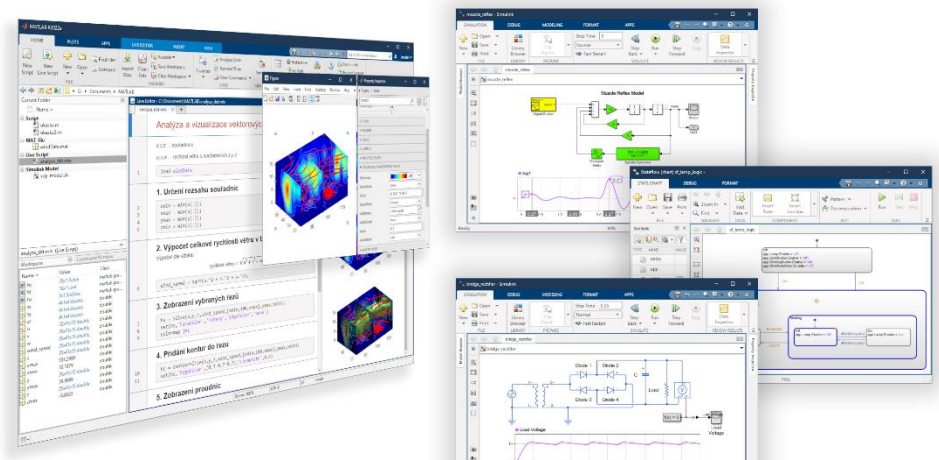
HUMUSOFT®

Prediktivní údržba, detekce anomálií a vizuální inspekce



MathWorks® Authorized Reseller | MATLAB® & SIMULINK®

Jaroslav Jirkovský

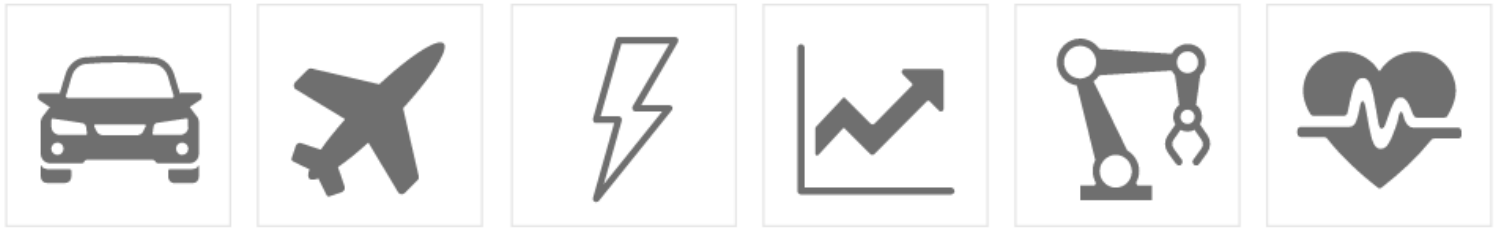
jirkovsky@humusoft.cz

www.humusoft.cz
info@humusoft.cz

www.mathworks.com

Několik pojmů na úvod

- Prediktivní analytika (Predictive Analytics)
  - využívá historická data k předpovídání budoucích událostí
  - https://www.mathworks.com/discovery/predictive-analytics.html

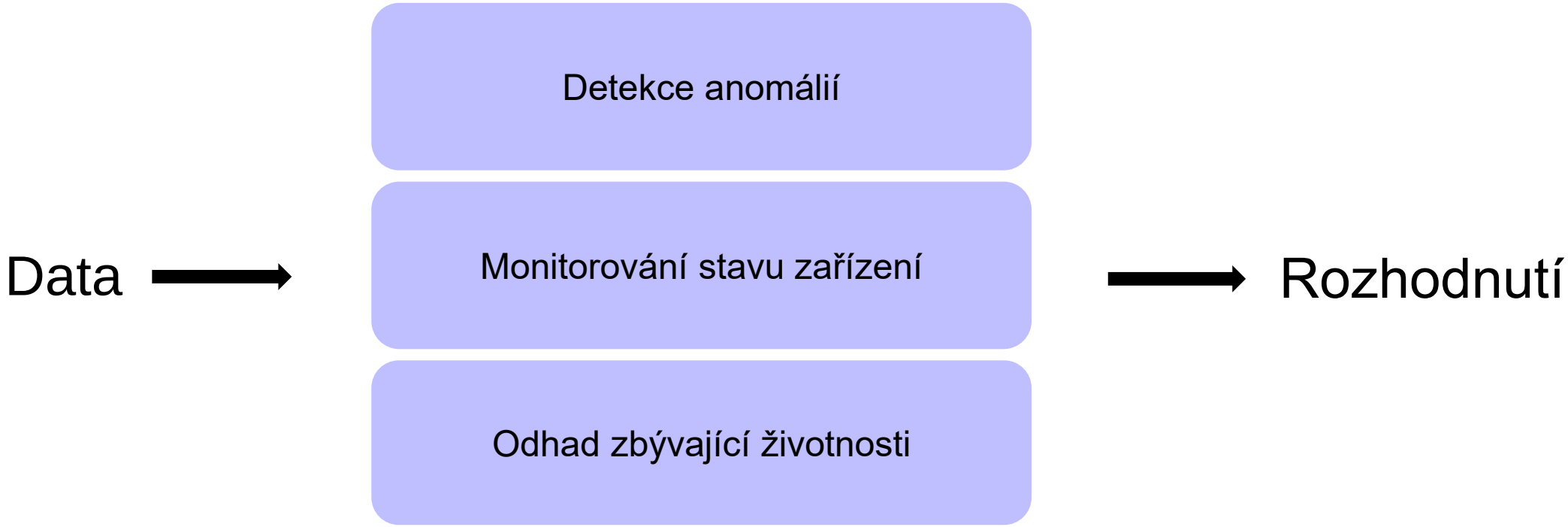


  - průmyslová aplikace: Prediktivní údržba systémů

- Preskriptivní analytika (Prescriptive Analytics)
  - využívá prediktivních modelů k navržení vhodné akce pro dosažení optimálních výstupů
  - https://www.mathworks.com/discovery/prescriptive-analytics.html

Několik pojmů na úvod

- Prediktivní údržba (Predictive Maintenance)
  - údržba provozních průmyslových systémů a zařízení s využitím prediktivních modelů
  - https://www.mathworks.com/discovery/predictive-maintenance-matlab.html



Několik pojmů na úvod

- Detekce anomálií (Anomaly Detection)
  - identifikuje neočekávané události a odchylky od běžného chování
  - https://www.mathworks.com/discovery/anomaly-detection.html
- Monitorování stavu zařízení (Condition Monitoring)
  - analyzuje data ze senzorů a vyhodnocuje stav zařízení během provozu
  - https://www.mathworks.com/discovery/condition-monitoring.html
- Prognostika (Prognostics) – odhad zbývající životnosti (RUL)
  - předvídání potenciální poruchy zařízení
  - https://www.mathworks.com/discovery/prognostics.html

Několik pojmů na úvod

- Vizuální inspekce (Visual Inspection)
  - kontrola dílů na základě obrazu
  - kamera skenuje testovaný díl na závady a nedostatky v kvalitě
  - https://www.mathworks.com/discovery/visual-inspection.html

Postup vývoje algoritmů v uvedených aplikacích

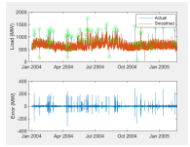
Sběr dat → **Příprava dat** → **Vývoj prediktivních a klasifikačních modelů** → **Nasazení a integrace**

