



ČESKÝ INSTITUT
INFORMATIKY
ROBOTIKY
A KYBERNETIKY
ČVUT V PRAZE



FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE

Průmysl 4.0 – vybrané ukázky aplikací v obráběcích strojích v ČR

Petr Kolář, Jiří Švéda, Matěj Sulitka, Jan Smolík a kol.

Strojírenské fórum & Konference ARAP
Praha, 15.11.2017

www.ciirc.cvut.cz

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE | CZECH INSTITUTE OF INFORMATICS, ROBOTICS AND CYBERNETICS

Department of Industrial Production and Automation | IPA

Jugoslávských partyzánů 1580/3 | 160 00 Prague 6, Dejvice | Czech Republic



NCP4.0



RCMT



ČVUT v Praze: tradice a kompetence v inženýrství

- CIIRC představuje společnou laboratoř v rámci ČVUT, kde je možno vytvářet společné týmy řešení multidisciplinárních úloh na špičkové vědecké úrovni s přímou vazbou na průmyslové realizace.



FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE

**Ústav mechaniky, biomechaniky
a mechatroniky**

Vedoucí: Prof. Milan Růžička

Ústav přístrojové a řídicí techniky

Vedoucí: Doc. Jan Chyský

Ústav strojírenské technologie

Vedoucí: Doc. Ladislav Kolařík

**Ústav technologie obrábění,
projektování a metrologie**

Vedoucí: Dr. Libor Beránek

**Ústav výrobních strojů a zařízení
RCMT**

Vedoucí: Dr. Petr Kolář

Další ústavy fakulty...



děkan FS:
Prof. Valášek



ředitel CIIRC:
Prof. Mařík



ČESKÝ INSTITUT
INFORMATIKY
ROBOTIKY
A KYBERNETIKY
ČVUT V PRAZE

společná
výzkumná
témata

**Oddělení průmyslové
výroby a automatizace | IPA**

Vedoucí: prof. Michael Valášek
Zástupce vedoucího: Dr. Petr Kolář

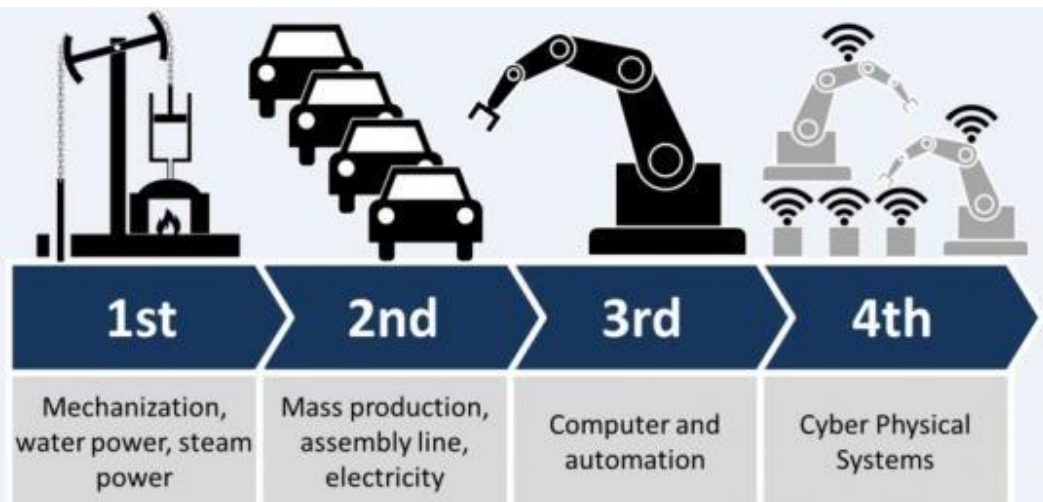
Sdílení vybavení Testbedu pro
výzkum a průmyslové
projekty, společné projekty,
personální synergie...

Další oddělení CIIRC...

Obsah

1. Motivace rozvoje Průmyslu 4 ve výrobní technice
2. Rozvoj „smyslů a inteligence“ strojů
3. Digitální dvojče stroje a obrobku
4. Nové HMI
5. Testbody
6. Shrnutí a závěr

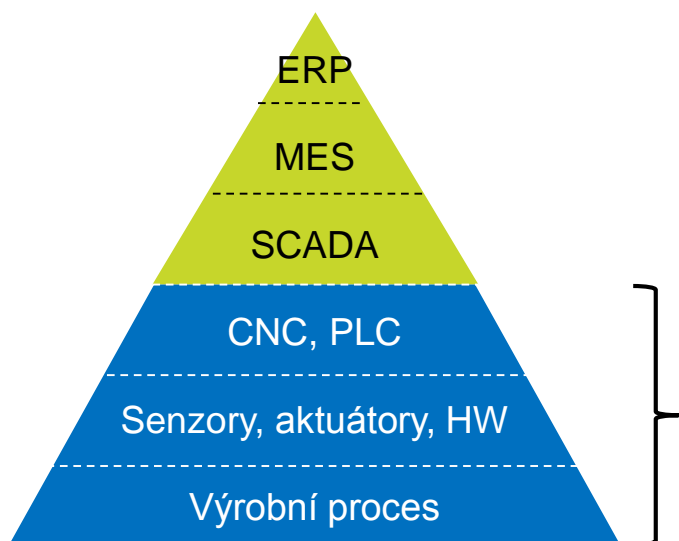
Úvod – co to je 4. průmyslová revoluce



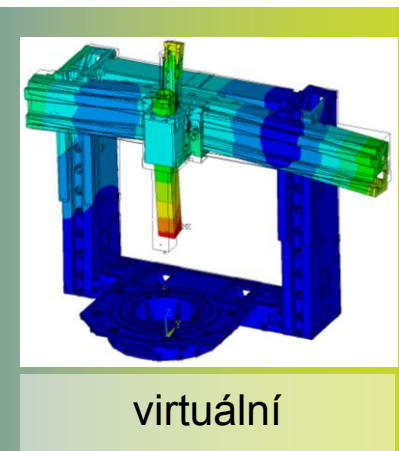
- mnoho řešení již využíváme
- existují aplikace ve velkých firmách; mnoho firem (především SME) je stále skeptických a hledá se věcné uplatnění

Průzkum mezi německými **výrobními SME** provedený Fraunhofer IPA Bayreuth:

- 79% firem jsou nováčci v I4.0
- 76% firem nevidí ekonomický benefit
- 85% firem nemá znalost principů I4.0



Kyber-fyzikální
systémy



Motivace rozvoje Průmyslu 4 ve výrobní technice

- Stále se snažíme vyvinout dokonalejší výrobní zařízení pro lepší výrobu
- Odstraněním člověka z procesu řízení stroje se připravujeme o řadu senzorů a inteligentních rozhodovacích funkcí
- Číslicové řízení stroje by mělo umožnit realizovat produktivní výrobu a kontrolu složitějších dílců
- Průmysl 4 není jen větší integrace ICT do výrobní techniky; je to **především efektivní spolupráce stroje s člověkem a dalšími stroji**

