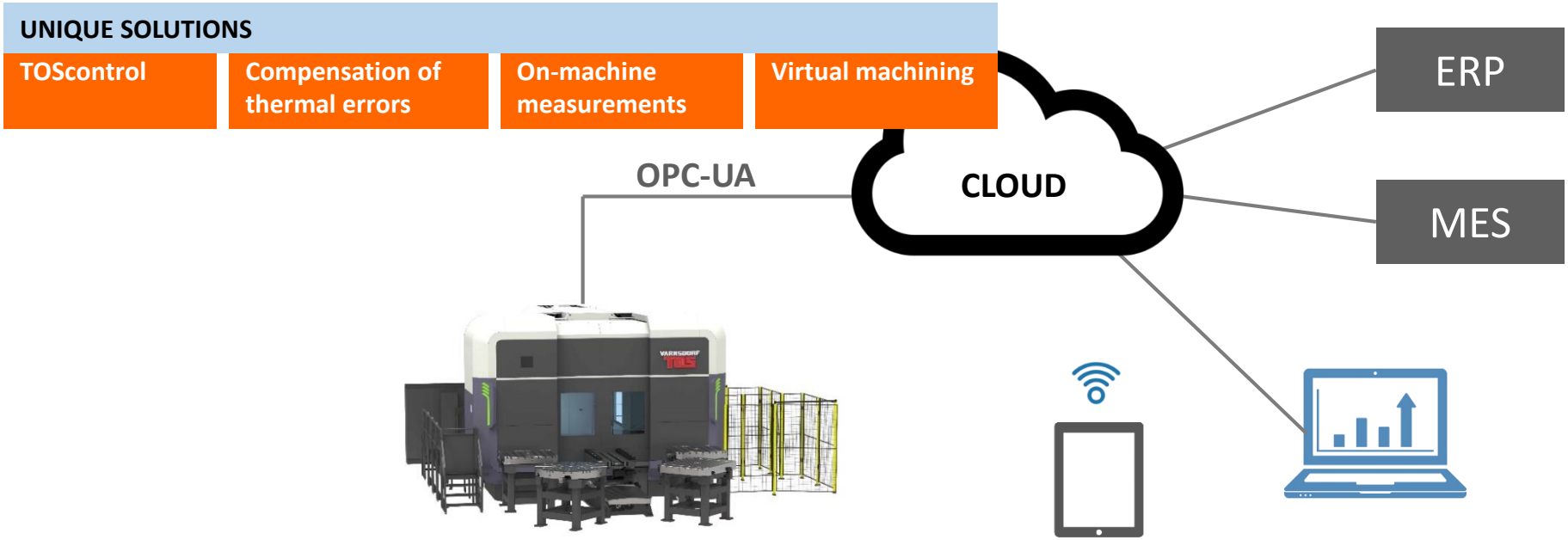
Inteligentní obráběcí stroj

- STROJ i jeho obsluha musí vědět:
  - **Co se děje** ve stroji a procesu
  - **Identifikovat příčiny** v kontextu realizované výroby
  - **Zasáhnout** pro minimalizaci negativních dopadů
  - **Predikce** chování zařízení v budoucnu
- Příklad diagnostiky vřetene



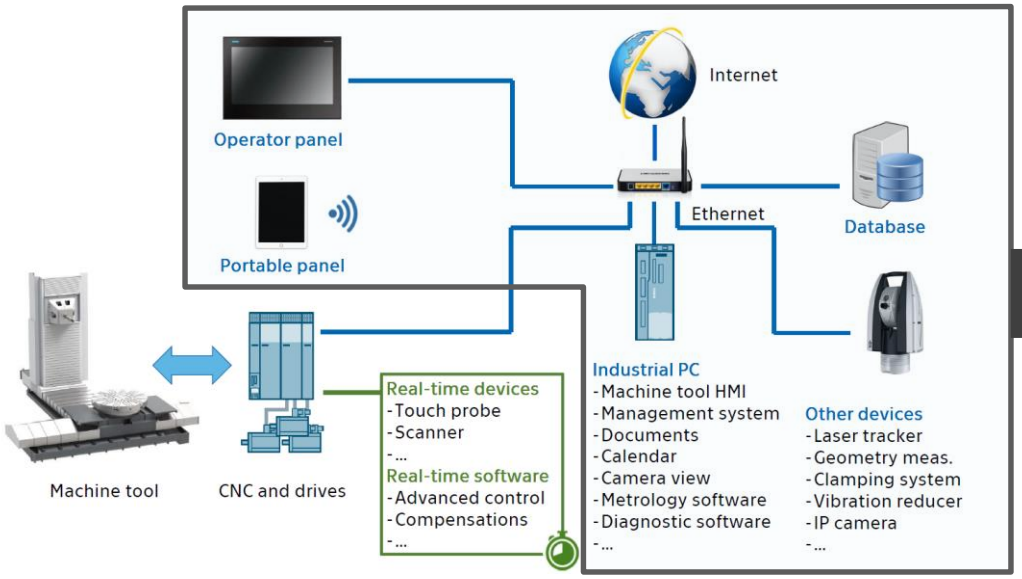
Integrace strojů do informačního systému