Soubory

Databáze

Snímače

Práce se surovými daty



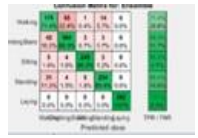
Redukce dat/ transformace

Extrakce příznaků

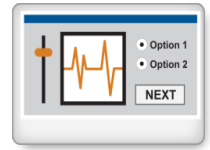
Tvorba modelu např. strojové učení

Optimalizace parametrů

Validace modelu



Aplikace pro PC

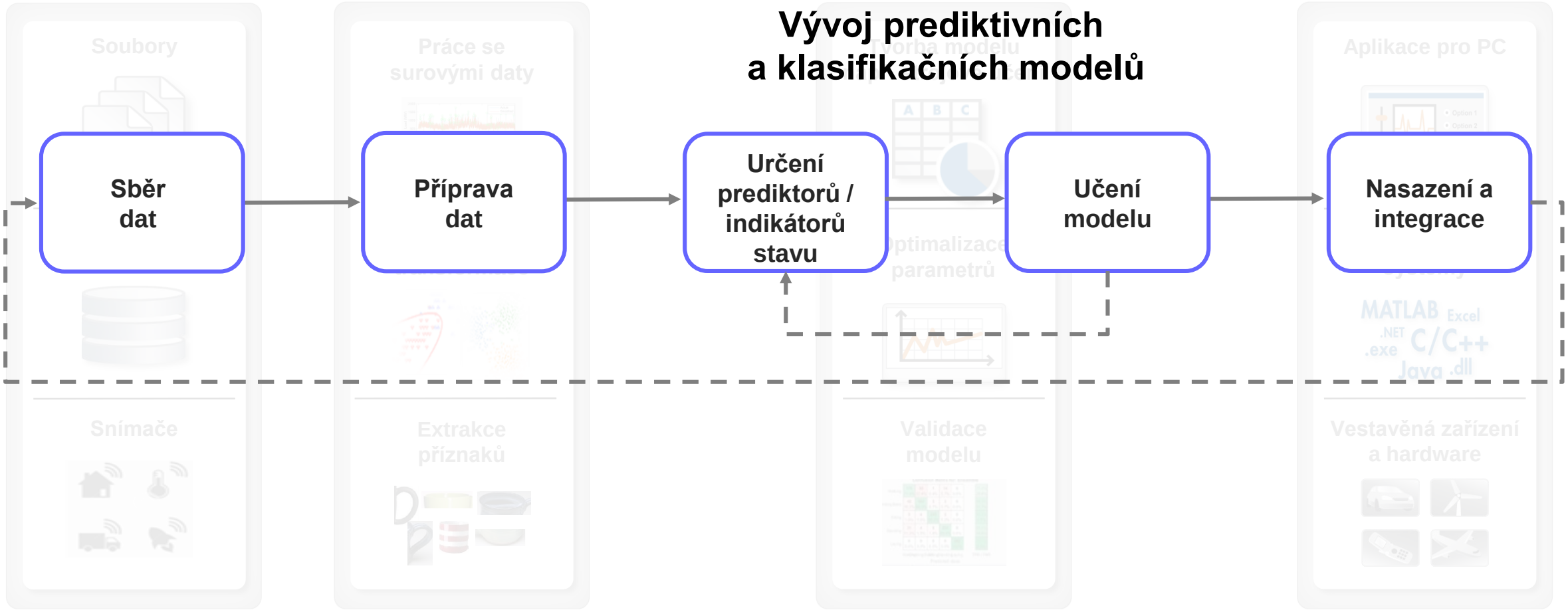


Podnikové systémy

MATLAB Excel .NET .exe C/C++ Java .dll

Vestavěná zařízení a hardware

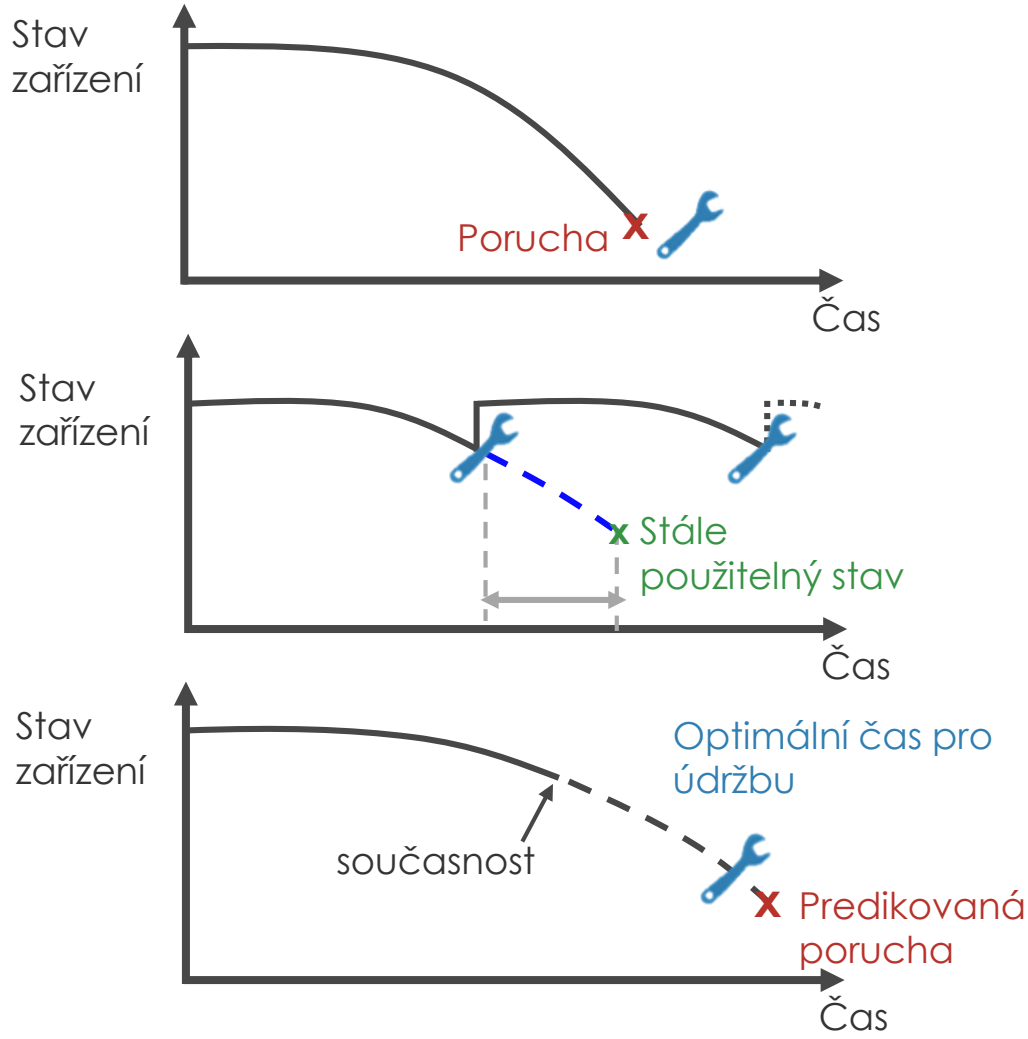
Postup vývoje algoritmů v uvedených aplikacích



PREDIKTIVNÍ ÚDRŽBA

Typy údržby

- **Reaktivní** – údržba při výskytu poruchy
- **Plánovaná** – údržba v pravidelných intervalech
- **Prediktivní** – předpověď, kdy porucha nastane

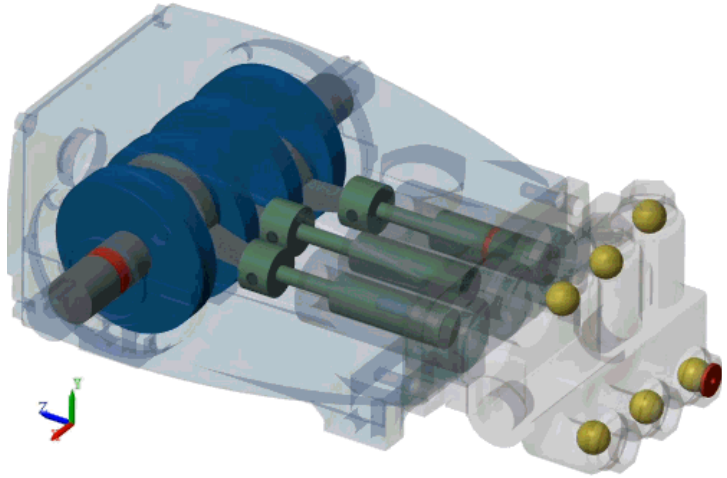


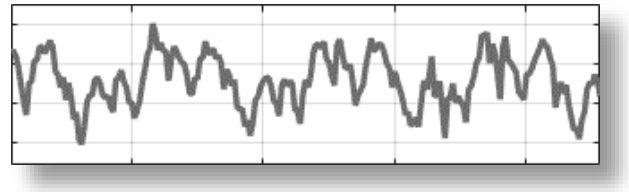
Co předchází prediktivní údržbě

- Analýza **FMEA** (Failure Mode and Effect Analysis)
- Analýza **MSA** (Measurement System Analysis)
- Plánování experimentu metodou **DoE** (Design of Experiment)

Co je cílem algoritmů pro prediktivní údržbu?

Pomoci přijímat rozhodnutí ohledně údržby na základě velkých objemů komplexních dat



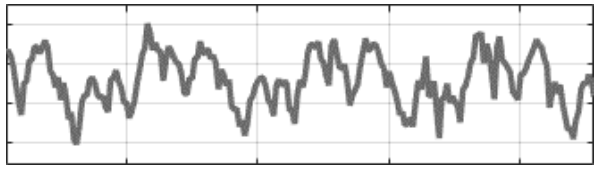


Translate

Turn off instant translation

English | Spanish | French | Čerpadlo

Čeština | English | Greek | Translate

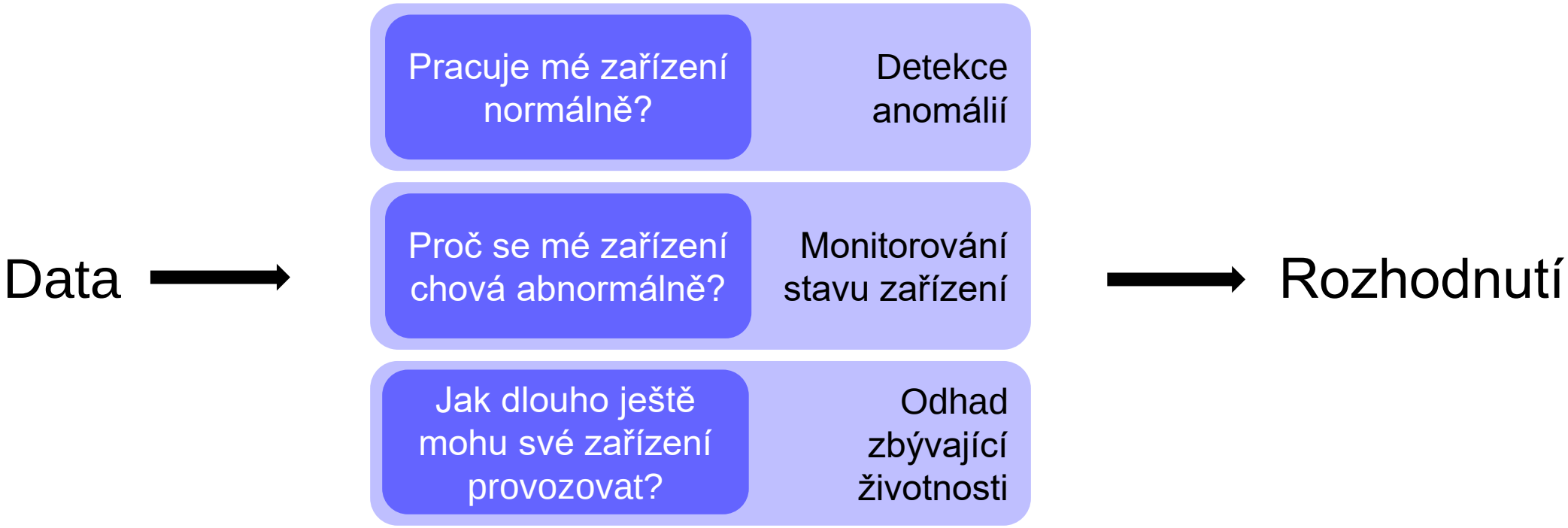


1/5000

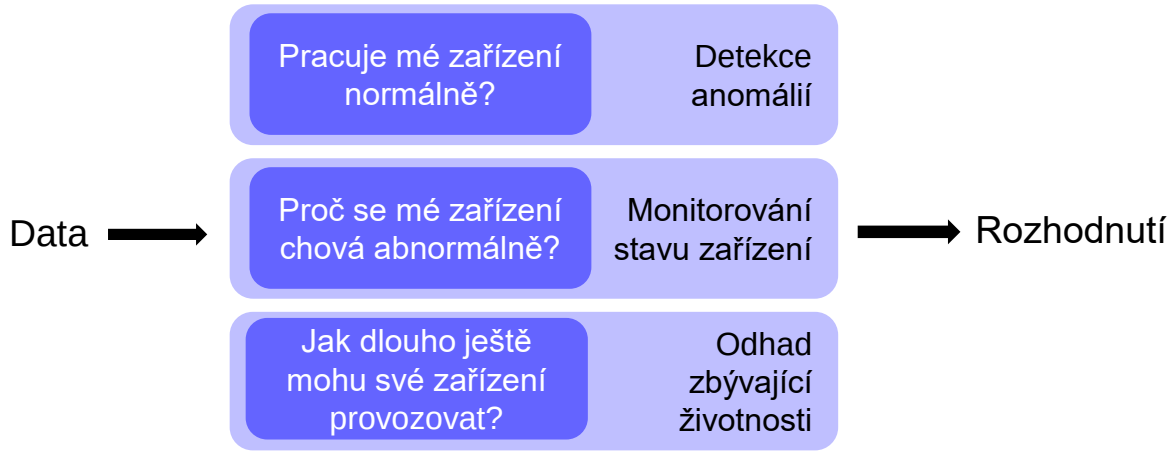
Potřebuji pomoc. Jeden z mých válců je blokovaný. Zastavím vaši výrobní linku za 15 hodin.