Řízení stroje
na konečný
rozměr dílce



Přesnost

Jakost

Produktivita

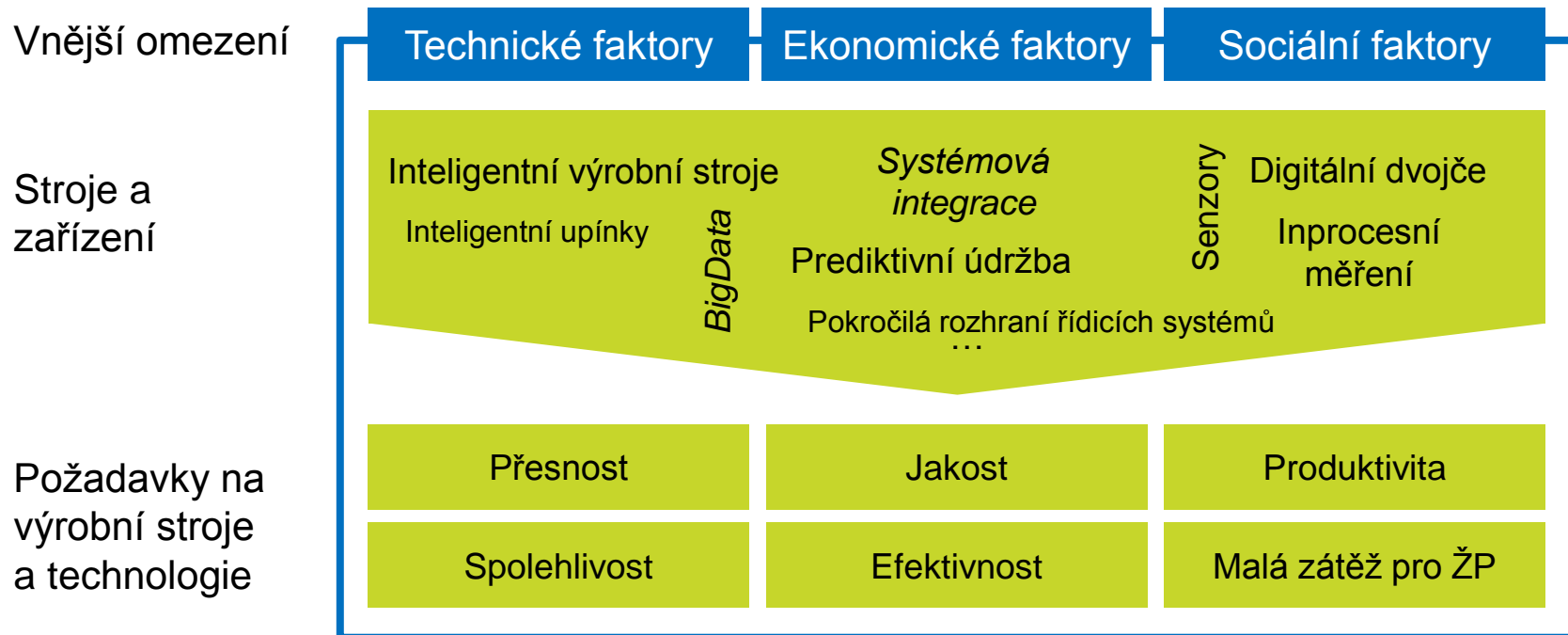
Spolehlivost

Efektivnost

Malá zátěž pro ŽP

Motivace rozvoje Průmyslu 4 ve výrobní technice

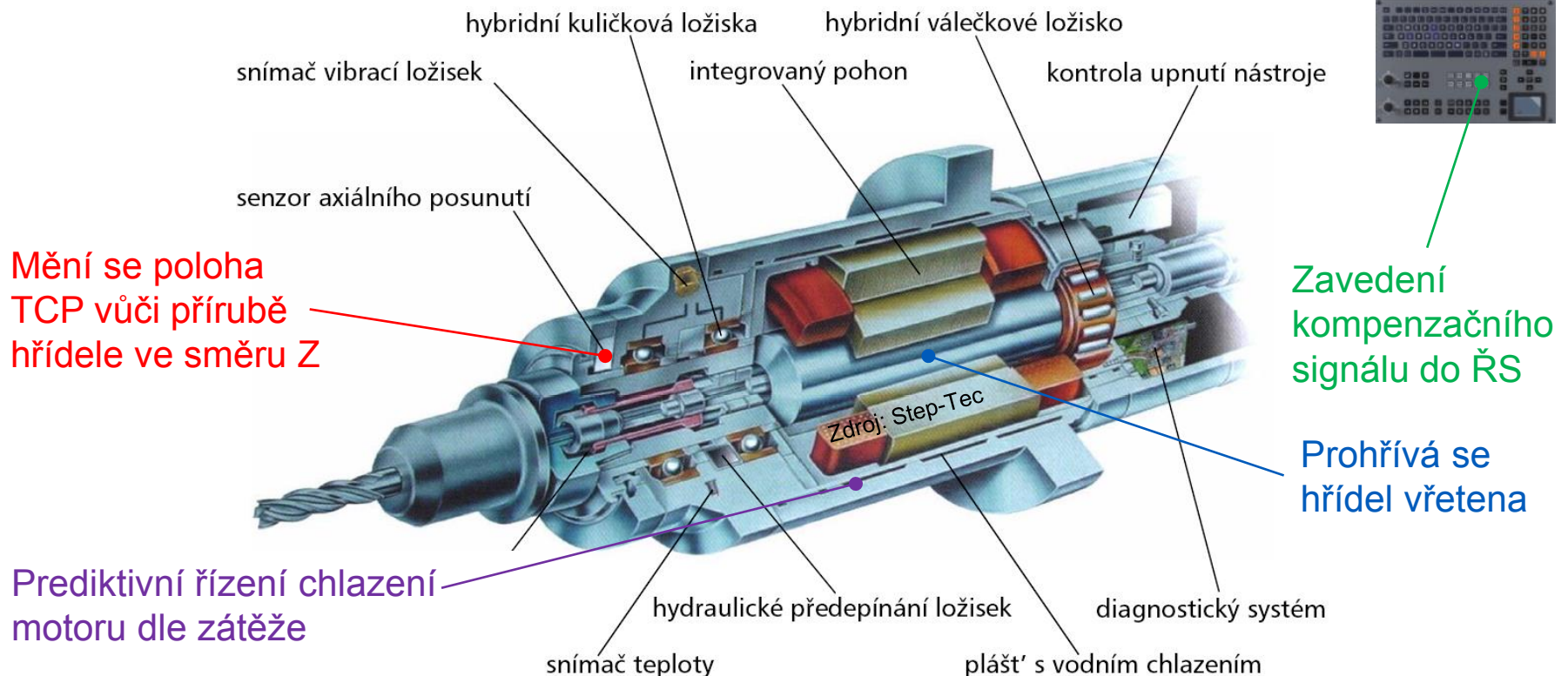
- Jednou z hlavních motivací je zavedení kusové výroby s efektivitou výroby sériové. Proto se obecně uvažuje o kombinaci znalostí více stojů a též lidské obsluhy.
- To je odklon od snahy zavést plně bezobslužnou výrobu, i když řada technických prostředků je oběma koncepty shodná a sdílená.



Rozvoj „smyslů a inteligence“ strojů

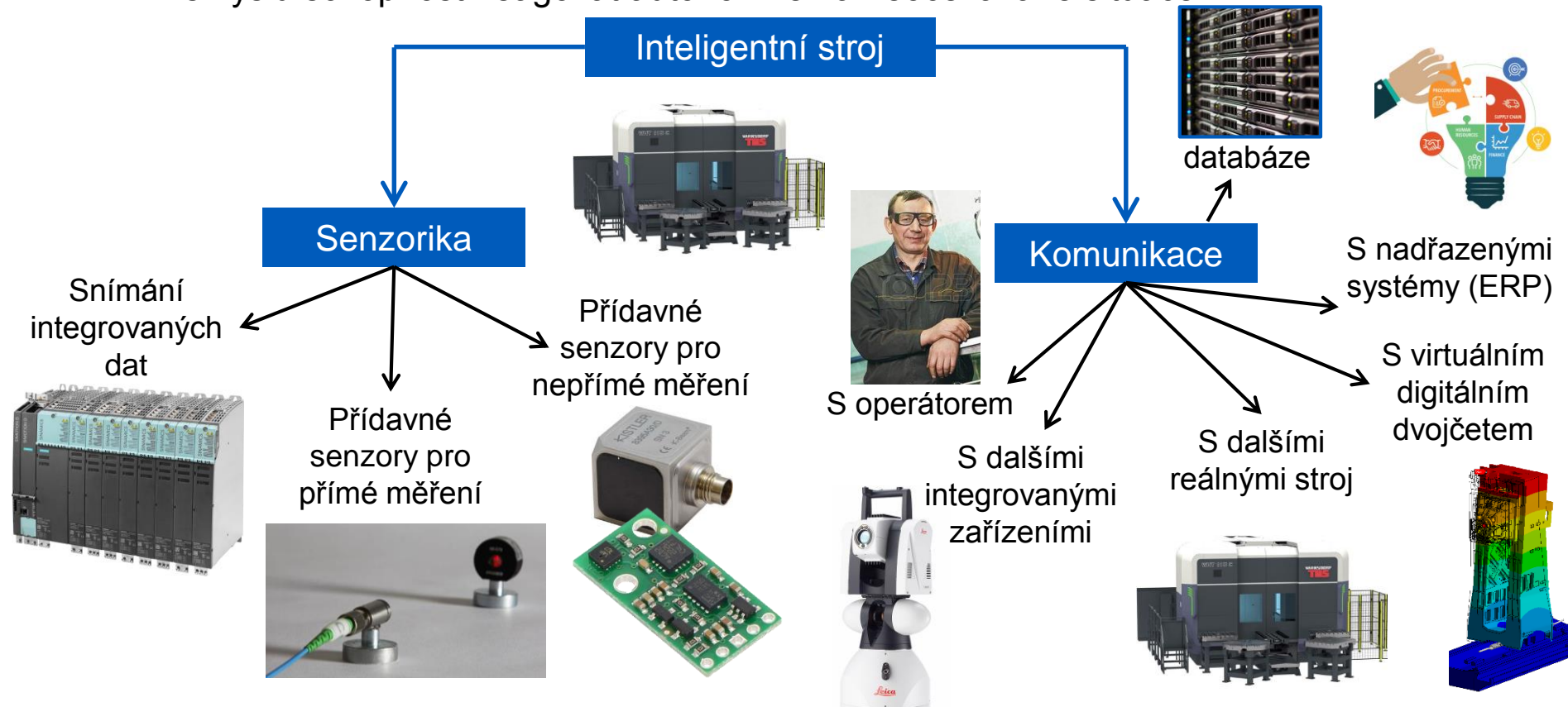
Strojní zařízení i jeho obsluha musí vědět:

- **Co se děje** ve stroji a procesu
- **Identifikovat příčiny** v kontextu realizované výroby
- **Zasáhnout** pro minimalizaci negativních dopadů
- **Predikce** chování zařízení v budoucnu



Inteligentní stroj

- Inteligentní stroj má rozšířenou senzorku a rozšířenou komunikaci.
- Výsledná inteligence zařízení je (aktuálně) kombinací připravených algoritmů, detekovaných dat a informací od dalších systémů a operátora.
- Do budoucna se předpokládá větší množství senzorky a též rozvoj inteligence ve smyslu schopnosti reagovat autonomně na neočekávané situace.

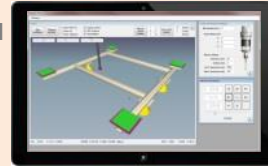


Příklad: Obráběcí stroj a inteligentní upínky obrobku

- Příklad doplnění stroje o další možnost snímání a reakce



Přenosná obrazovka pro obsluhu
Se SW pro řízení upínacího
přípravku a komunikaci s ním



Řídicí systém
obráběcího stroje



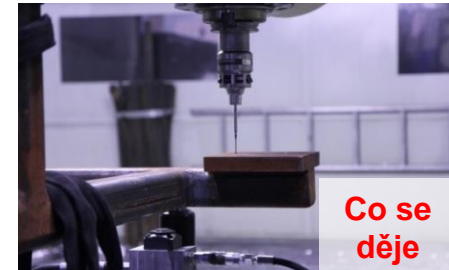
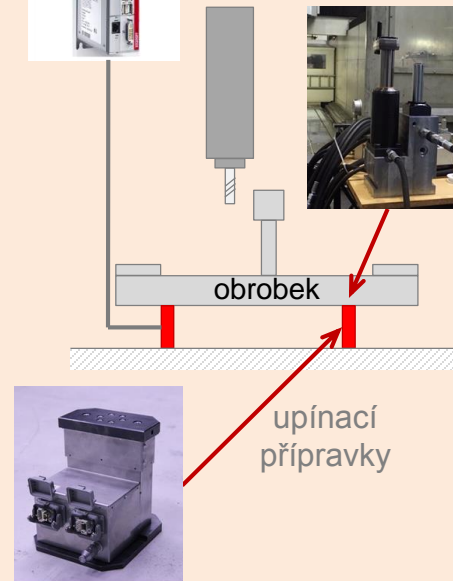
Průmyslový PC
se speciálním SW



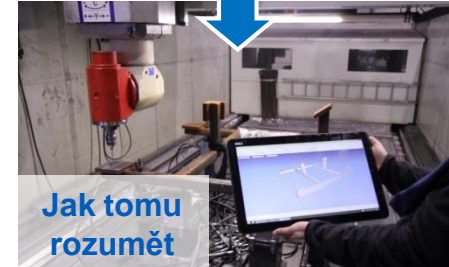
NC code

Příprava a
optimalizace
technologie

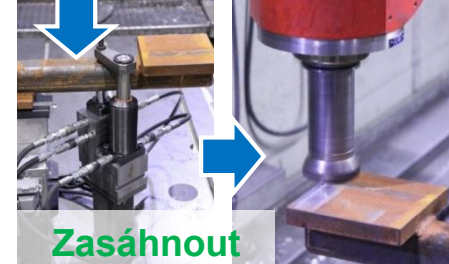
75% úspora
vedlejšího času



Kontrola pozice dílce



Vyrovňávání obrobku



Upnutí Obrábění

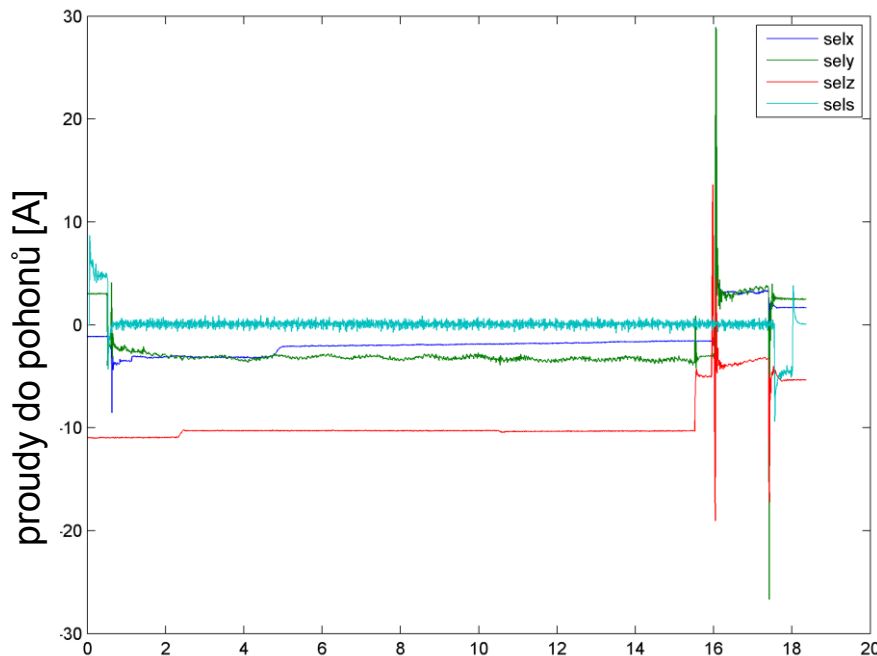
Současná situace
(manuální příprava dílce)