- **Integrace strojů** do podnikového informačního systému - online výměna dat
- Plánování s ohledem na **skutečný stav stroje** - **on-line monitoring a predikce**
- **Zlepšení funkčnosti** - obrábění, kontrola, kompenzace
- **Digitální dvojče** pro **technologickou kontrolu, kontrolu výsledků obrábění** a zdokonalené **sledování procesu obrábění**
- **Unifikované rozhraní a konektivita**
- Uživatelsky přívětivá **komunikace** s operátorem, vedoucím a plánovačem



TOS Control

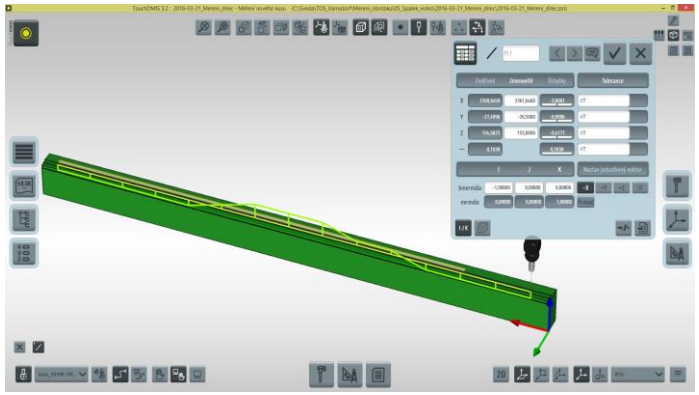
- **Jednotné rozhraní stroje** - pro operátory i pro externí systémy
- **Specializované aplikace** pro rozšířenou funkčnost s jednotným designem
- Zobrazuje se **přímo na ovládacím panelu**
- Brána pro **komunikaci s dalšími systémy**
- **Integrace** dalších komponent
  - Panely - hlavní a přenosné
  - Další systémy - např. laser tracker, tlumiče …

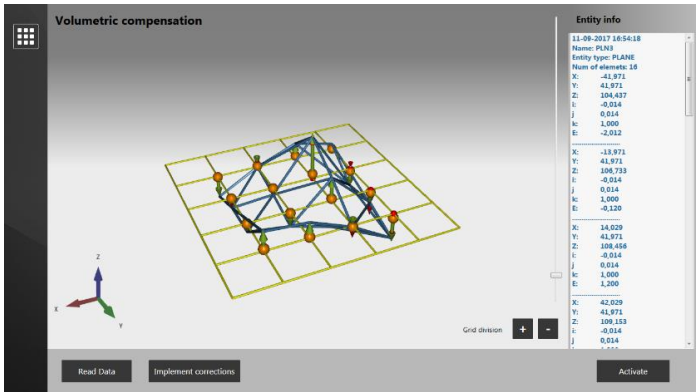


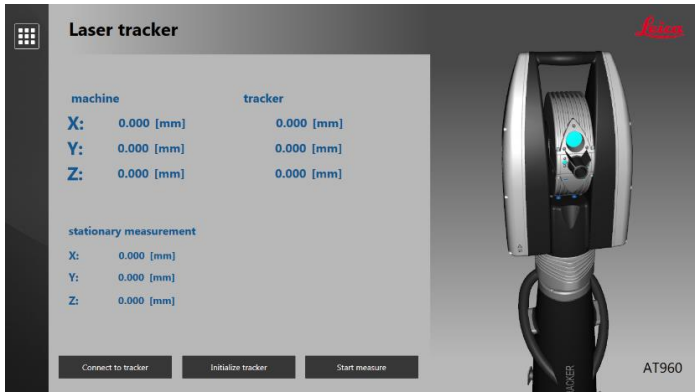
TOS CONTROL

Inprocesní měření

- Integrace **CMM s dotykovou sondou do obráběcího stroje**
  - Integrace **metrologického softwaru** do řízení strojů
  - Provádění **dodatečného měření** kompenzace chyb stroje při kontrole obrobku
- Automatická kompenzace pro následné obrábění na základě naměřených dat