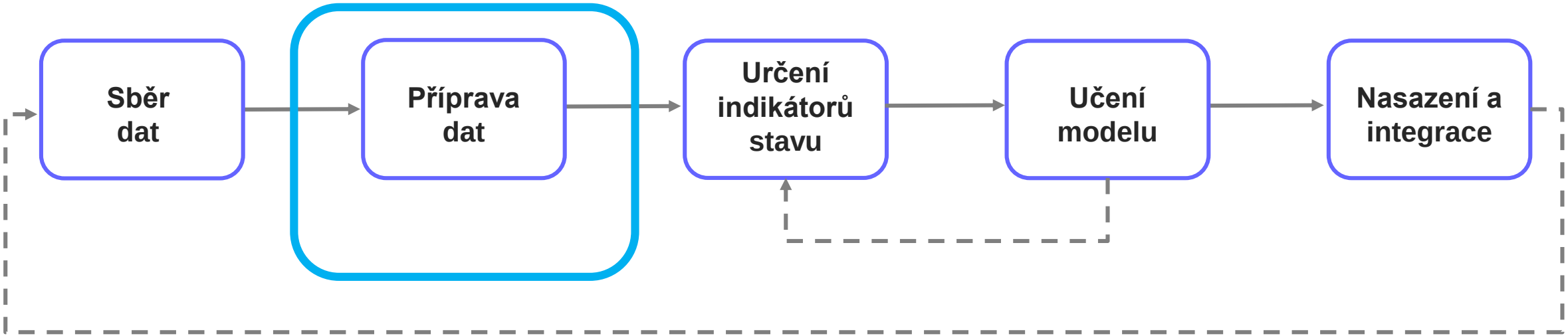
Co je cílem algoritmů pro prediktivní údržbu?

Pomáhá přijímat rozhodnutí o údržbě na základě velkých objemů komplexních dat

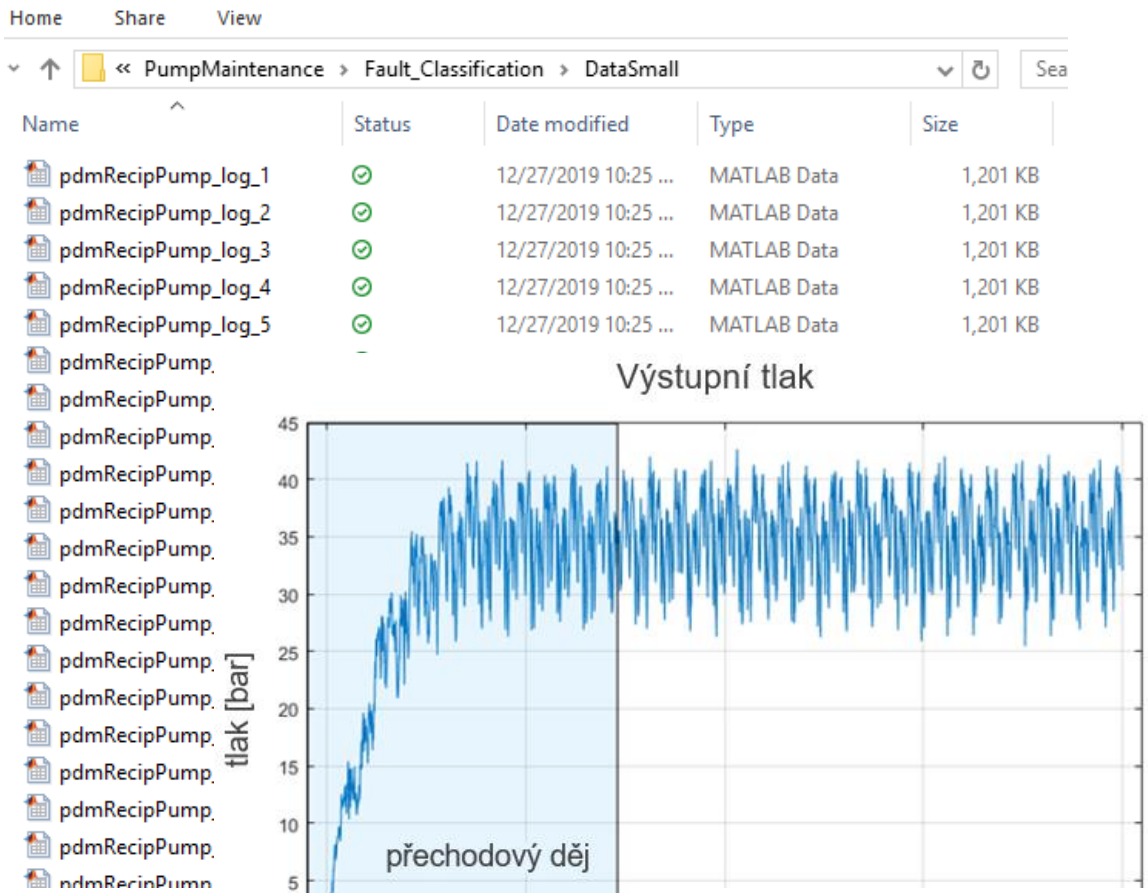


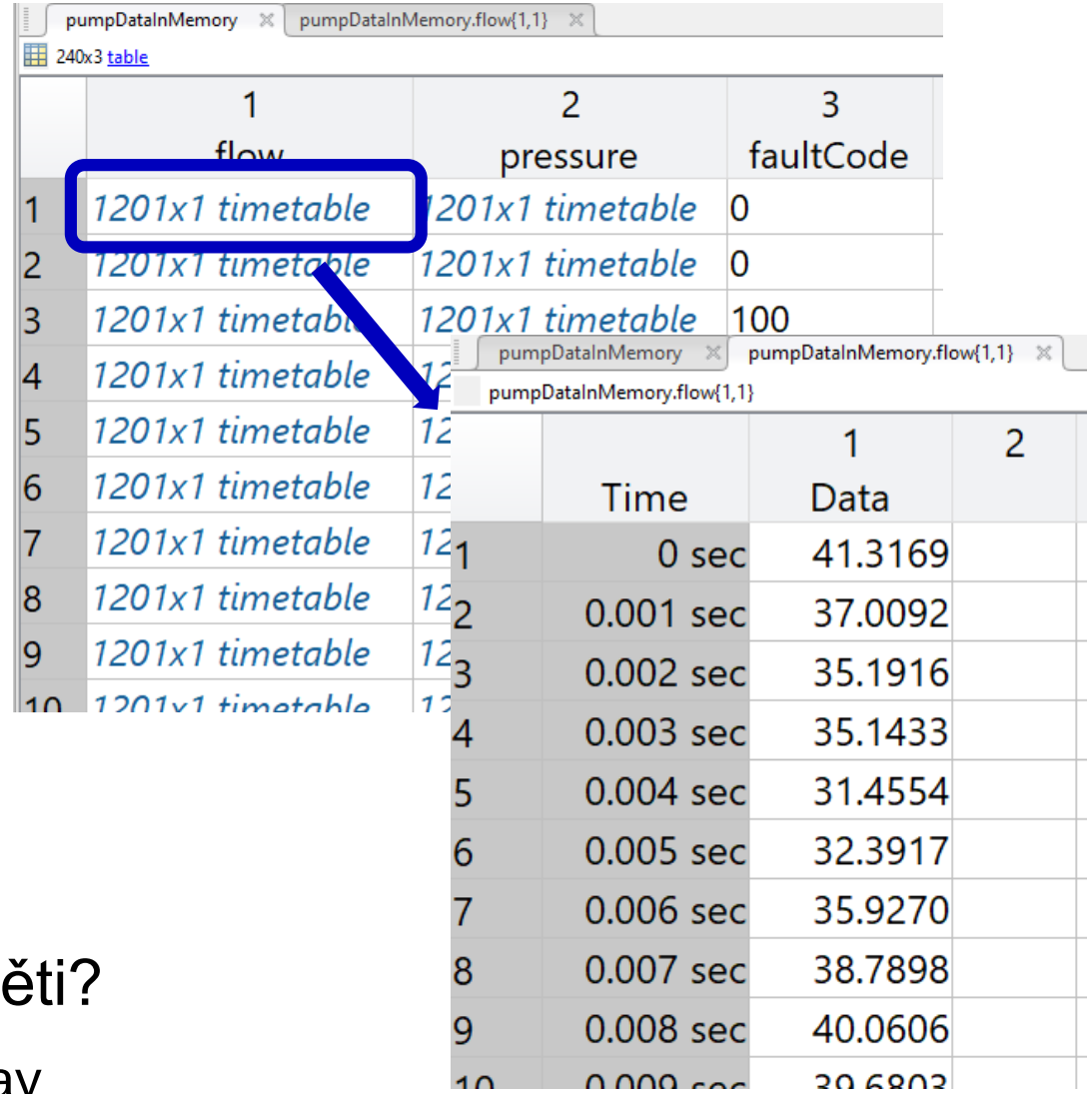
Postup vývoje algoritmů pro prediktivní údržbu





Správa a příprava dat

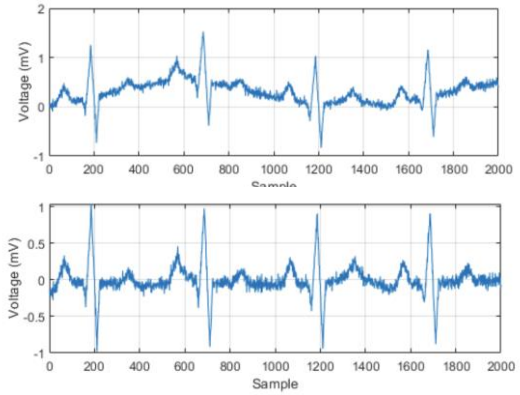




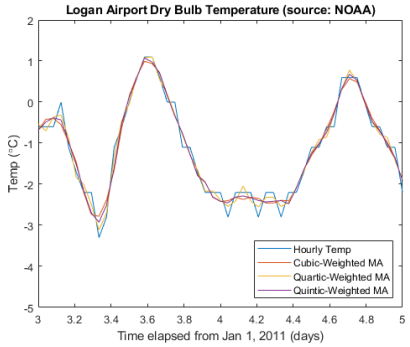
Nevejdou se data do paměti?