Klíčové technologie
(přídavný HW&SW)

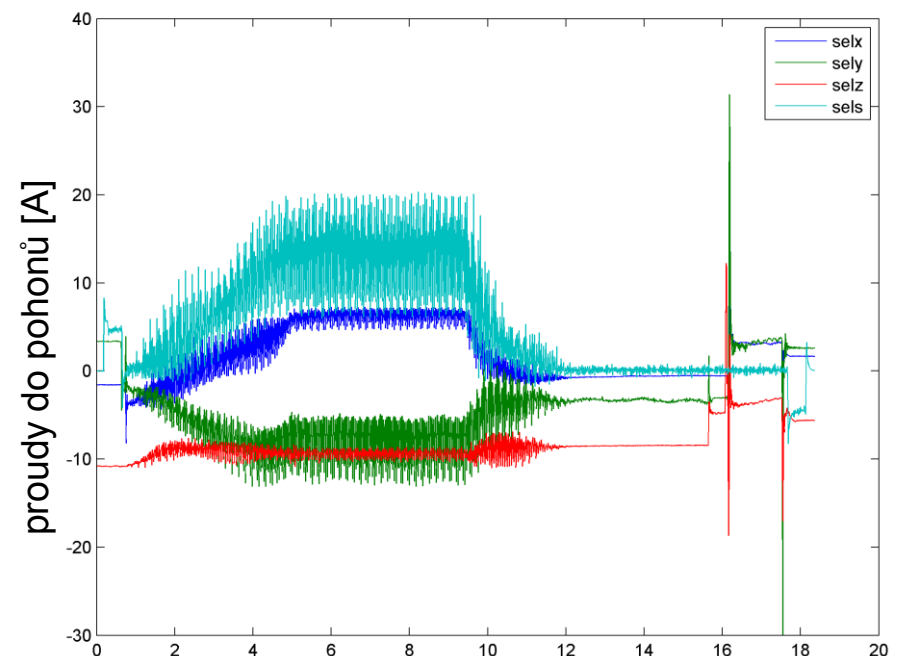
Obsluha systému
(poloautomatická)

Co se děje Vyčítání signálů z řídicího systému

- technicky relativně nejjednodušší, není nutný další HW
- někdy je nutno kombinovat více signálů a měření pro určení hodnoty veličiny
- např. monitoring proudu do pohonů dává celkové hodnoty a je tedy nutno realizovat další pomocné měřicí cykly pro identifikaci požadovaných veličin



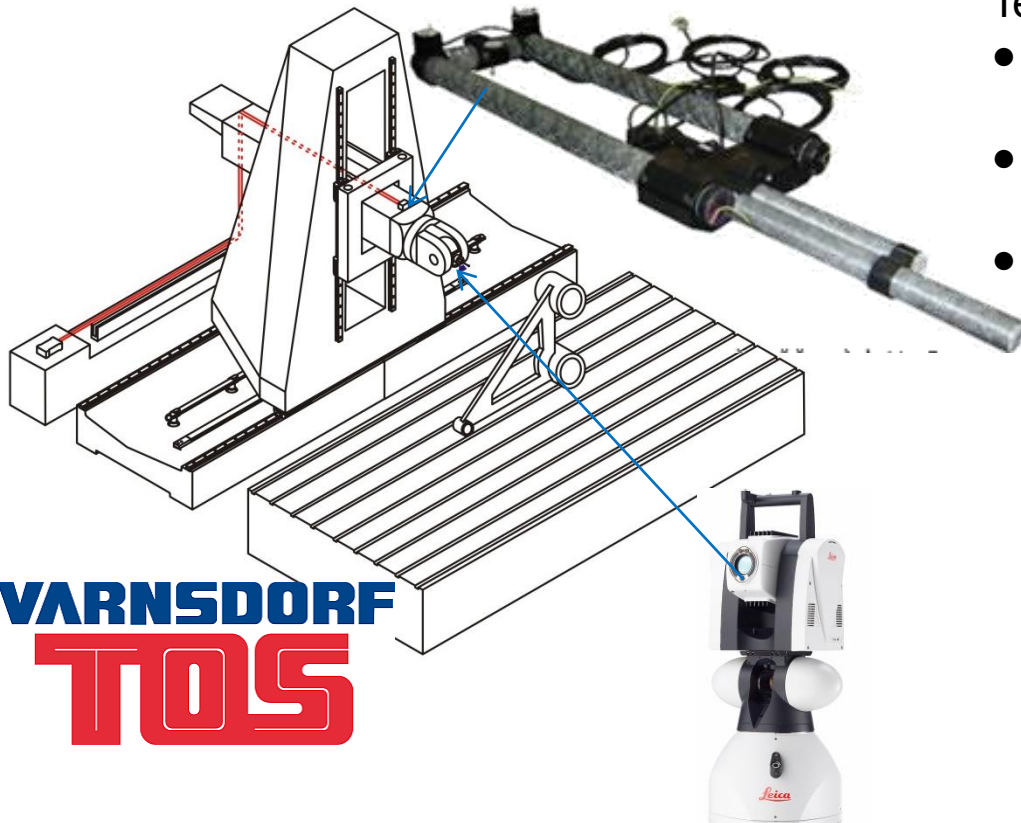
chod stroje naprázdno (air cutting)



obrábění

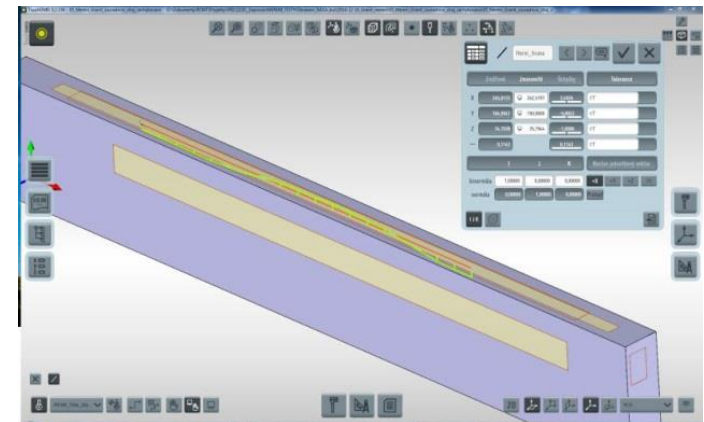
Co se děje Přídavná čidla pro přímou kontrolu procesu

- Přímé měření veličin fyzikálních veličin – např. měření délek
 - technicky nejpřímější cesta ke zjištění hodnoty požadované veličiny
 - často nelze snadno technicky realizovat
 - trvalý provoz (nemusí být vždy nutný) je rušen obráběcím procesem



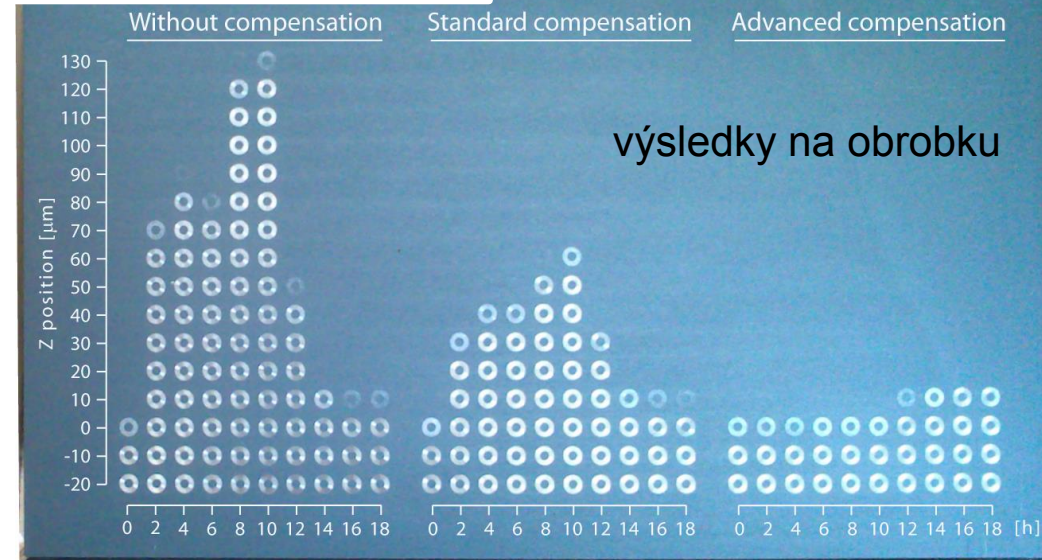
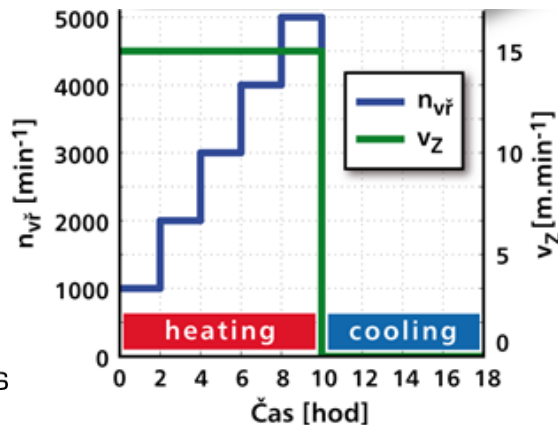
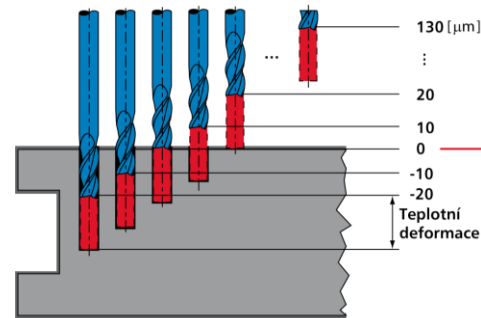
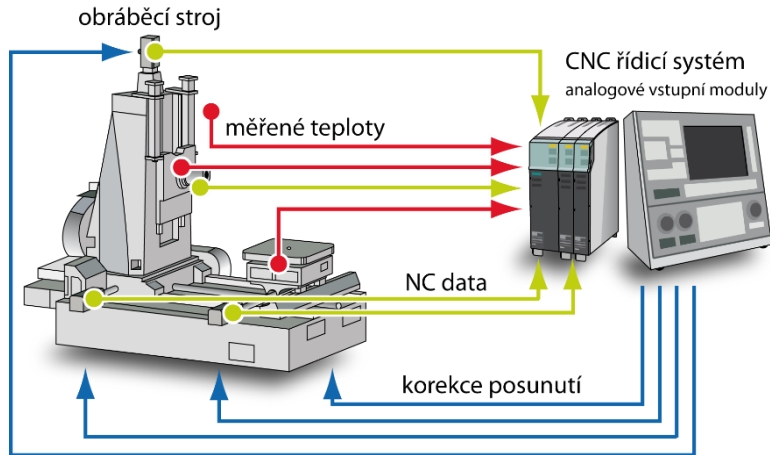
Test měření na granitovém bloku:

- Přímost se zachybovanou geometrií (vnesena chyba 100 μm) **114 μm**
- Přímost se zachybovanou geometrií a korekcí laser trackerem **26 μm**
- Přímost se zachybovanou geometrií a korekcí integrovanými odměřováními **12 μm**



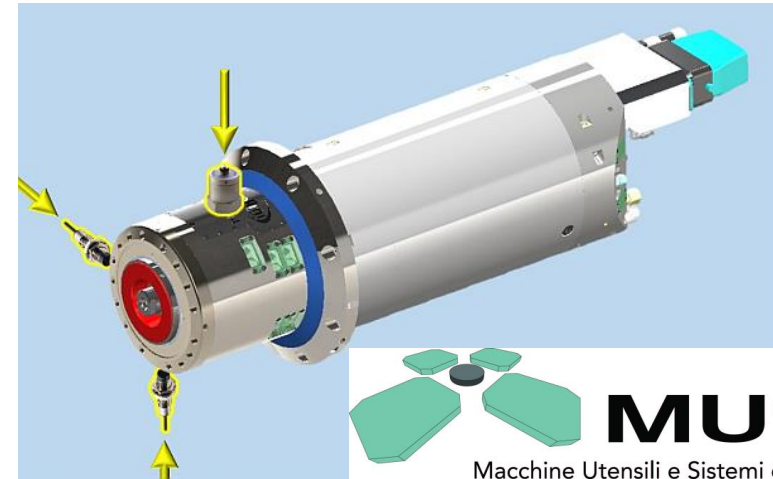
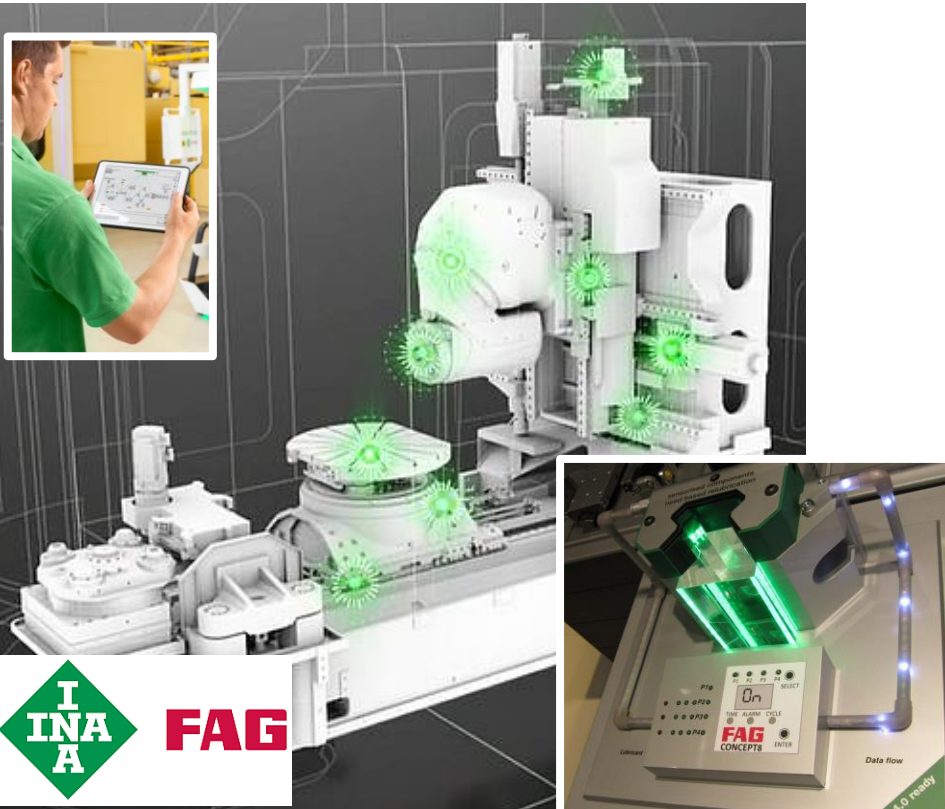
Co se děje Příkladná čidla pro nepřímou kontrolu procesu

- Příkladná čidla pro nepřímou kontrolu procesu – měření teplot a vibrací
 - alternativní řešení využívající identifikovaných modelů pro výpočet požadovaných hodnot ze změřených nepřímých veličin



Co se děje Sensorika ve stávajících výrobních strojích

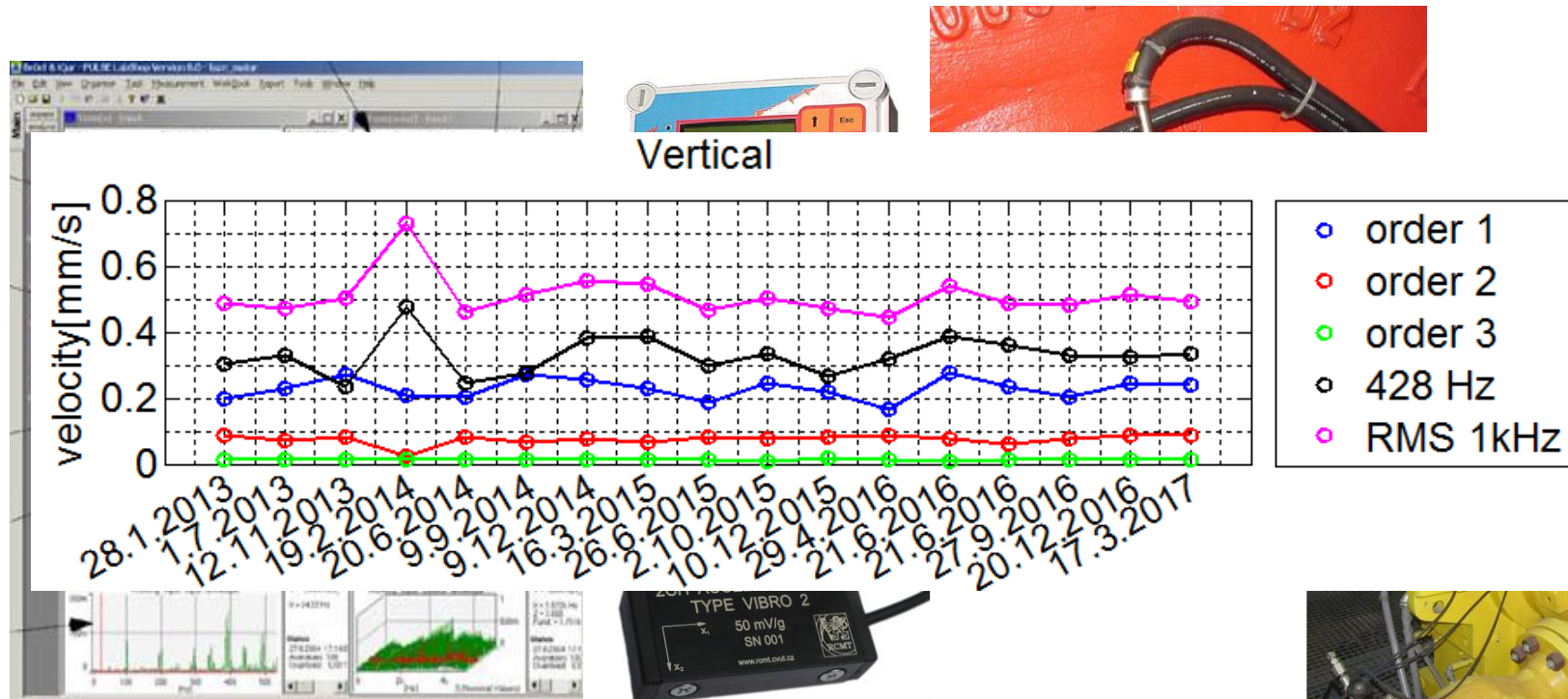
- Uvedené příklady jsou ukázkami komplexních řešení vyvinutých ve spolupráci firmy a univerzity.
- Vedle toho se komerčně rozšiřuje **nabídka senzorky v komponentech strojů**.



Průmysl 4.0 je nejen o nových HW senzorech, ale především o SW v pozadí, který vše zpracuje a dále chytrě využije.