Inprocesní měření

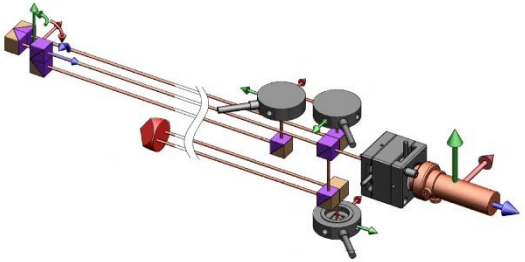
- **Hlavní výhody**
  - Není nutné pohybovat s obrobkem a opakovaně jej upínat na CMM a do obráběcího stroje
  - Obráběcí stroj je řízen přímo z **metrologického softwaru – pohodlně**
  - Naměřená data mohou být automaticky aktivována jako **korekce v CNC - žádná změna NC programu** pro následné obrábění
  - Obráběcí stroj zná skutečný tvar obrobku

- **Další měření**
  - Korekce dotykových souřadnic
  - Integrované optické měření TCP
  - Nebo externí měření - laser tracker

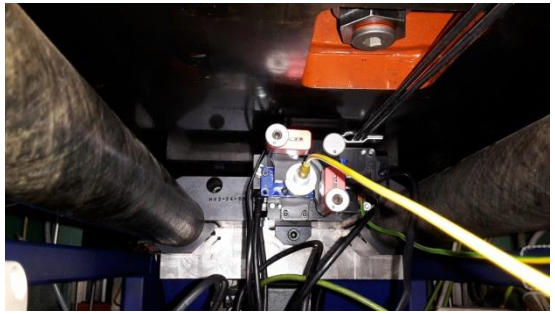
Přídavná odměřování ve stroji

- Přímé měření deformace výsuvného smykadla
- Měření polohy vřeteníku v prostoru nezávislým odměřováním

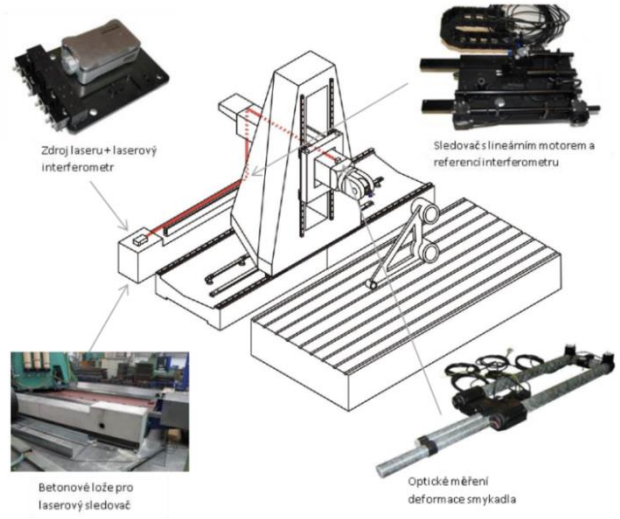
VARNSDORF TOS



Koncepční uspořádání optických tras



Implementace do stroje



Přehled přídavných odměřování

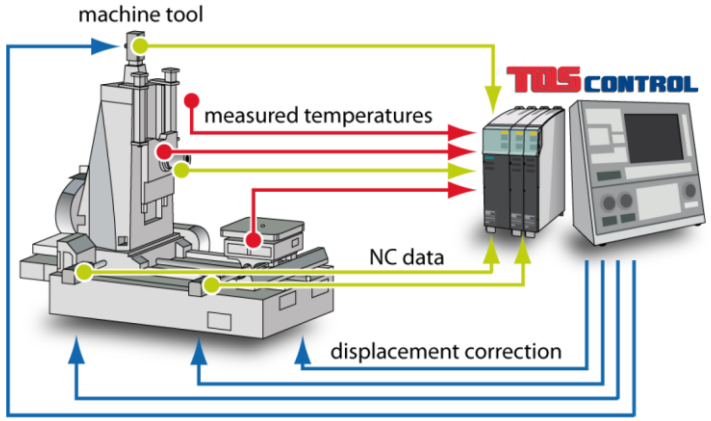
- Měření teplotní deformace výsuvného rotujícího vřetene – patentováno
  - Přímé měření
  - Nepřímé měření