- využijte Datastore a Tall Array

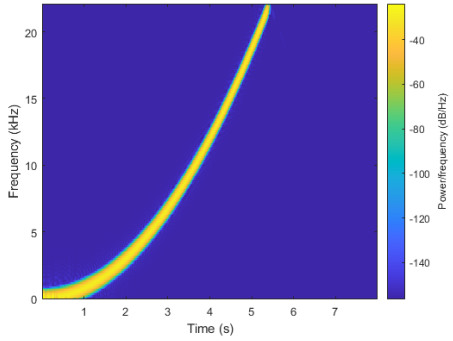
Správa a příprava dat



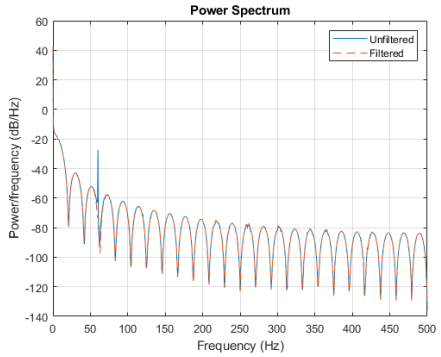
Odstranění trendu



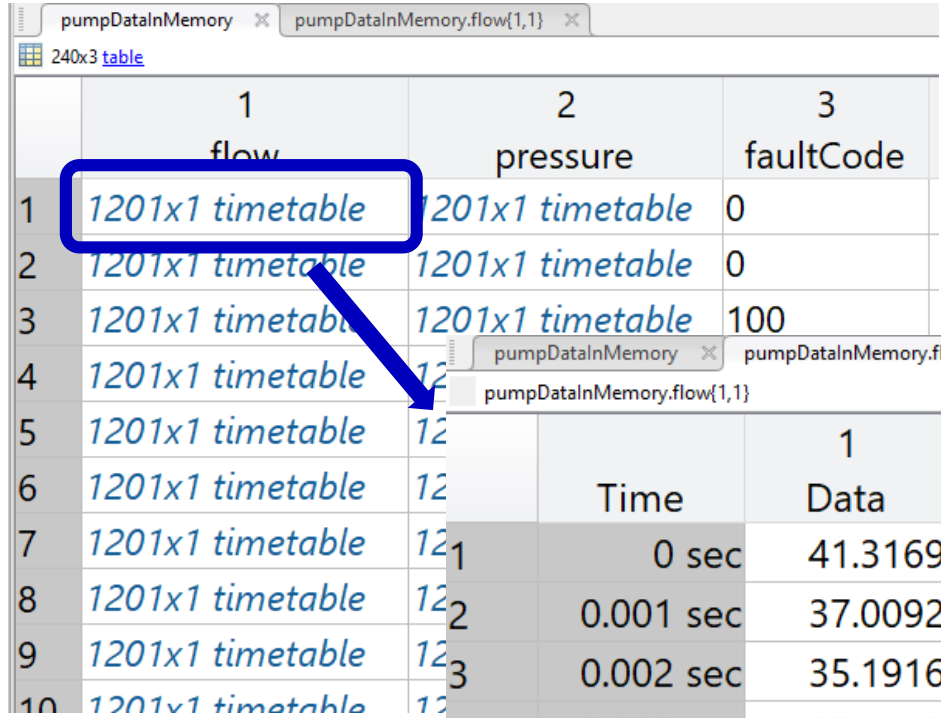
Vyhlazení



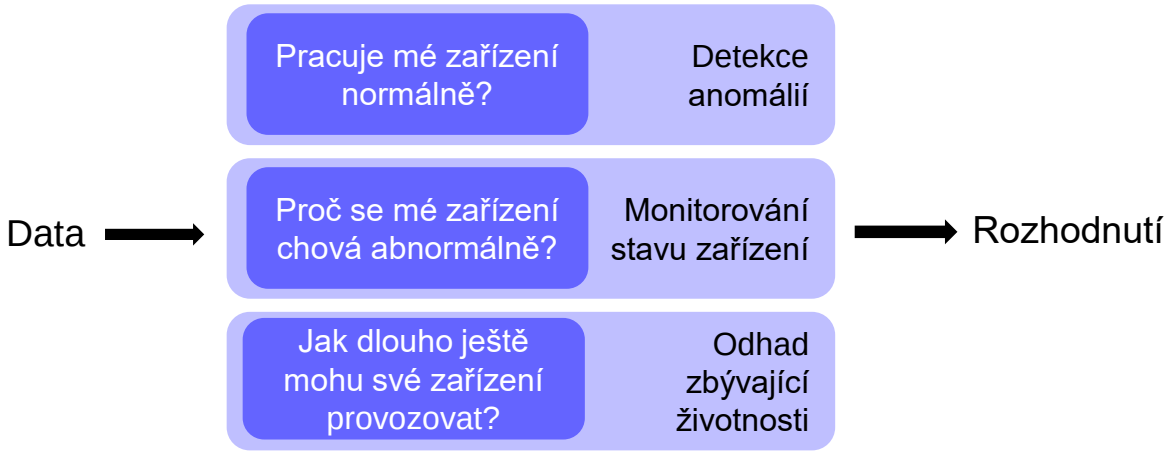
Transformace

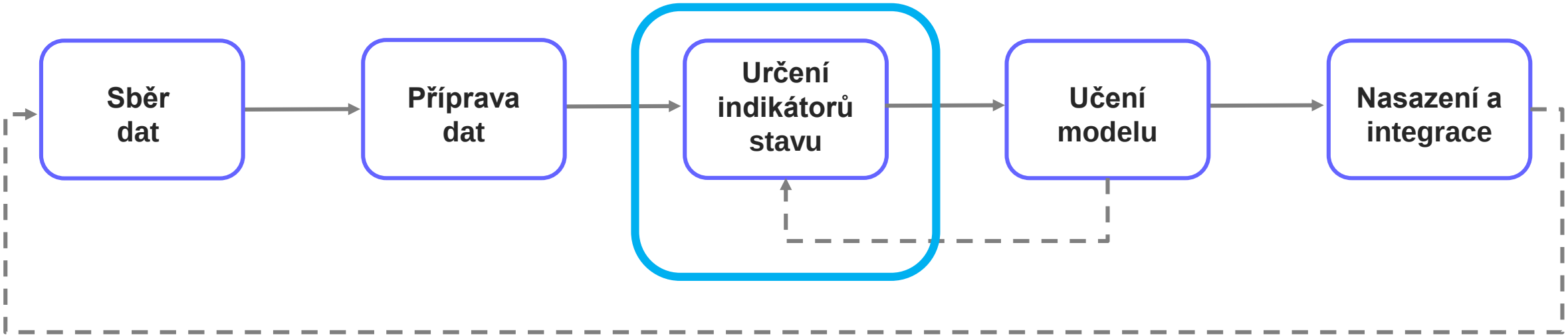


Filtrace



Postup vývoje algoritmů pro prediktivní údržbu



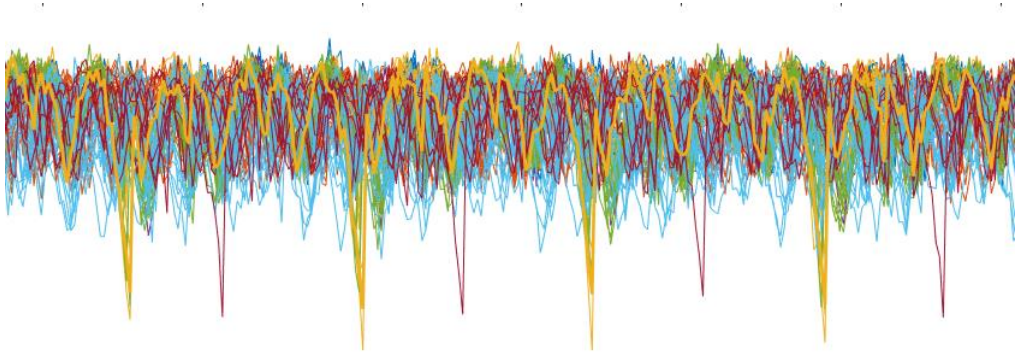


Určení indikátorů stavu zařízení

pumpDataInMemory | pumpDataInMemory.flow{1,1}

240x3 table

	1 flow	2 pressure	3 faultCode
1	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	0
2	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	0
3	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
4	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
5	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
6	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
7	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
8	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
9	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100
10	*1201x1 timetable*	*1201x1 timetable*	100



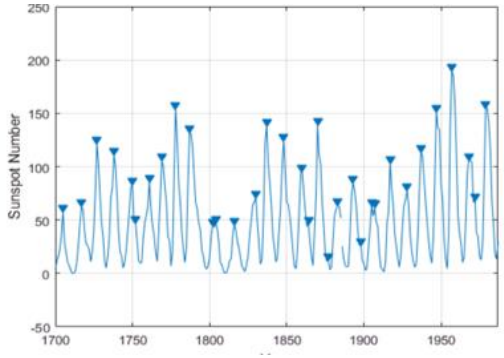
- Statistiky o signálu
  - střední hodnota
  - odstup signálu od šumu
  - obsažené frekvence
  - …
- Fúze a transformace dat
  - analýza hlavních komponent
  - regresní analýza
  - normalizace
  - …