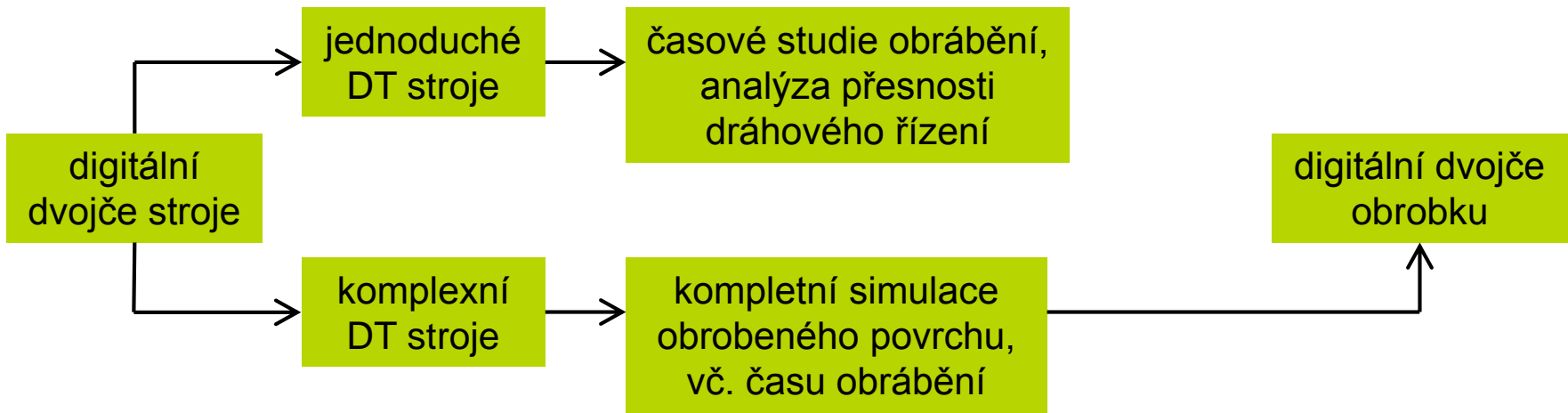
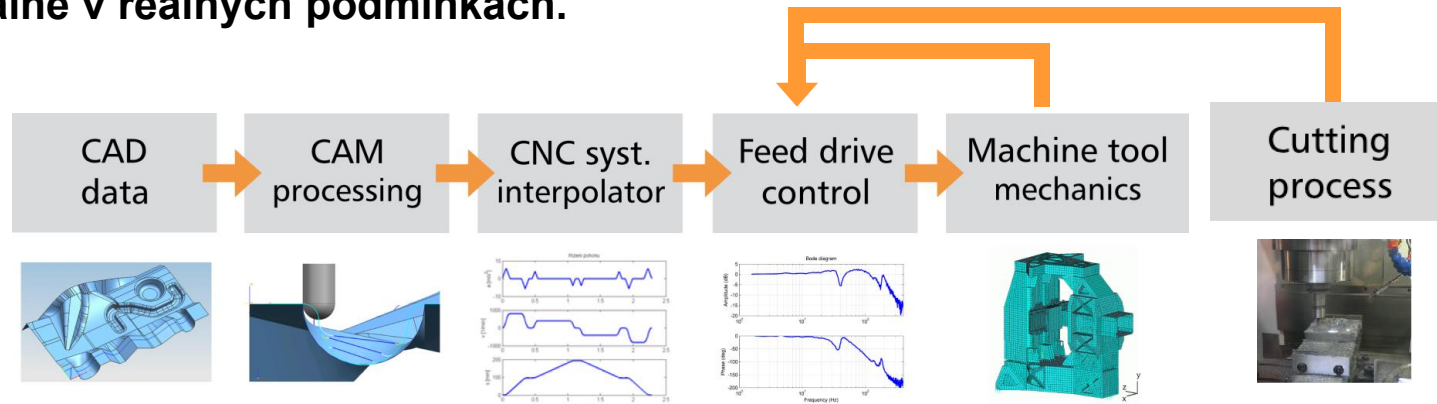
Identifikace příčin Dlouhodobá znalost zařízení

- Zde se uplatňuje zkušenost v technické diagnostice zařízení, v provozu strojů a technologií.
- Výhodou je křížové vyhodnocení stejných fenoménů z více senzorů a možnost posouzení zaznamenaných historických dat (vč. dat z jiného srovnatelného stroje).
- Know-how je dílčí způsobem přenositelné mezi různými typy strojů.



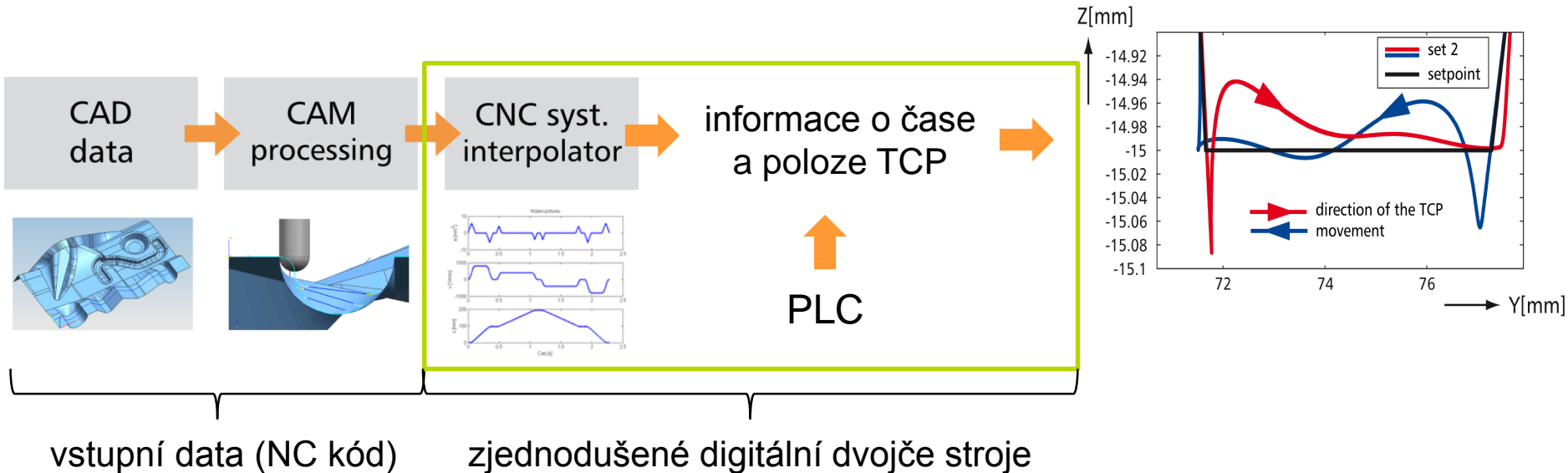
Identifikace příčin Vyhodnocení změřených dat

- Pro **obráběcí aplikace** lze výhodně uplatnit data z digitálních dvojčat (DT) **stroje a obrobku**, která lze připravit předem a použít pro predikci chování stroje nebo procesu.
- Verifikované DT pak lze spustit v real-time paralelně pro podporu monitoringu a vyhodnocení chování stroje. DT by mělo ukazovat, jak by se stroj a proces měl chovat **ideálně v reálných podmínkách**.

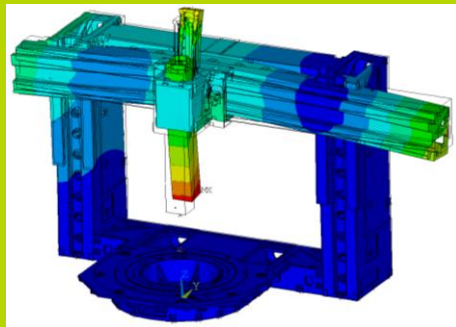
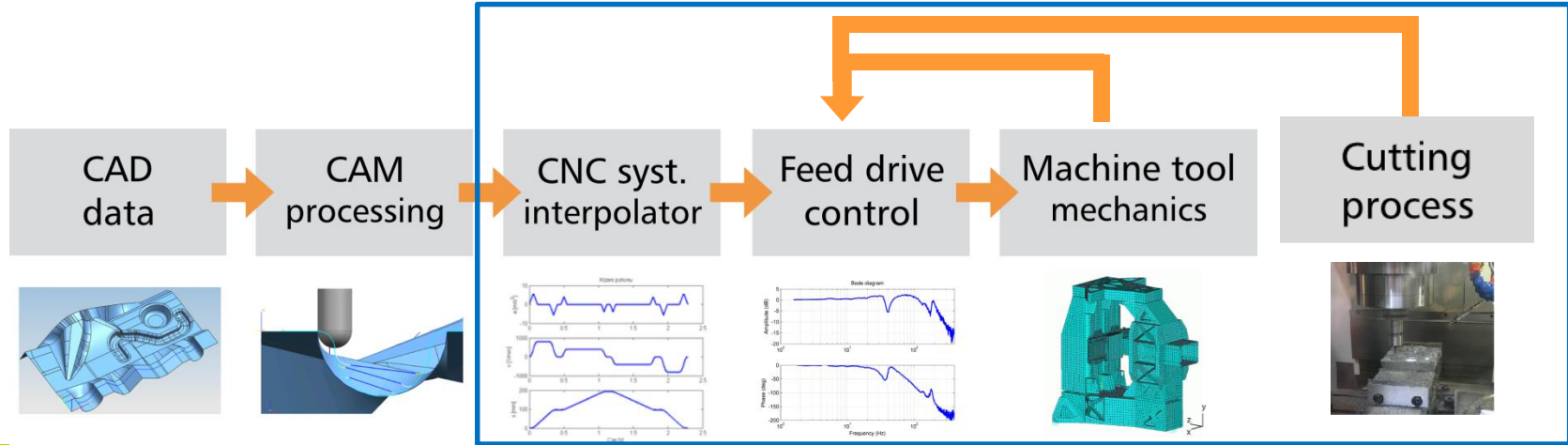


Zjednodušené digitální dvojče stroje

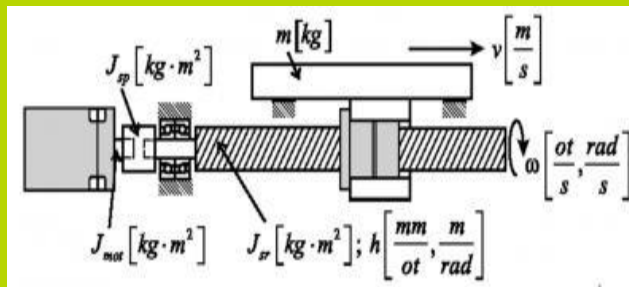
- Zjednodušené DT stroje obsahuje pouze interpolátor a model PLC.
- Tyto virtuální stanice umožňují načíst NC kód a velmi přesně predikovat čas obrábění vč. započtení vlivu reálné dynamiky pohonů a nastavení interpolátoru.
- Nelze ho využít pro predikci vlastností obrobku, lze pouze posoudit proces nepřímými parametry (generovaný signál polohy pro pohony)