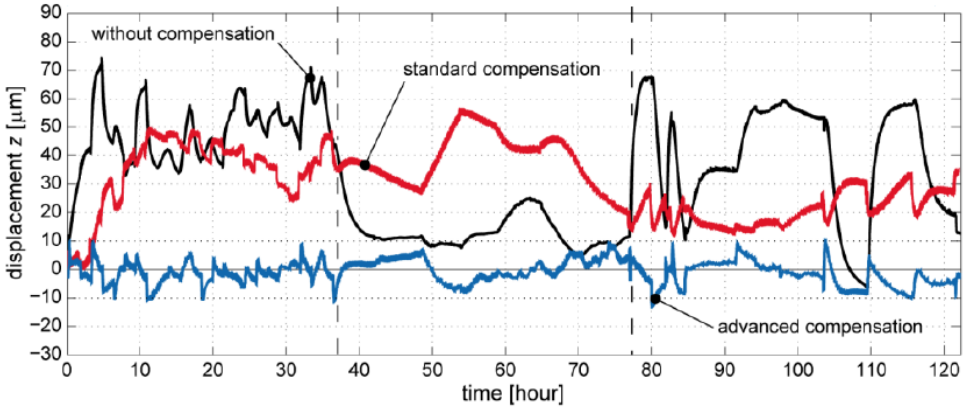
ŠKODA
ŠKODA MACHINE TOOL

Funkční vzorek vřetene s integrovanými odměřováními

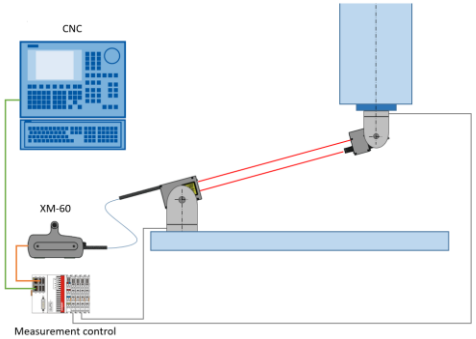
Teplotní kompenzace

- **Virtuální model** teplotního chování obráběcího stroje (založený na teplotních přenosových funkcích)
- Běží současně se skutečným strojem a **identifikuje teplotní chyby**
- **Respektuje historii teplotního zatížení**
- Vstupy modelu
  - Teploty
  - Zatížení vřetena a pohonů pohybových os
  - Další NC data
- **Hlavní výhodou je vysoká spolehlivost a přesnost**
- **Vrcholná úroveň** kompenzace teplotních chyb





Kalibrace strojů



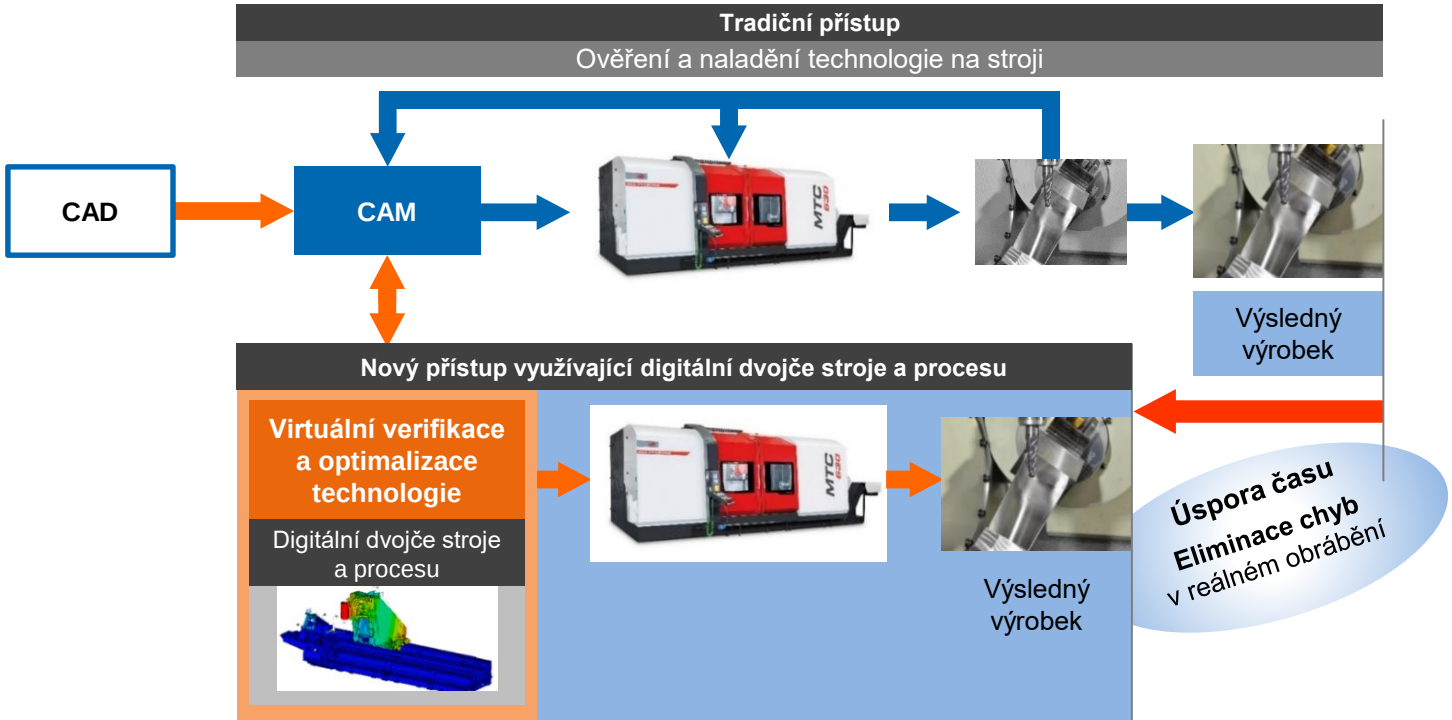
- Přímé měření polohy stroje nebo identifikace deformace klíčových uzlů
- Obecně časově náročné