Indikátory stavu zařízení (prediktory)

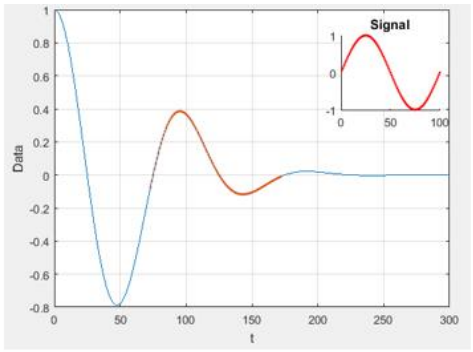
Určení indikátorů stavu zařízení

„Feature Engineering“

Časová oblast

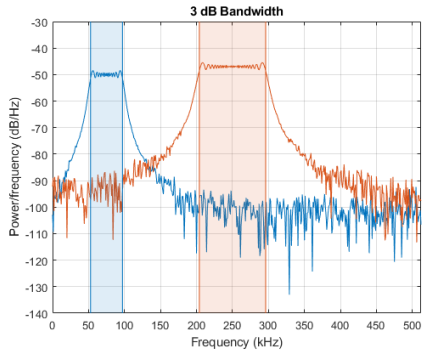


hledání vrcholů

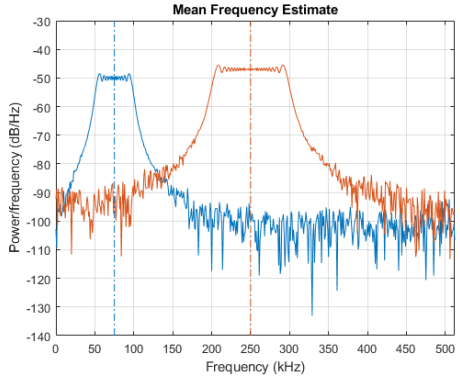


hledání vzorů

Frekvenční oblast



měření šířky pásma

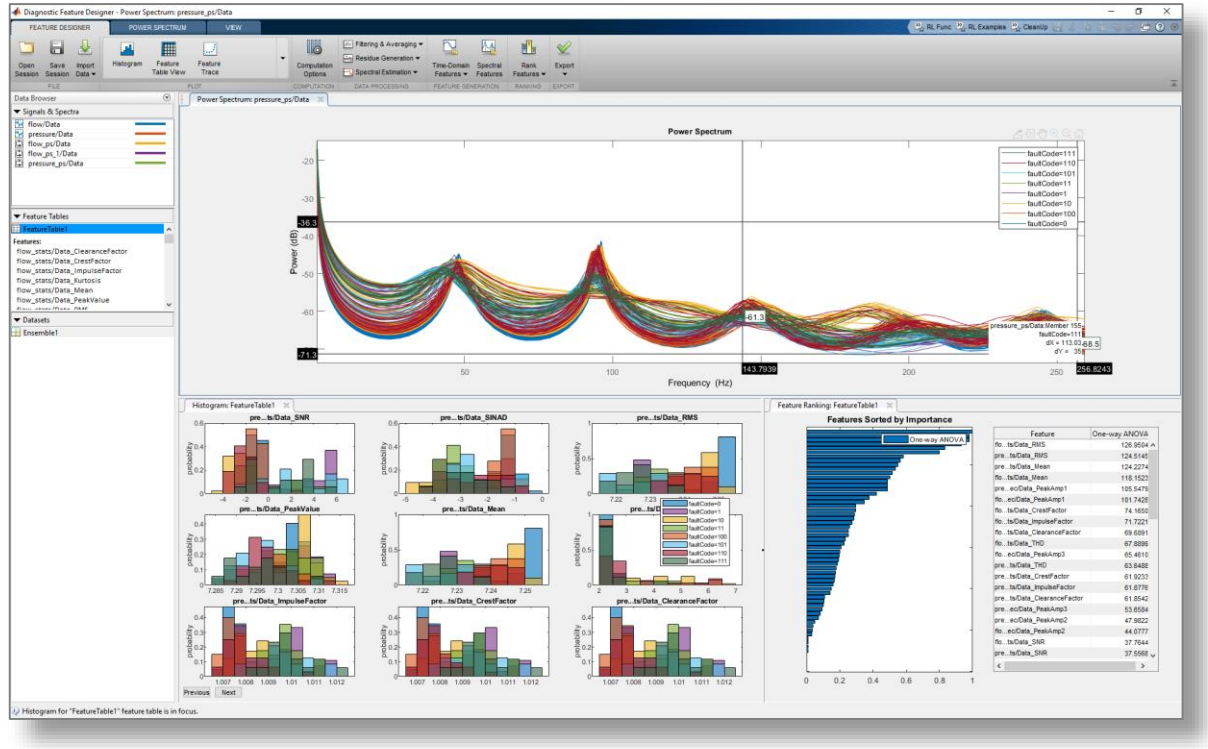


spektrální statistiky

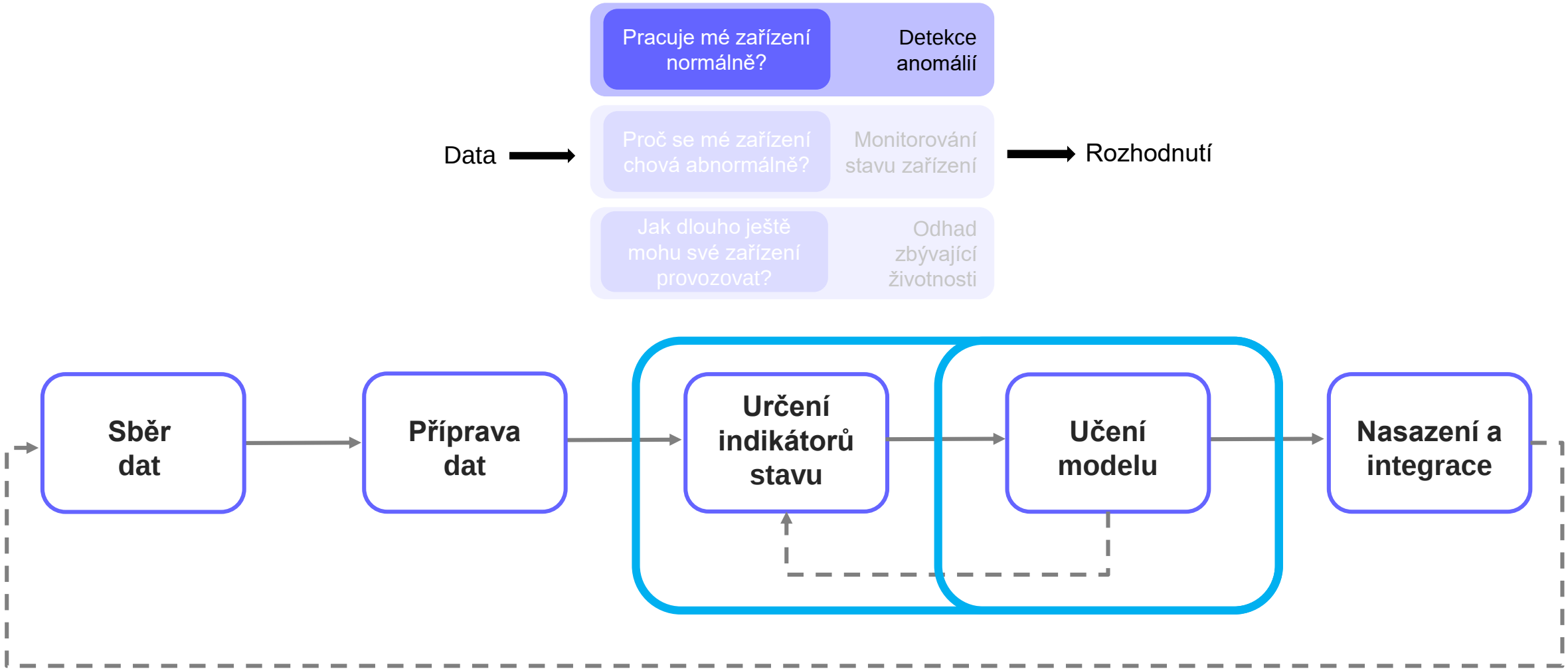
Grafická aplikace Diagnostic Feature Designer

(Predictive Maintenance Toolbox)

- Extrakce, vizualizace a hodnocení příznaků ze snímaných dat
- Využití metod statistického i dynamického modelování
- Pracuje i s daty, která se nevejdou do paměti
- Interaktivní práce bez nutnosti zápisu příkazů a skriptů