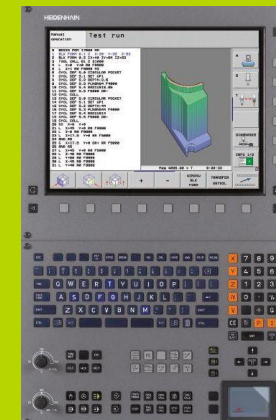
Kompletní digitální dvojče stroje



MKP model konstrukce



Propojený model struktury a pohonů posuvu



řídící systémy

virtuální obrábění, sdílení dat s jinými systémy

uložení procesních dat

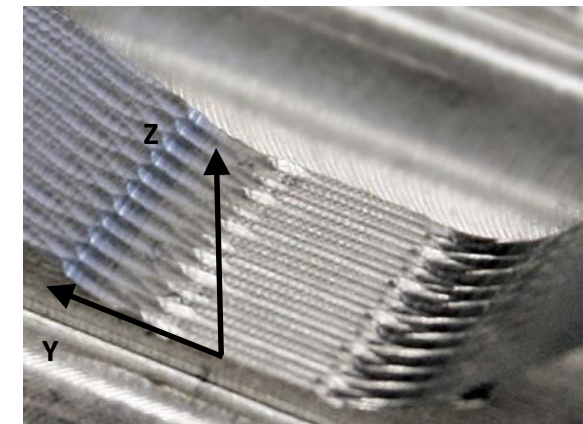
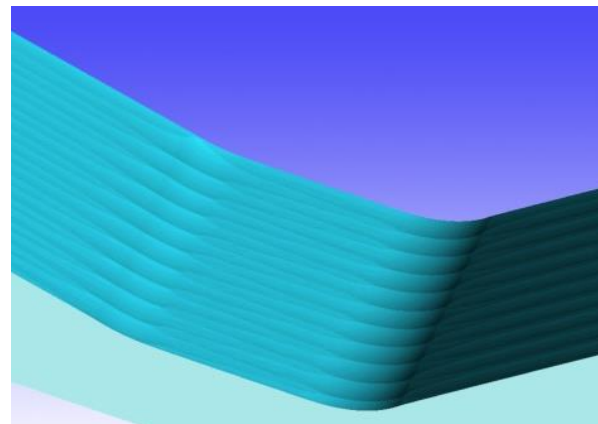
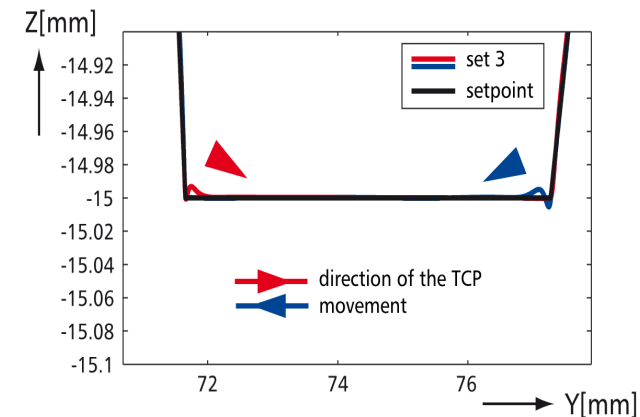
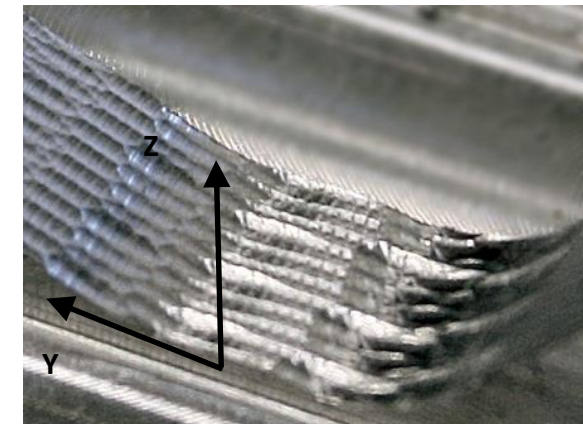
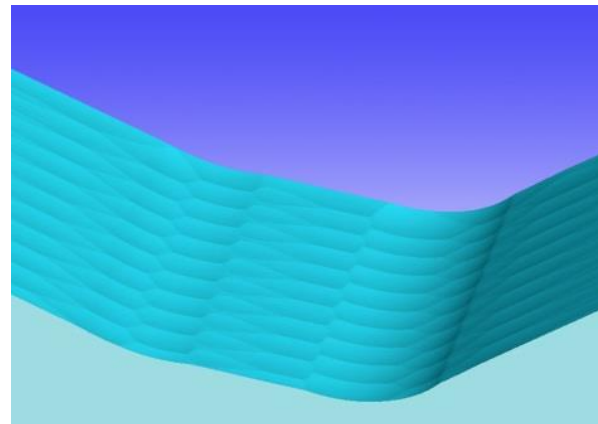
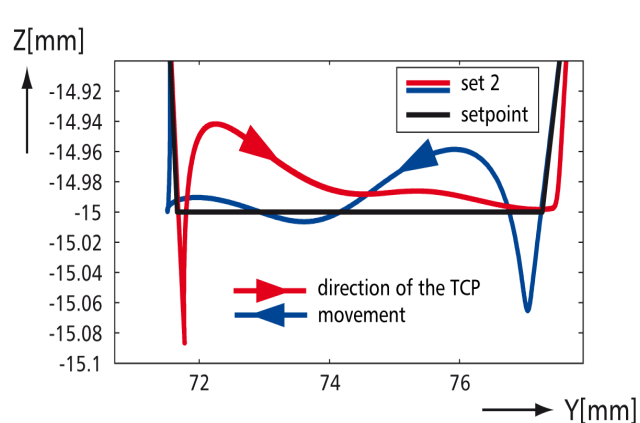
paralelní kontrola stroje v provozu

návrh procesu a virtuální testování

konstrukce OS virtuální testování

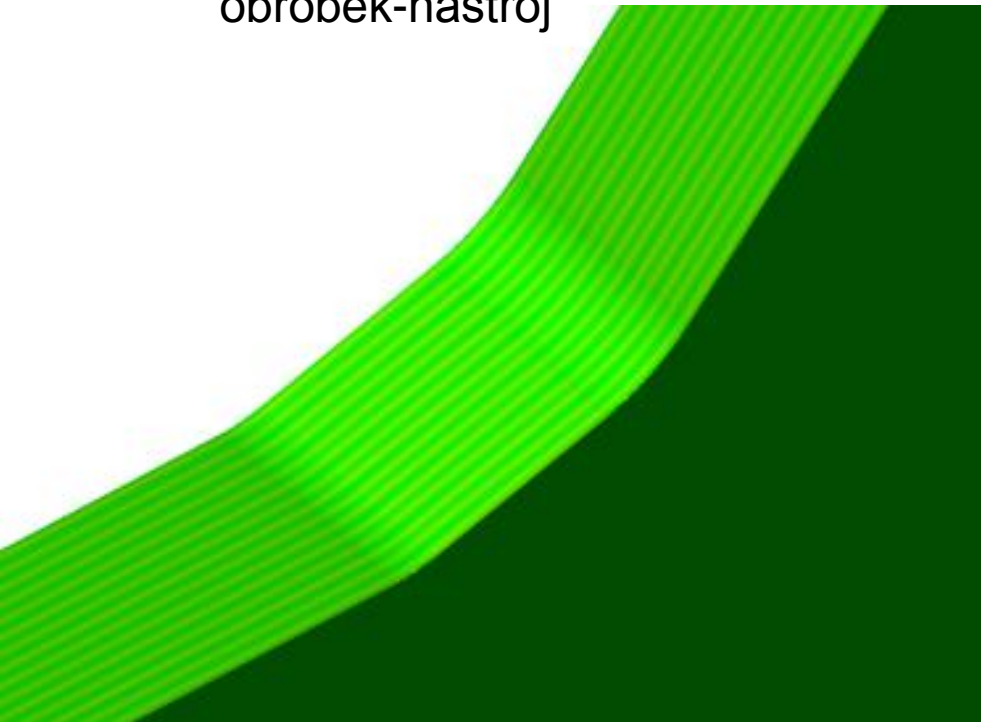
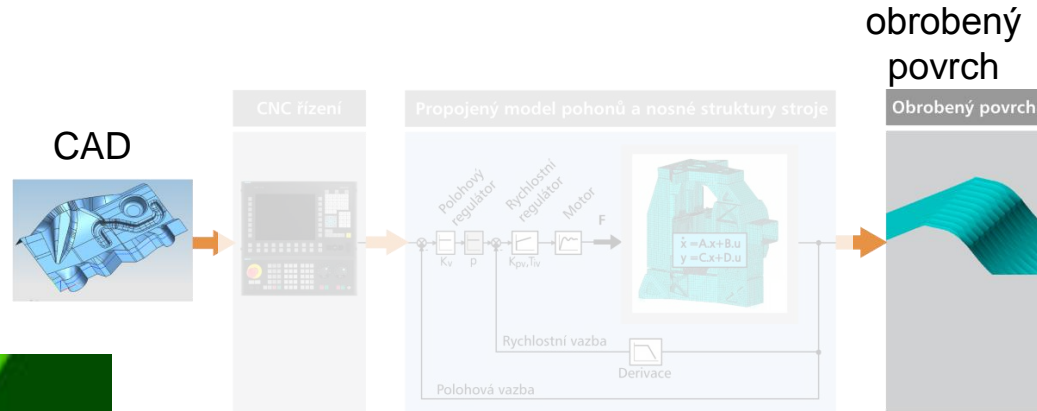
Digitální dvojče obrobku

- Analýza vlivu nastavení řídicího systému a NC funkcí na kvalitu povrchu obrobku
- Díky virtuálnímu modelu je možné provádět simulaci obrábění mimo obráběcí stroj se zohledněním jeho celkového chování – vzniká **digitální dvojče obrobku**.

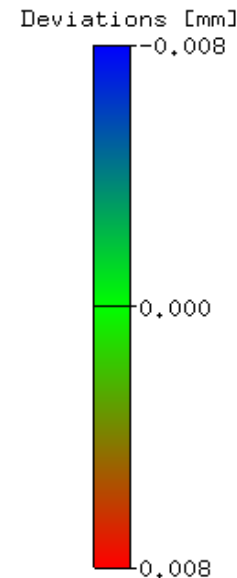


Kyber-fyzikální přístup k určení chyb obrábění

- CAM simulace - bez simulace se zohlednění dynamiky je digitální reprezentace obrobku jen CAD zobrazením výsledku kinematické analýzy soustavy obrobek-nástroj

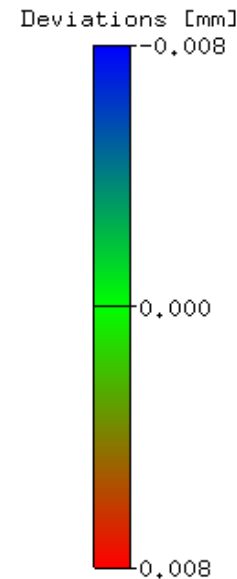
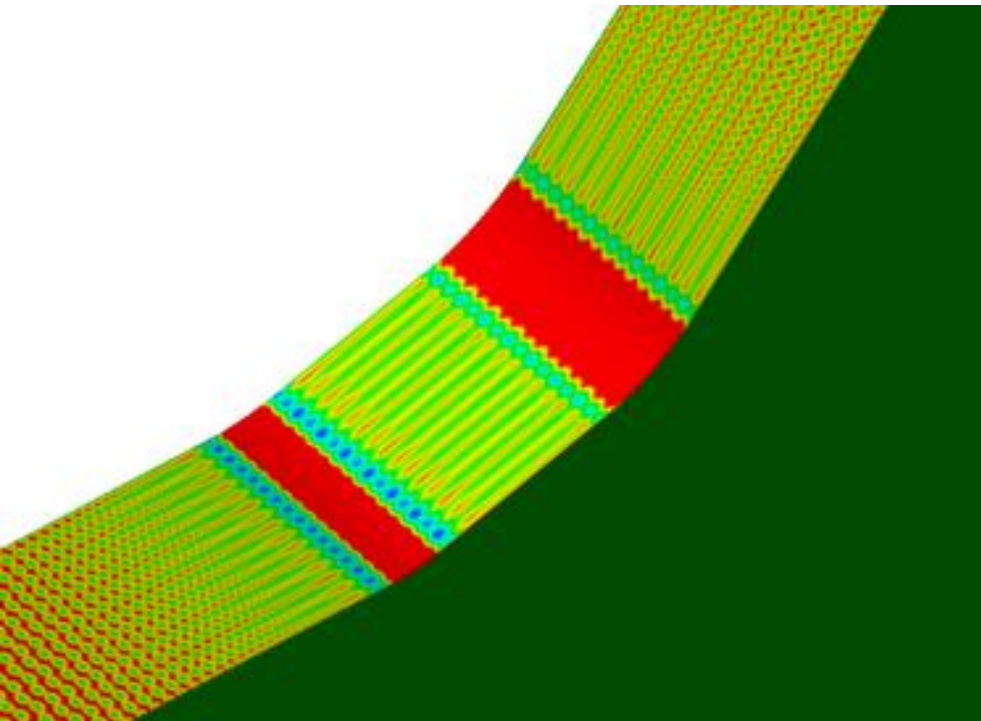
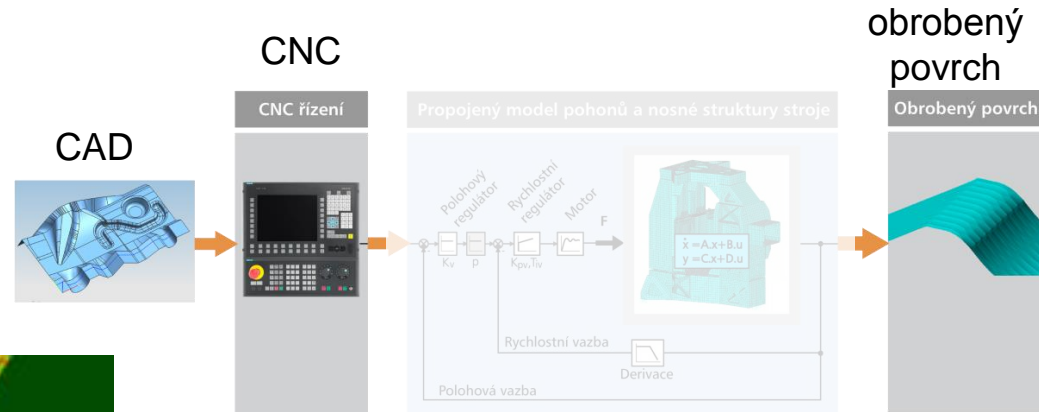