- Využití 6DOF interferometru (Renishaw XM-60)
- Měření několika prostorových úhlopříček stroje → výpočet volumetrické přesnosti
- Automatické nastavení zdroje a přijímače - trekování
- Aplikace komunikující s interferometrem Renishaw, řídicím systémem Siemens Sinumerik 840D sl a ovládající polohování vysílače a přijímače interferometru
- Výhodou je rychlost ustavení interferometru – automaticky

- Měření pomocí laser trackeru umístěného ve vřeteni stroje
- Zvýšení přesnosti redundantním měřením statických odražečů

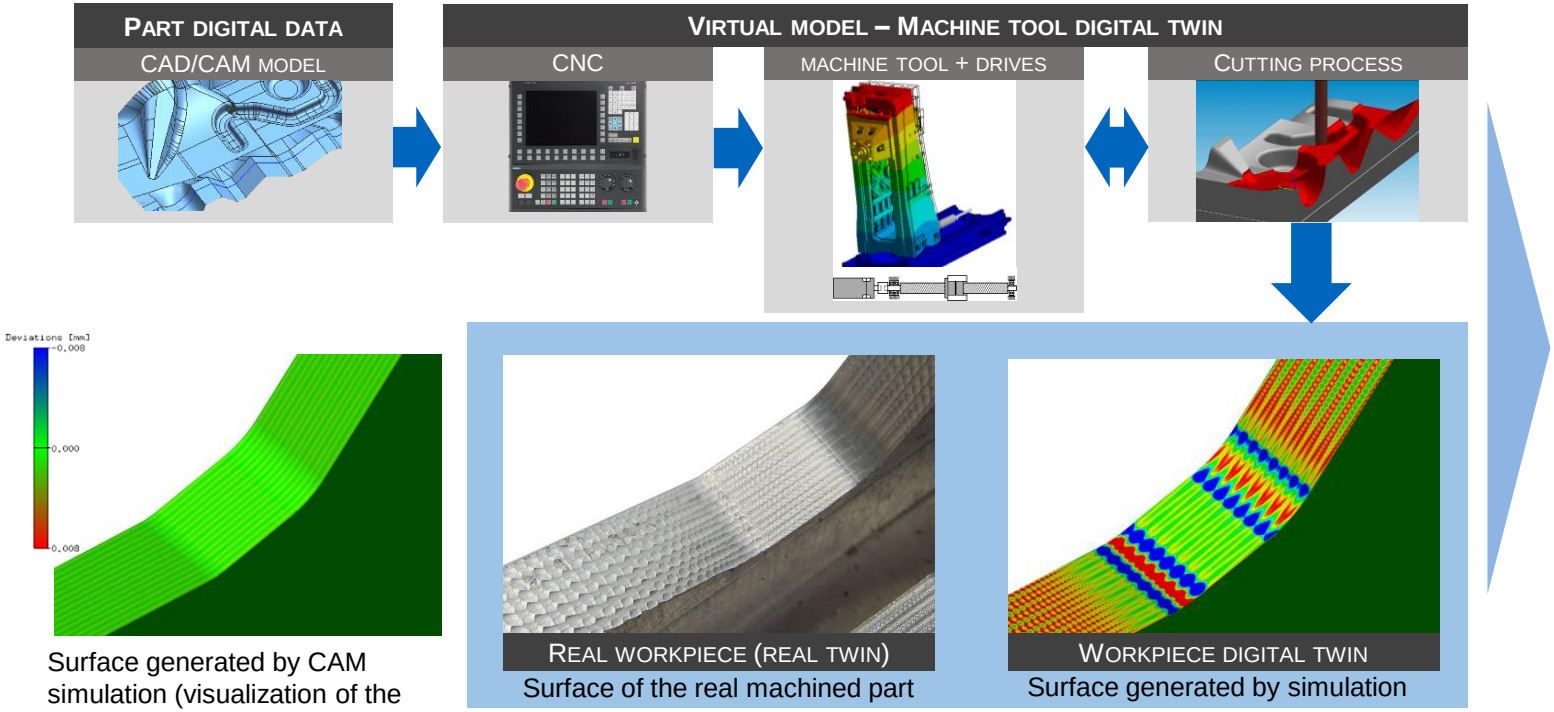
Digitální dvojče obráběcího stroje

- Běžné přístupy přípravy obrábění pomocí **standardních systémů CAM** nevyužívají plný potenciál stroje a technologie
- Odladění technologií obrábění se provádí pouze zkušebními testy
- **Digitální dvojčata strojů a procesů** poskytují efektivní nástroje pro **vyšší spolehlivost** a **optimalizaci reálných obráběcích procesů**
  - Snižování času a nákladů