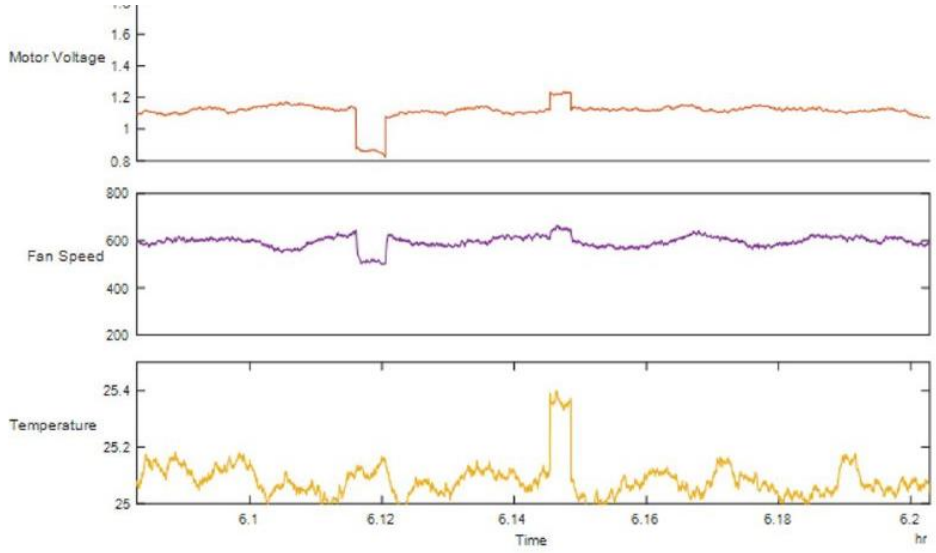


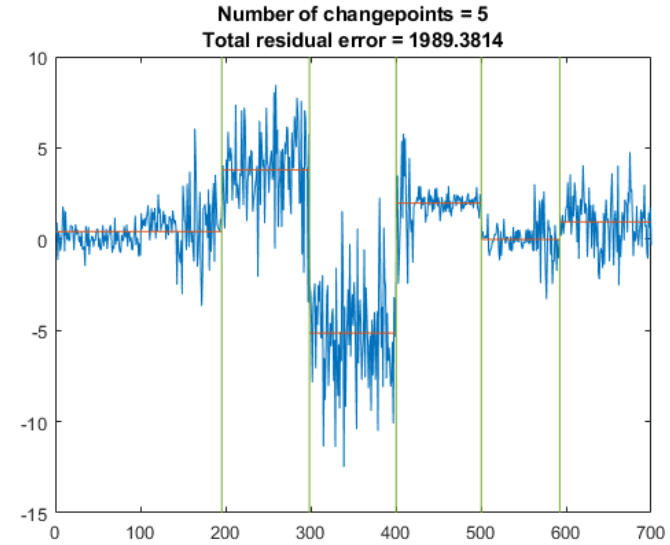
Postup vývoje algoritmů pro prediktivní údržbu

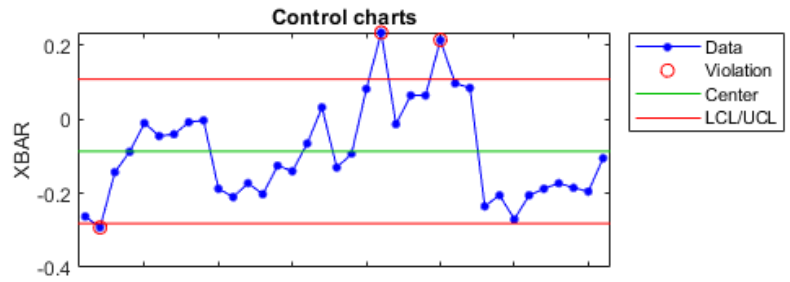


Detekce anomálií – otázky a řešení

- **Jsou anomálie rozeznatelné v surových datech?**



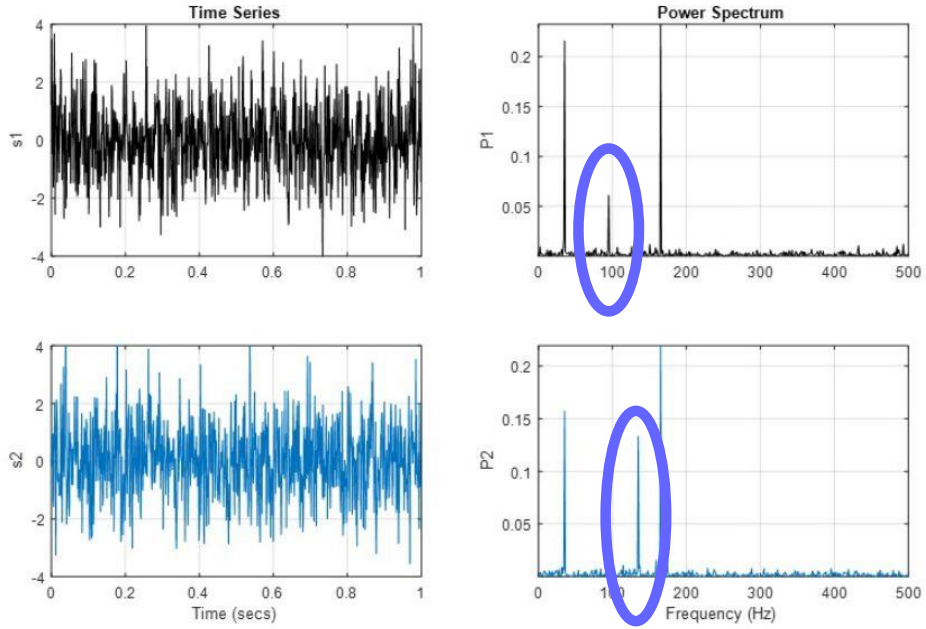




- Může postačovat jednoduchý algoritmus, např.:
  - detekce náhlých změn v signálu (`findchangepts`)
  - regulační diagram (`controlchart`)
  - ...

Detekce anomálií – otázky a řešení

- **Jsou anomálie rozeznatelné odvozených proměnných?**

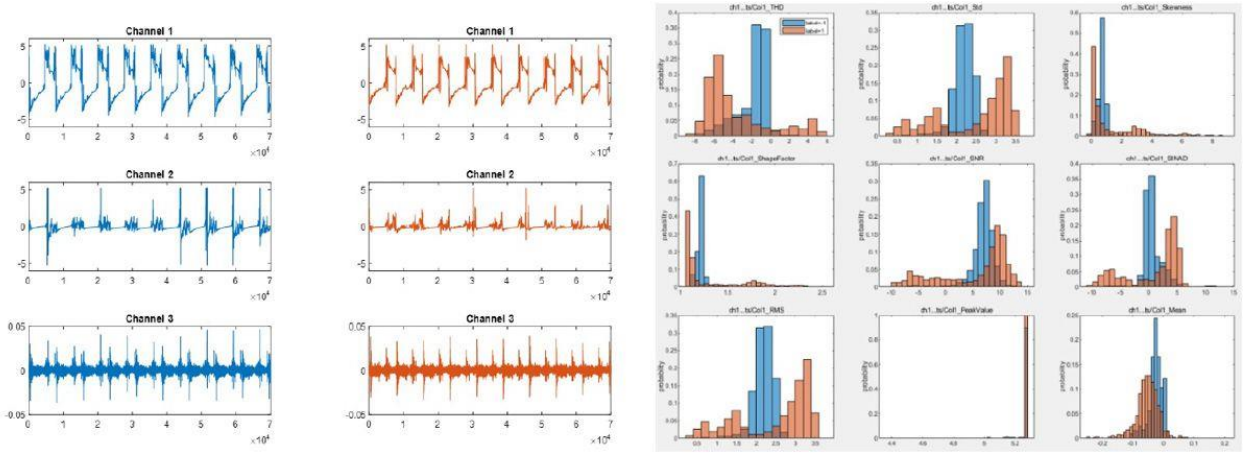


  - např. frekvenční transformace

- Použít odvozené proměnné jako prediktory pro klasifikační algoritmy
  - označená data z normálního i abnormálního provozu + machine learning / deep learning

Detekce anomálií – otázky a řešení

- **Je možné statisticky separovat data z normálního provozu od anomálií?**
  - anomálie nemusí být rozeznatelné z jediného signálu



- Anomálie mohou být rozeznatelné v kombinaci několika signálů
  - výpočet nových proměnných odvozených z několika měřených signálů
  - označená data z normálního i abnormálního provozu
  - použít odvozené proměnné jako prediktory pro klasifikační algoritmy (ML / DL)

Detekce anomálií – otázky a řešení

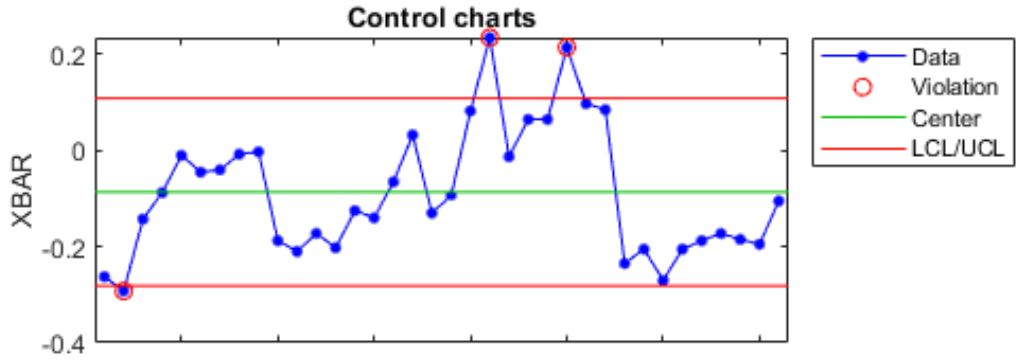
- **Co když nevíme, jak anomálie vypadají?**
  - k poruchám a anomáliím dochází v nákladných provozech zřídka
  - údajů o anomáliích je málo nebo nejsou k dispozici vůbec

- Lze využít metody pro „pouze normální“ data
  - **Prahování**
  - **One-Class Support Vector Machine**
  - **Isolation Forest**
  - **Autoencoder**

Detekce anomálií – metody pro pouze normální data

- **Prahování**

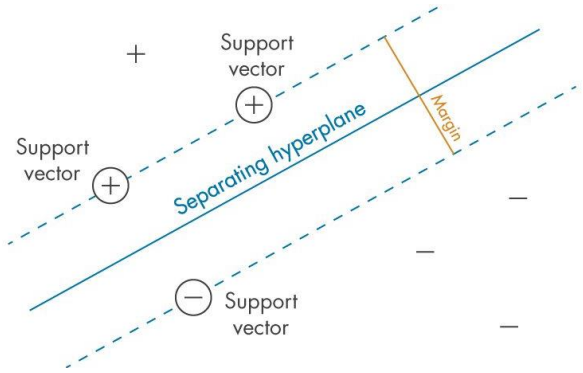
- Identifikuje anomálii když data překročí zvolený práh na statistické metrice
  - směrodatná odchylka v datových oknech z časové řady
  - regulační diagram signálu
  - detekce náhlých změn
  - robustní odhad pravděpodobnostního rozdělení (anomálie je vzorek na okraji)



Detekce anomálií – metody pro pouze normální data

- **One-Class Support Vector Machine**

- Klasifikační algoritmus SVM trénovaný jen na normálních datech se chová jako model normálního chování
- Sleduje se výstupní metrika (score) přiřazení vzorku této třídě
  - klasifikace se vzorkem z normálního chování má vysokou hodnotu score
  - klasifikace se vzorkem z abnormálního chování má nízkou hodnotu score