vizualizace CL dat



Kyber-fyzikální přístup k určení chyb obrábění

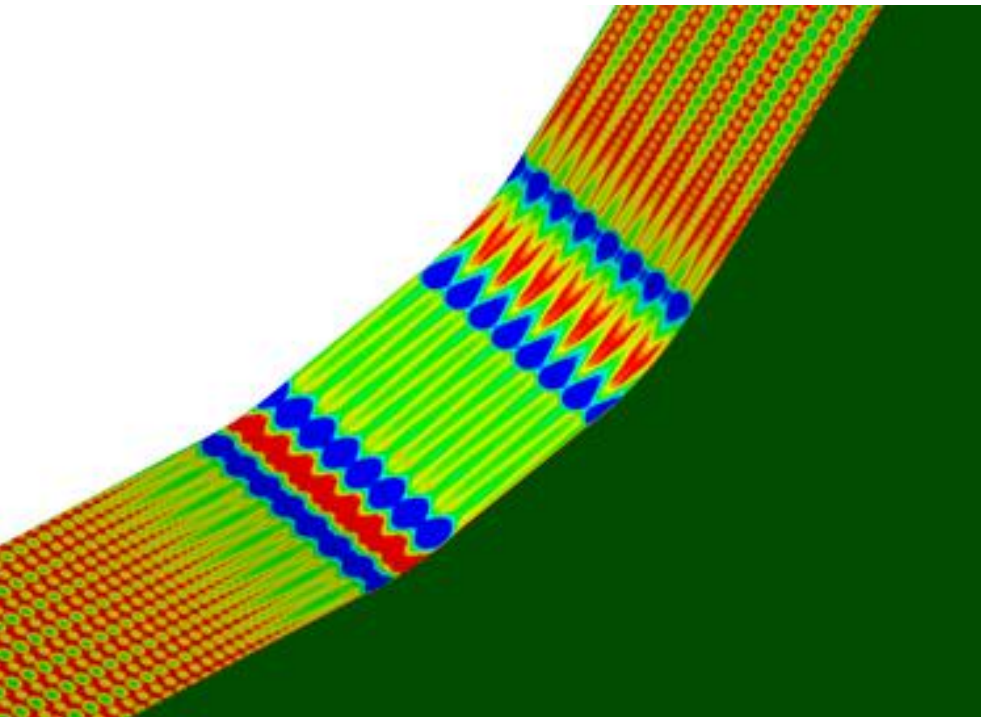
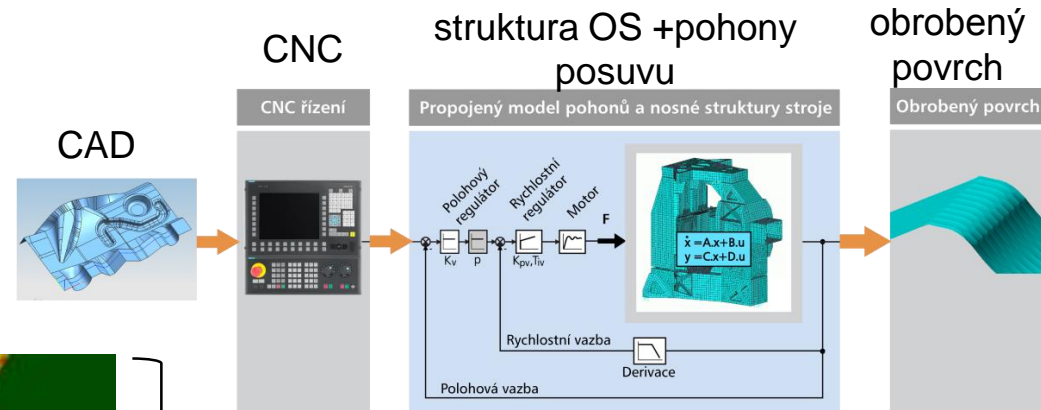
- interpolace CNC systému (zjednodušené digitální dvojče stroje)



vizualizace NC dat

Kyber-fyzikální přístup k určení chyb obrábění

- interpolace CNC systému
- dynamický model OS



Deviations [mm]

-0,008

0,000

0,008

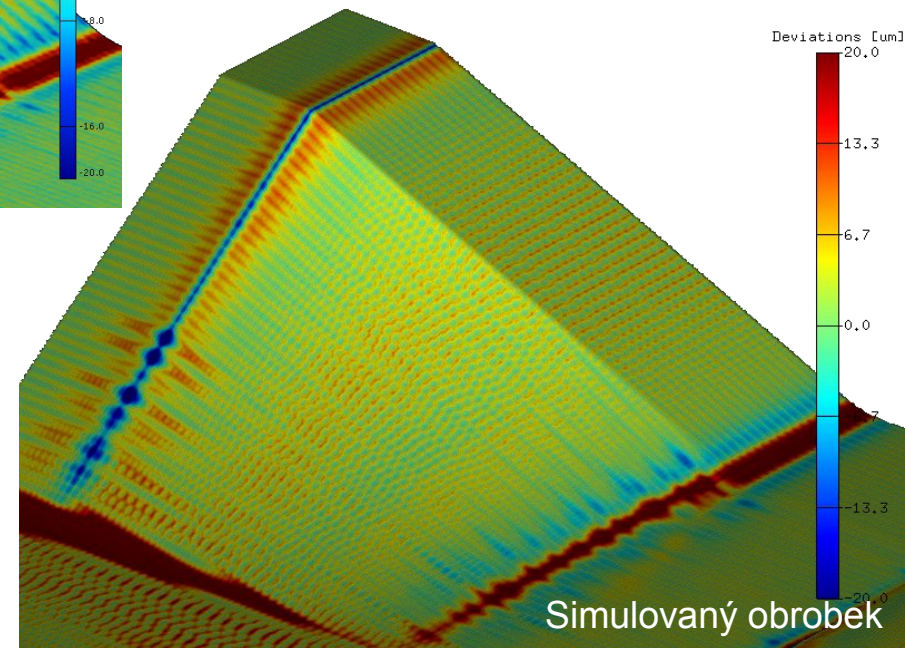
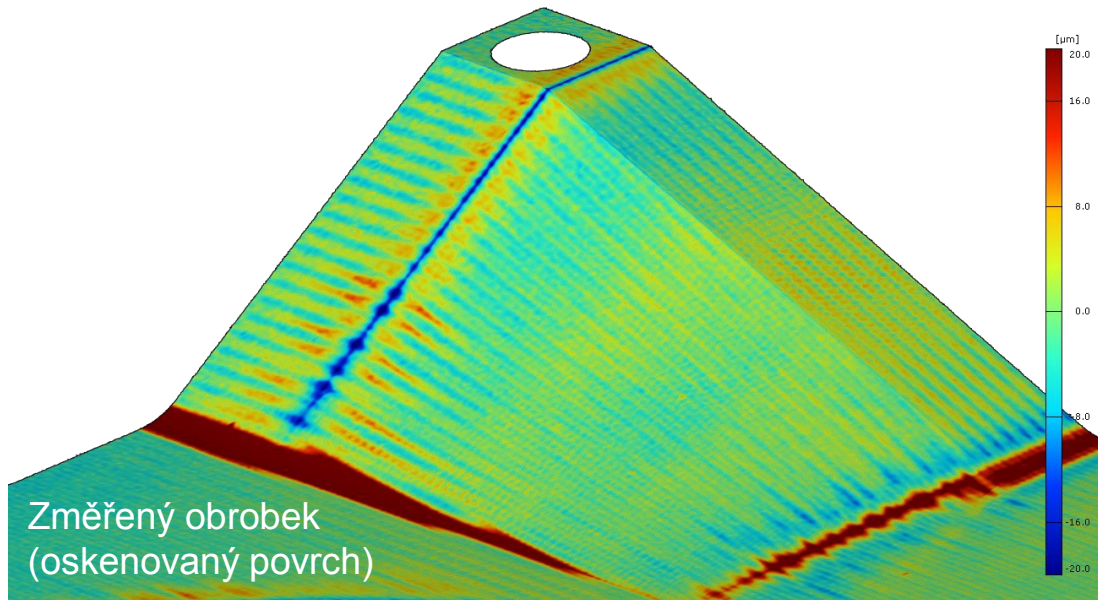
Digitální dvojče OS