Digitální dvojče obráběcího stroje

- **Ověření** interakcí a zdrojů chyb v řetězci **CAD > CAM > CL data > NC kód > CNC řídící systém > stroj a jeho pohony > nástroj > obrobek**



Surface generated by CAM simulation (visualization of the geometric tool positions)

Virtuální obrábění, sdílení dat s jinými systémy

Uložení procesních dat

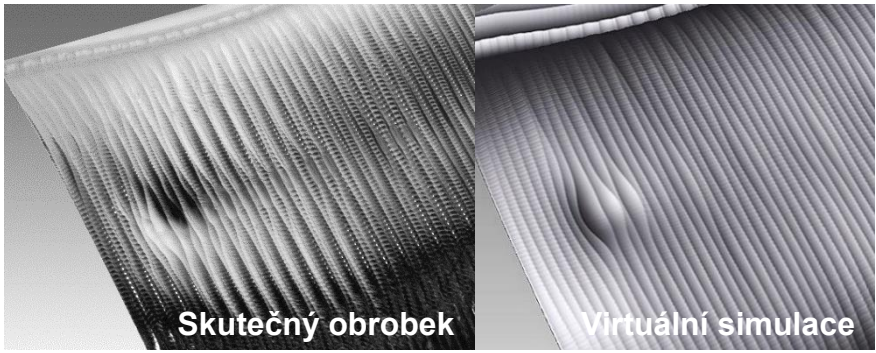
Paralelní monitoring stroje v provozu

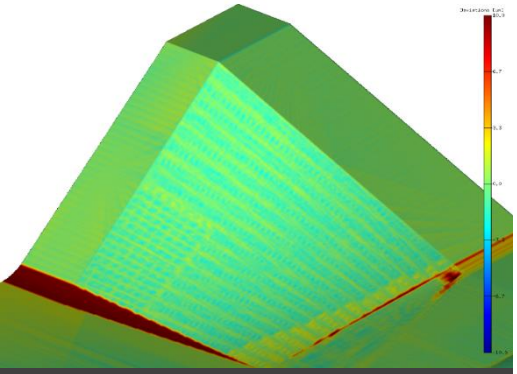
Návrh procesu a virtuální testování

Virtuální testování konstrukce OS

Digitální dvojče obráběcího stroje

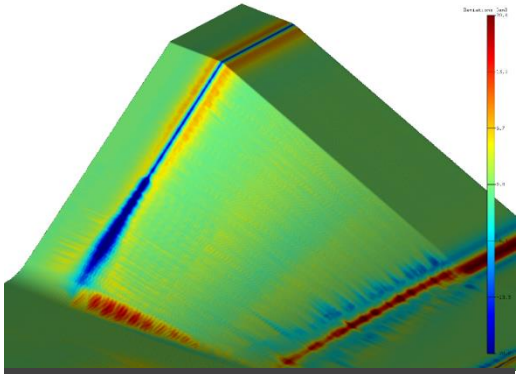
- **Aplikace**
  - Přesné časové studie
  - Kontrola kvality NC dat
  - Predikce přesnosti a kvality obrábění
  - Identifikace chyb obrábění





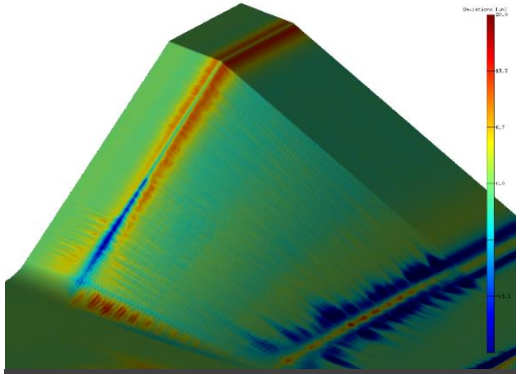
Chyba CAM

(odchylky CL vs. CAD)



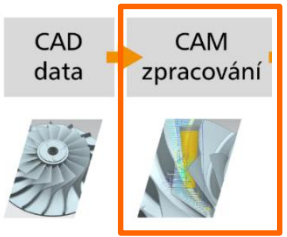
Chyba CNC interpolace

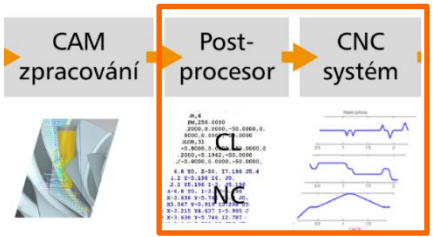
(odchylky žádaných dat vs. CL)