Detekce anomálií – metody pro pouze normální data

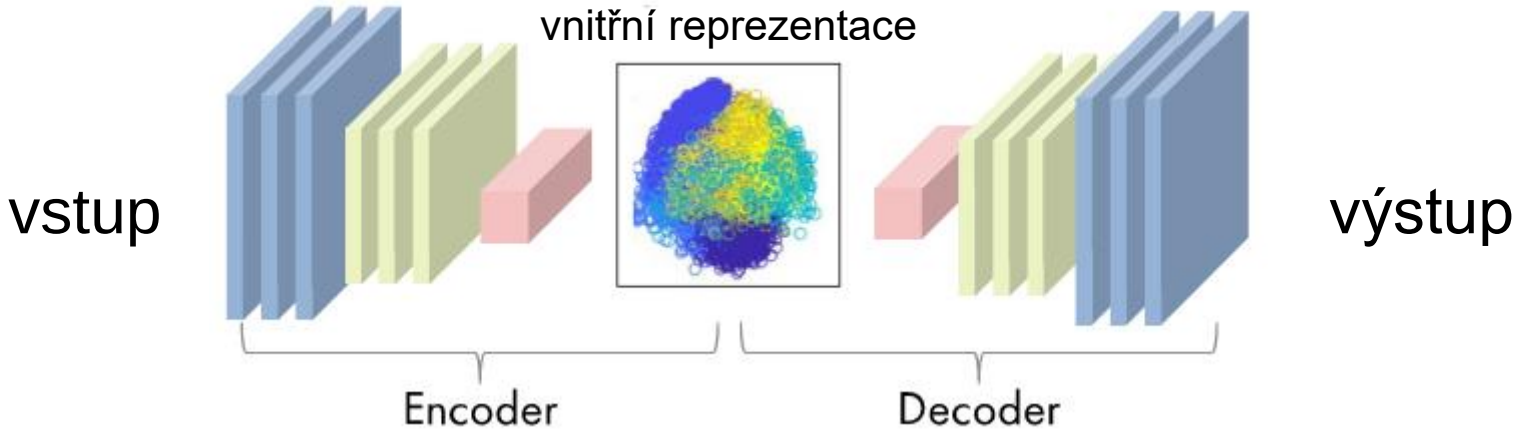
- **Isolation Forest**

- Algoritmus Isolation Forest izoluje každé pozorování až do úrovně listu
- Měřítko anomálie je průměrná hloubka vzorku
  - počet rozhodování při průchodu vzorku stromem
- Normální vzorky prochází méně rozhodnutími než anomální

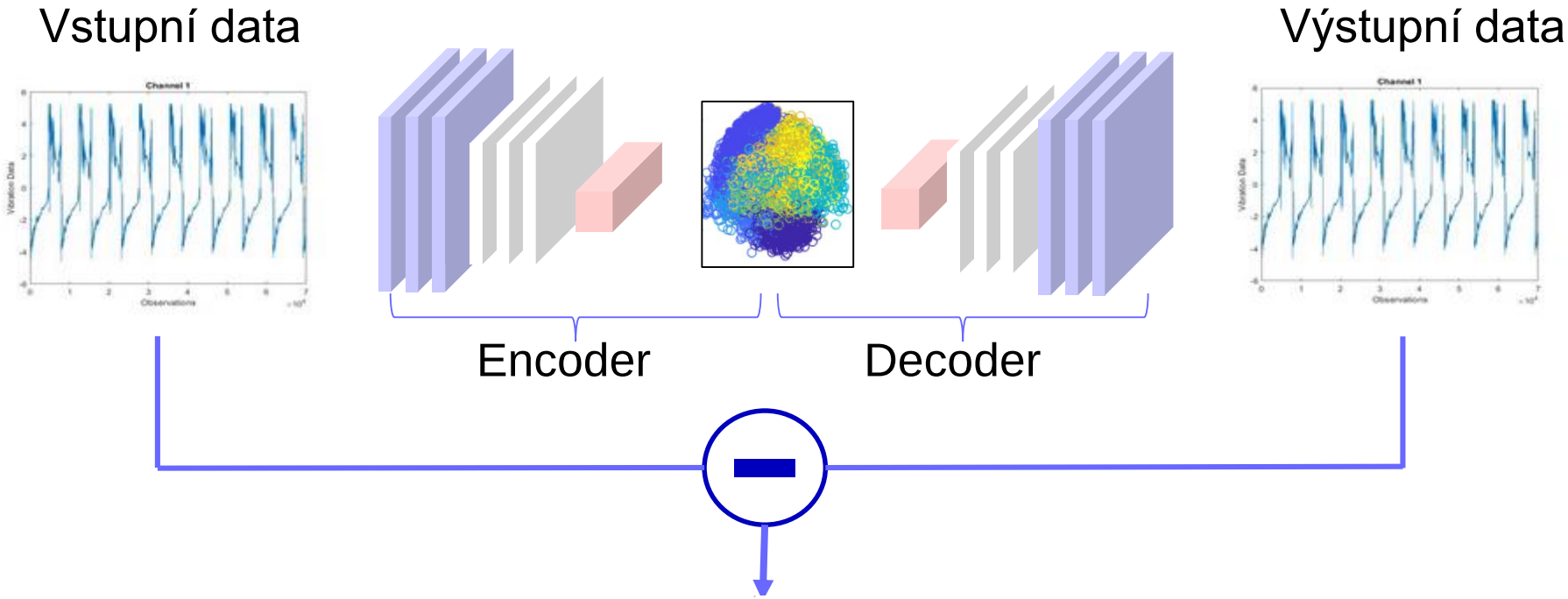
Detekce anomálií – metody pro pouze normální data

- **Autoencoder**

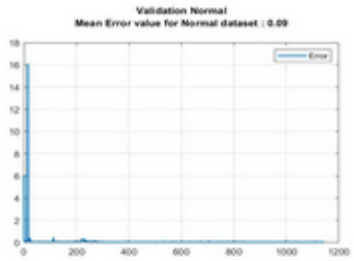
- Hluboká neuronová síť složená ze 2 částí: encoder a decoder
- Učení pouze s normálními daty, kdy je cílem rekonstruovat vstupní data
  - normální data rekonstruována věrně
  - velká odchylka v rekonstrukci indikuje anomálii