Digitální dvojče obrobku

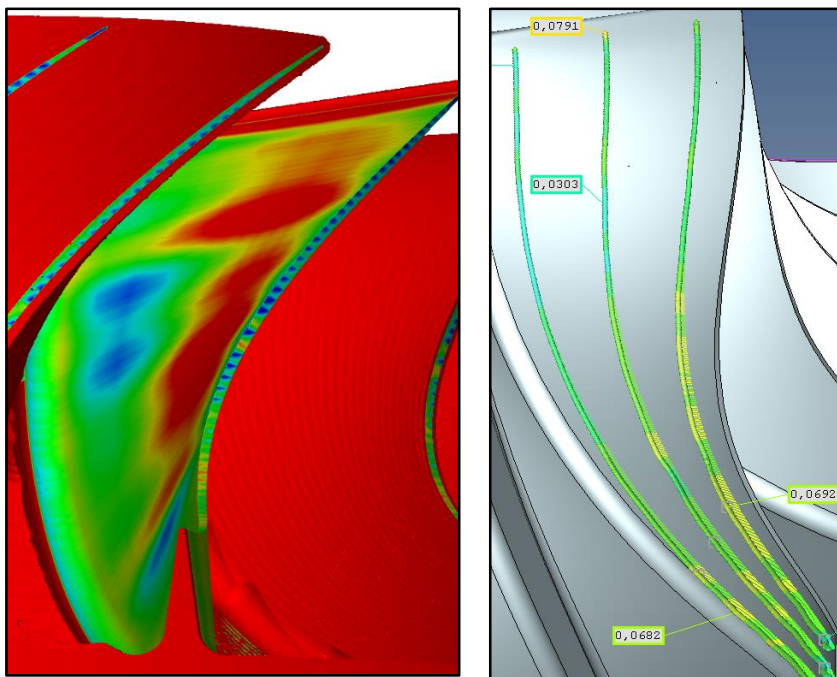
kompletní virtuální obrábění

Příklad predikce jakosti povrchu



Příklad optimalizace kusové výroby

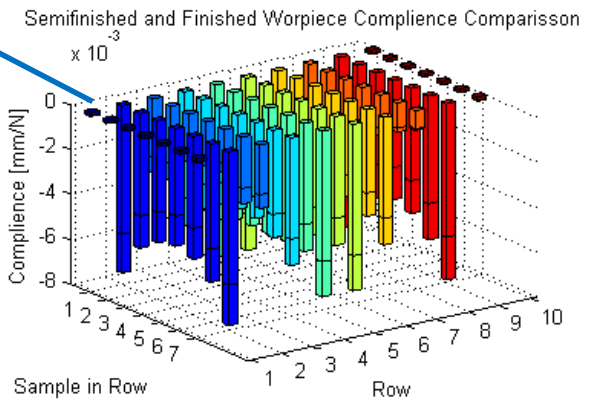
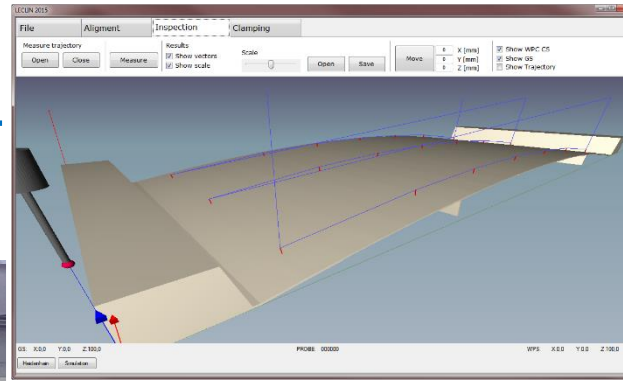
- Obráběcí stroj: Kovosvit MAS MCU 700V – 5X
- Obrobek: oběžné kolo kompresoru Ø 240 x 120 mm, dokončovací obrábění



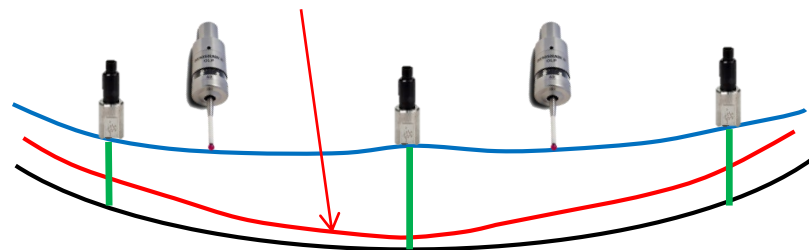
- Původní NC program:
 - doba obrábění 6 min
 - přesnost povrchu 0,04 mm (predikovaná i naměřená)
- Optimalizovaný NC program
 - doba obrábění 2,5 min (- 58%)
 - stejná přesnost povrchu 0,04 mm (predikovaná a naměřená)

Adaptivní obrábění s modelem obrobku

- Digitální reprezentace dílce může být využita v mnoha úlohách vázaných na návrh, výrobu a aplikaci dílce.
- Příklad: obrábění dílce na definovanou tloušťku.



konečný tvar pro generování dráhy nástroje



Zasáhnout Rozhodovací role obsluhy stroje

- Operátor stroje má **více vstupních informací**, které je nutno strukturovat
- Operátor může **stroj ovládat alternativními přístupy**
- K datům stroje **chce přistupovat více lidí i strojů**.
- Je mnoho dílčích řešení, ale všechny pohromadě mají synergický efekt
- ➔ To vyžaduje **nové typy HMI** (informace a komunikace člověka a stroje)
- ➔ (vč. možnosti komunikace s dalšími reálnými a virtuálními stroji a systémy)



DMG MORI CELOS

MAZAK SMOOTH



Příklad z ČR: TOSControl

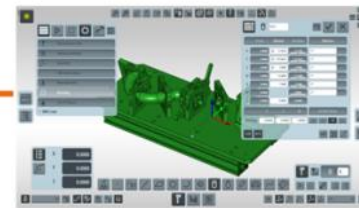
- Nadstavbový komplexní systém pro správu stroje (zvýšení komfortu obsluhy, možnost rozšíření dílčích aplikací, komunikace s uživatelem i ostatními zařízeními v síti)
- Základní aplikace (status stroje, HMI řídicího systému, dokumentace, kalendář, kamera atd.)
- Pokročilé nástroje (inprocesní měření – metrologický sw, diagnostické nástroje)
- Implementováno do stroje TOS Varnsdorf WHT110 Sinumerik 840D sl



Windows apps



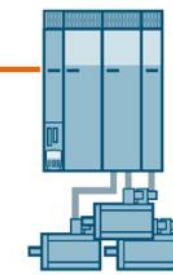
Industrial PC
Windows OS



Metrology software



dll library
for communication



CNC
Siemens
Sinumerik 840D sl

SQL

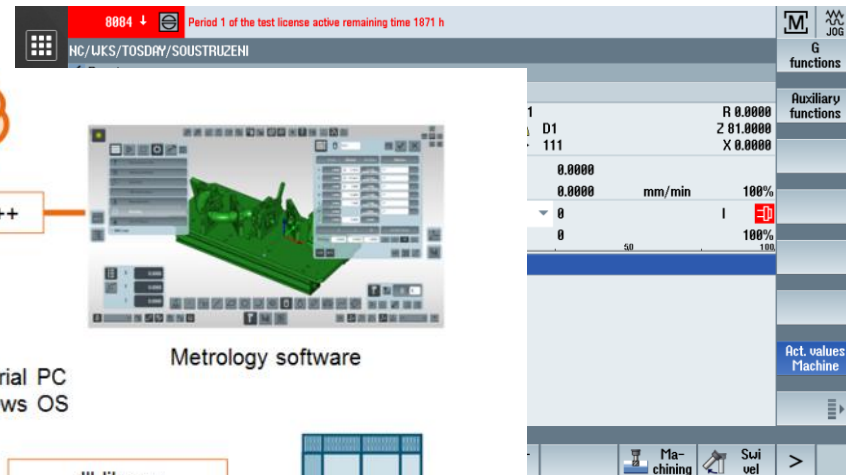


Database

SDK dll



Other devices



Act. values
Machine

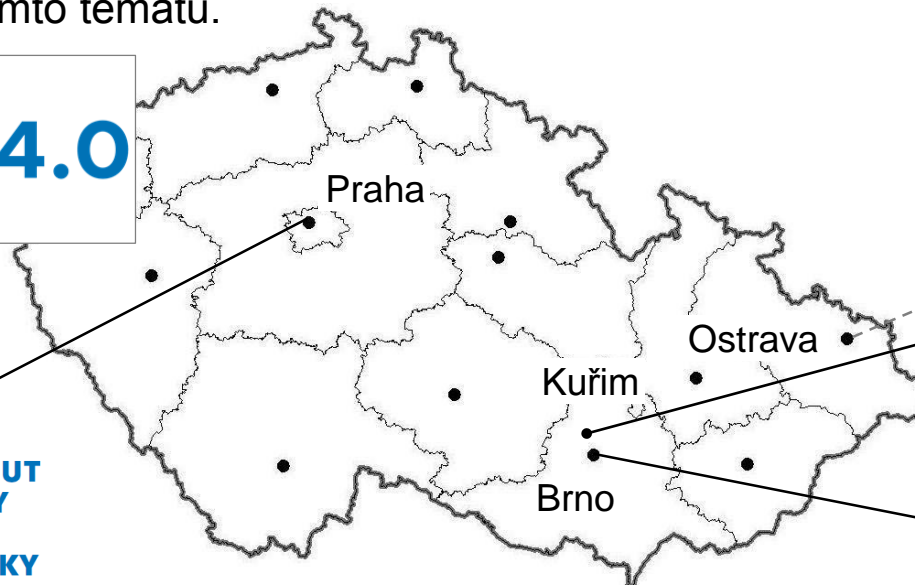
Predikce chování a stavu zařízení

- Dosud uvedené příklady řeší zejména, jak pracovat v aktuální situaci.
- **Jak předejít nežádoucímu chování** stroje a procesu v budoucnu je základní otázkou pro prediktivní úlohy
- Zde přichází ke slovu **sběr informací** o chování systému (stroj+proces) v minulosti, **matematické algoritmy** pro zpracování, **hledání závislostí a trendů**.
- Tento obor je zatím v reálném provozu **nejméně používaný**, ale lze u něho očekávat **nejintenzivnější rozvoj**, především ve vazbě na propojování nadřízených systémů řízení výroby.
- Tato oblast jednoznačně vyžaduje **multidisciplinární týmy** pro řešení „běžných“ situací, kde se kombinuje znalost procesu, matematických algoritmů a HW/SW prvků.



Testbedy – možnost testování konkrétních řešení

- Pro konkrétní technologické aplikace je nutno systém **navrhnout a zkonfigurovat zákazníkovi na míru**. Předcházet musí **strategické rozmyšlení konceptu**, způsobu integrace vstupních dat a způsobu komunikace mezi jednotlivými zařízeními.
- Jednotlivá řešení je **možno otestovat na tzv. Testbedech**, které představují „posilovnu“ pro „natrénování“ řešení pro reálné výrobní procesy.
 - Výhodou je, že **SW řešení na pozadí je snadno škálovatelné** (přenositelné i na jiné velikosti strojů a aplikací).
- České testbedy jsou sdruženy (spolu s dalšími firmami) v **Národním centru průmyslu 4.0 (NCP4.0)**, které je pro podniky prvním konzultačním a přístupovým bodem v tomto tématu.



Závěr

- **Průmysl 4.0 není cílem, ale nástrojem** pro dosažení požadovaných hlavních užitných vlastností strojů a technologií.
- Průmysl 4.0 je paradigma uvažování, které **integruje více informací a vstupů** z různých zdrojů (reálných a virtuálních, lokálních i vzdálených) a různých časových období. Technicky je to možné **díky nástrojům ICT**.
- Je možno se inspirovat fungujícími **příklady**. Některé příklady byly prezentovány.
- Důležité je včas otevřít své představy dalším relevantním partnerům a **společně hledat realistická řešení s jasnou přidanou hodnotou**.

Děkuji za pozornost