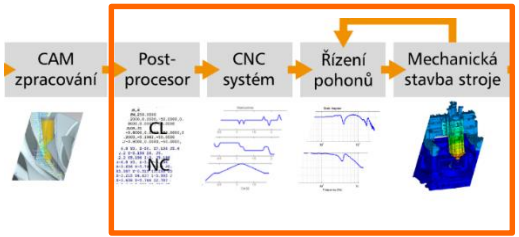


Chyba dynamiky řízení a stroje

(odchylky skutečných dat vs. CL)

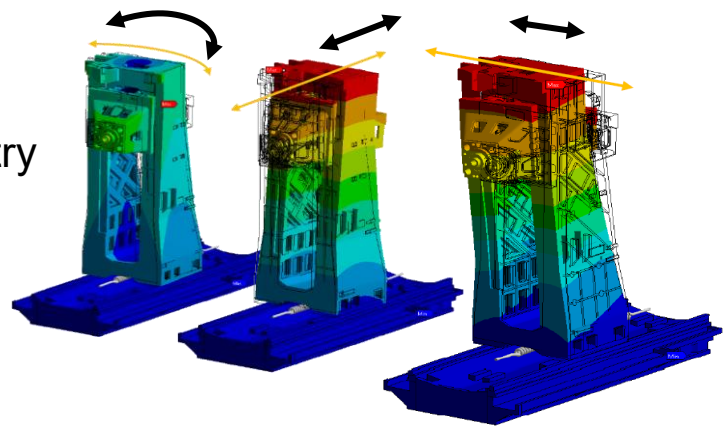






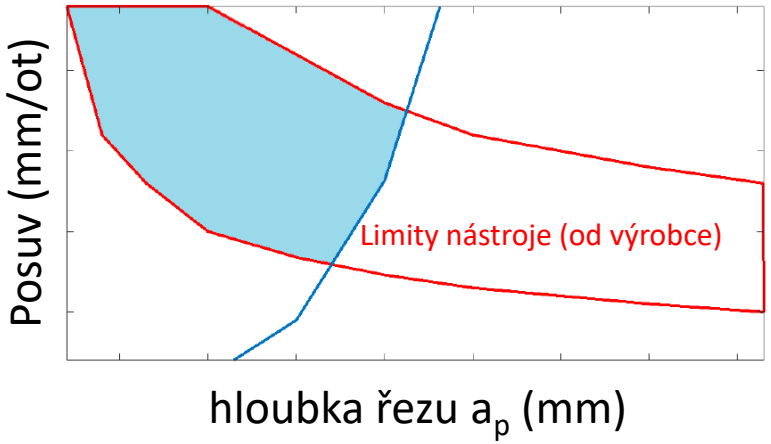
Digitální dvojče obráběcího stroje

- **Odhad a optimalizace využitelného výkonu stroje:**
  - Kombinace omezení na technologické parametry ze strany stroje a nástroje
    - Limity od výrobce nástroje
    - Limity pohonů vzhledem k řezným silám
    - Limity dané stabilitou obrábění
  - Vlastnosti jsou závislé na konfiguraci stroje



Oblast doporučených řezných podmínek (katalog)

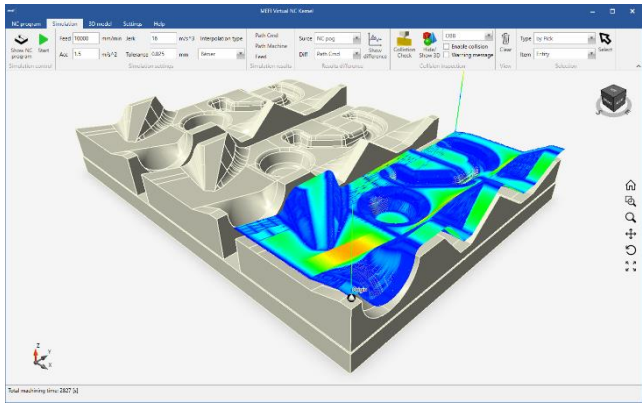
Limit stability (dynamika stroje/obrobku)

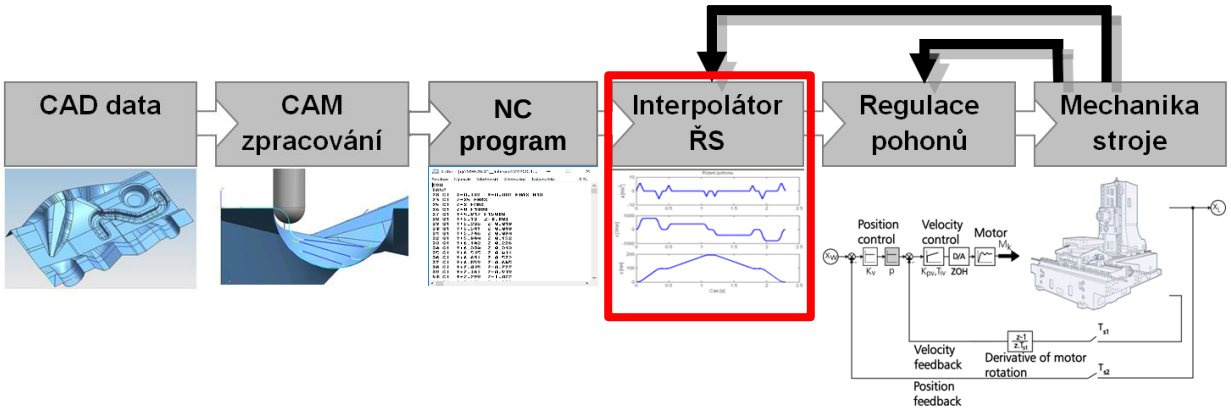


Řídicí systém

- Integrace uvedených systémů do standardních řídicích systémů
  - Siemens Sinumerik 840D sl
  - Heidenhain TNC640

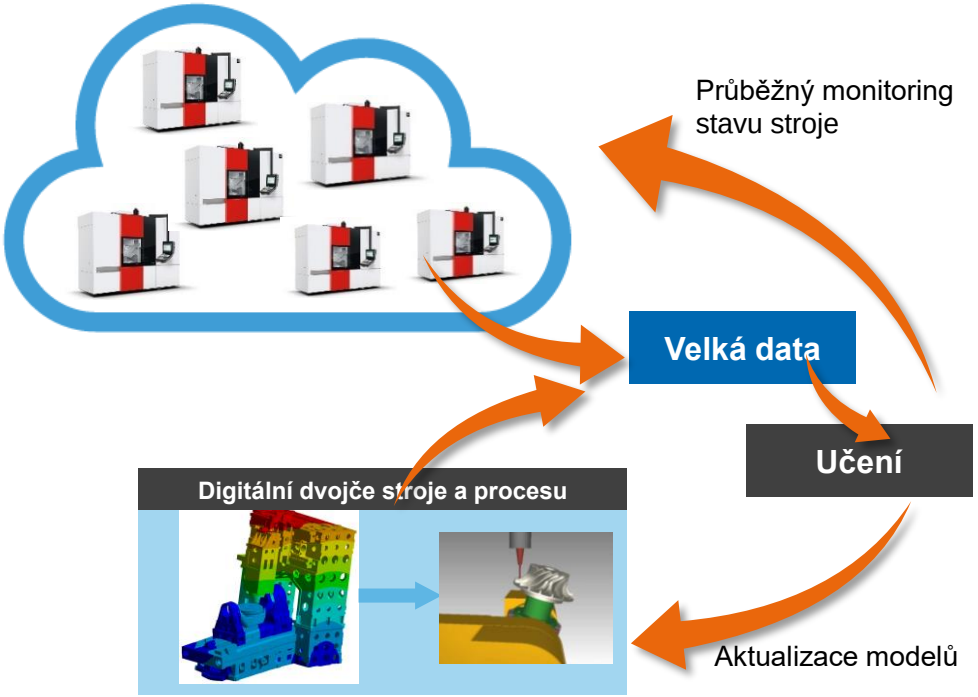
- Vývoj a inovace českého CNC MEFI
  - Vývoj nového interpolátoru řídicího systému
    - Proložení NC kódu (Bézier, spline)
    - Nové řízení rychlosti (rychlost, zrychlení, jerk)
  - Tvorba virtuálního jádra řídicího systému
  - OPC-UA komunikace
  - Nízká pořizovací cena





Shrnutí

- **Propojení strojů do vyšších celků** a komunikace se stává standardem
- Stroje jsou vybavovány **rozšiřujícími funkcemi (SW i HW)**
- Virtuální modely jsou účinným nástrojem pro **monitorování, kompenzace chyb a optimalizace reálných procesů obrábění**
- Využití virtuálních modelů pro testování a optimalizace obrábění vede k **úsporám času nákladů** při kontrolách a ladění technologií obrábění a **vyšší jistotě** skutečného obrábění
- Zvyšování výkonnosti výpočetní techniky umožní rozšíření virtuálních digitálních modelů strojů a obrábění a jejich využití pro **sběr a vyhodnocování dat z reálných procesů, propojení dat a efektivnější řízení strojů a výrobních procesů**



Děkuji za pozornost

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
Vedoucí pracoviště
T: + 420 605 205 927
E: m.sulitka@rcmt.cvut.cz