Detekce anomálií – nasazení autoencoderu

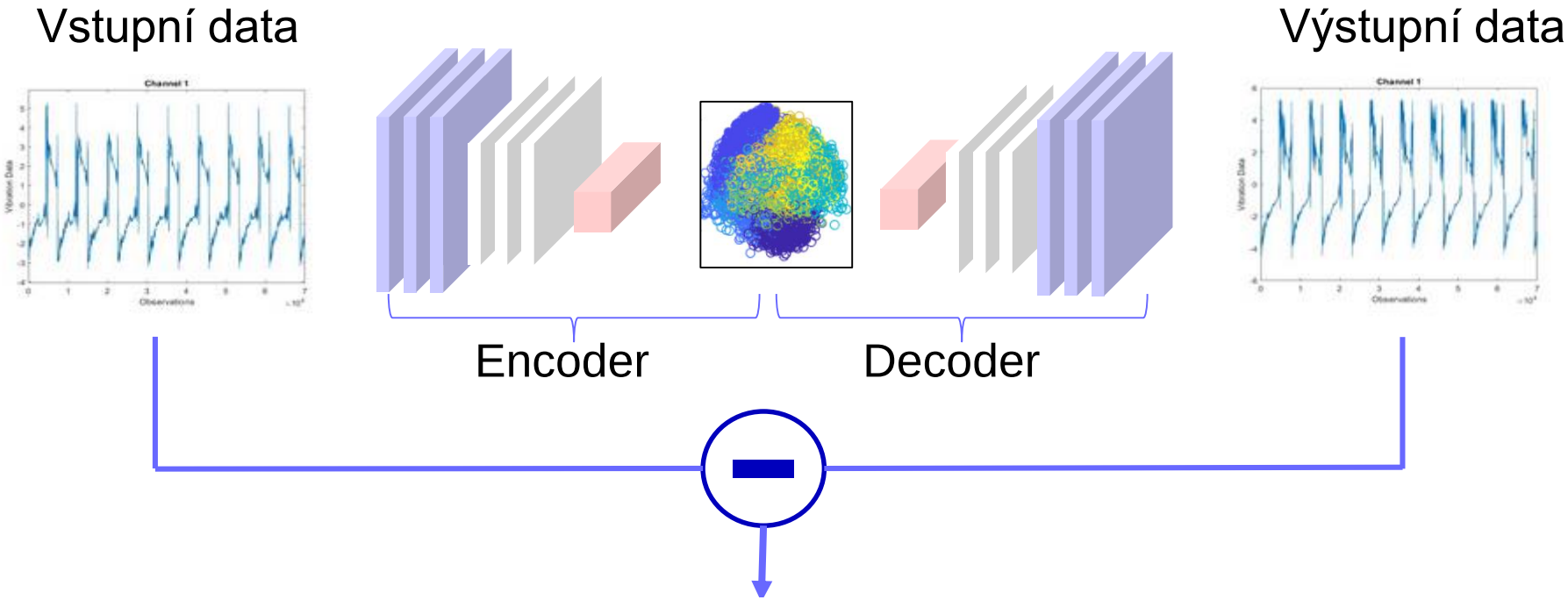


Normální data
→ rekonstruována korektně
→ rozdíl jde k nule



Odchylka

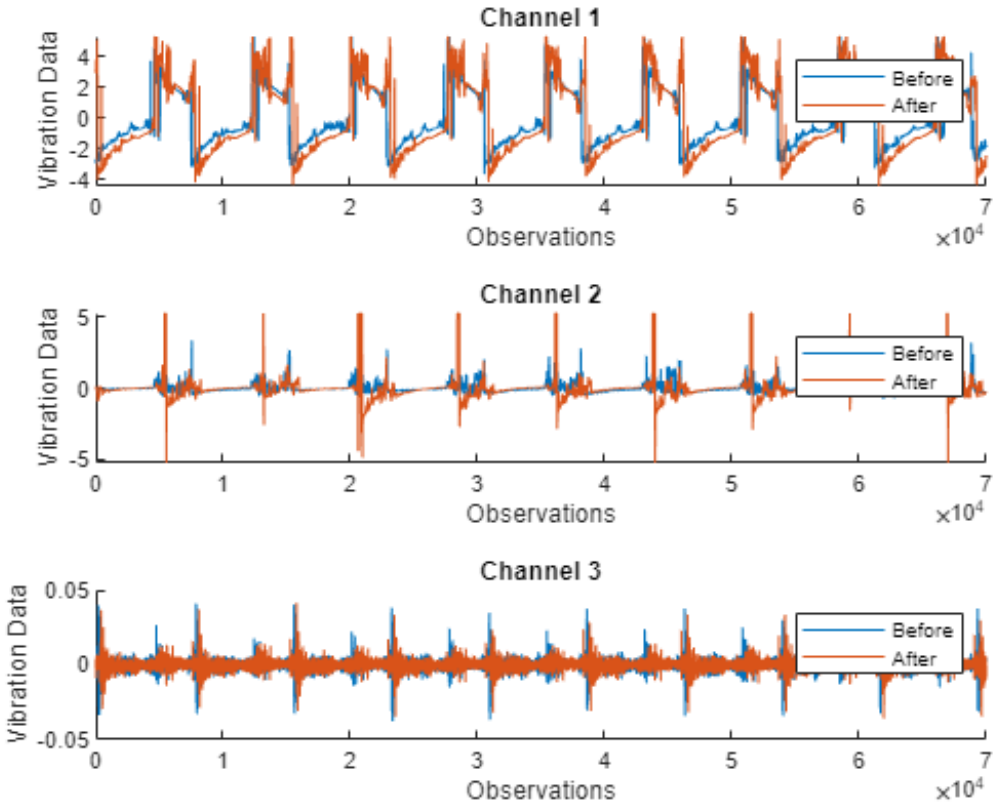
Detekce anomálií – nasazení autoencoderu

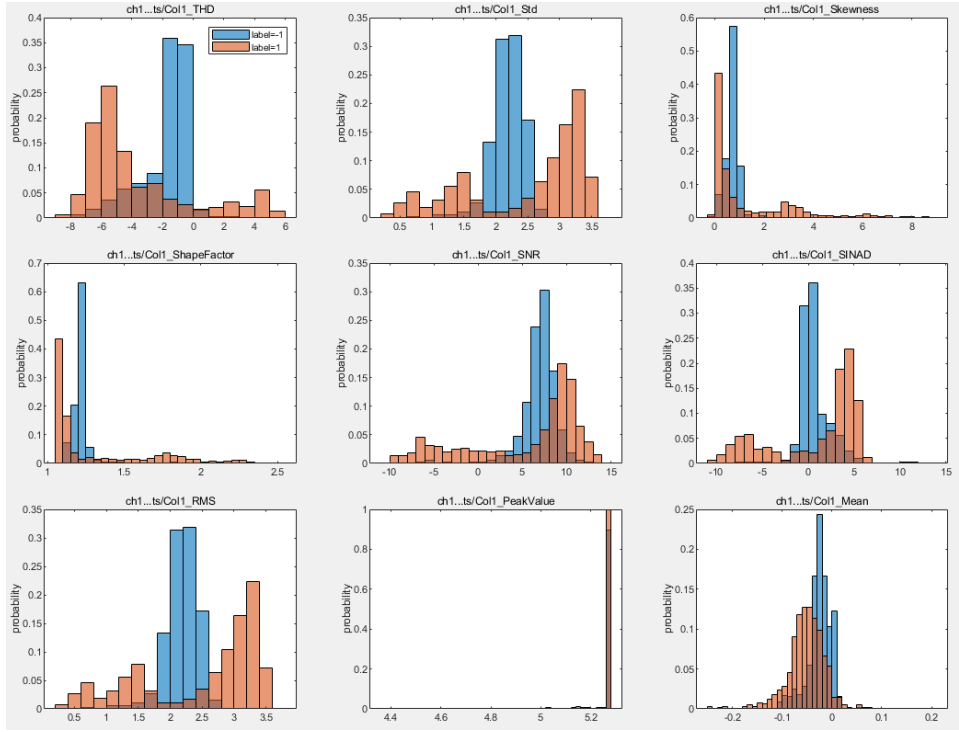


Abnormální data
→ rekonstrukce není korektní
→ rozdíl je nenulový

Odchylka

Příklad: Detekce anomálií pomocí analýzy vibrací



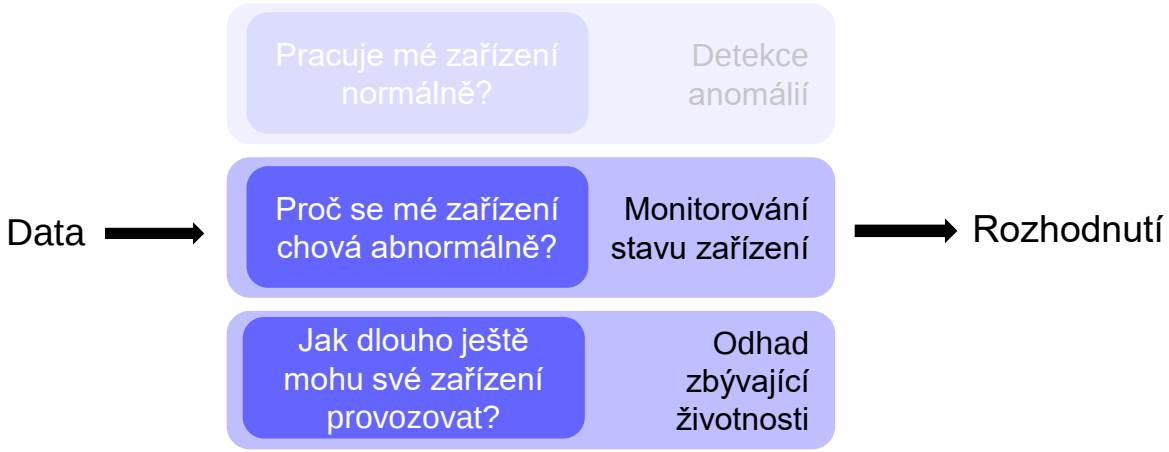


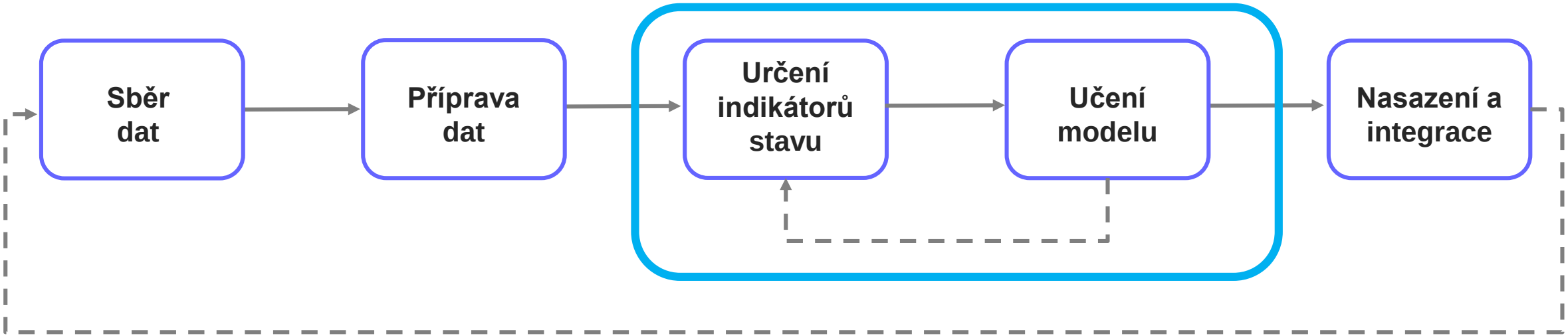
https://www.mathworks.com/help/predmaint/ug/anomaly-detection-using-3-axis-vibration-data.html

Detekce anomálií – souhrn

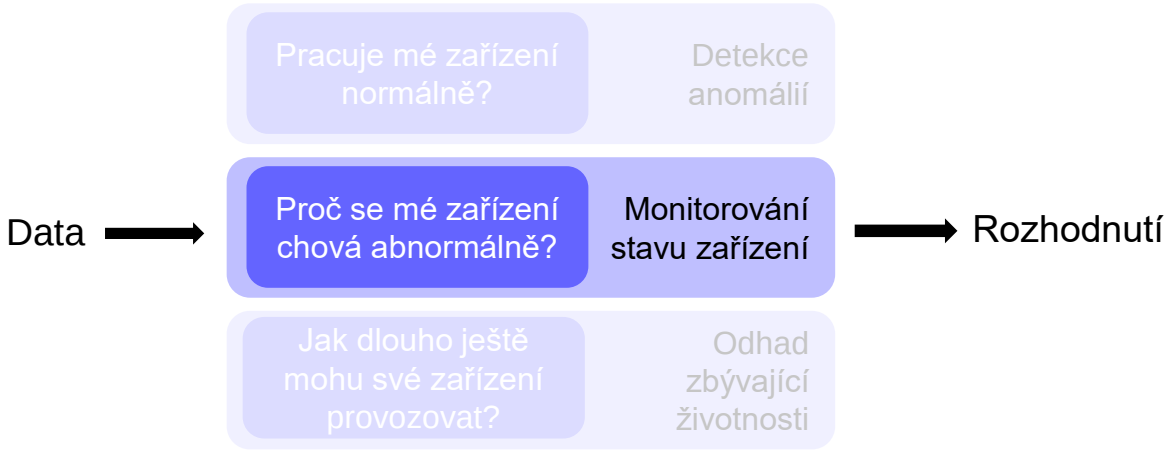
- Detekce anomálií pomáhá detekovat
  - odlehlé hodnoty
  - odchylky od normálního chování
  - neočekávané chování
- Před detekcí anomálií je často třeba extrahovat z dat prediktory
- Pokud je k dispozici dostatečné množství označených dat včetně anomálií
  - lze využít supervised learning
- Pokud jsou k dispozici převážně jen data z normálního provozu
  - je vhodná aplikace jedné ze specializovaných technik pro pouze normální data

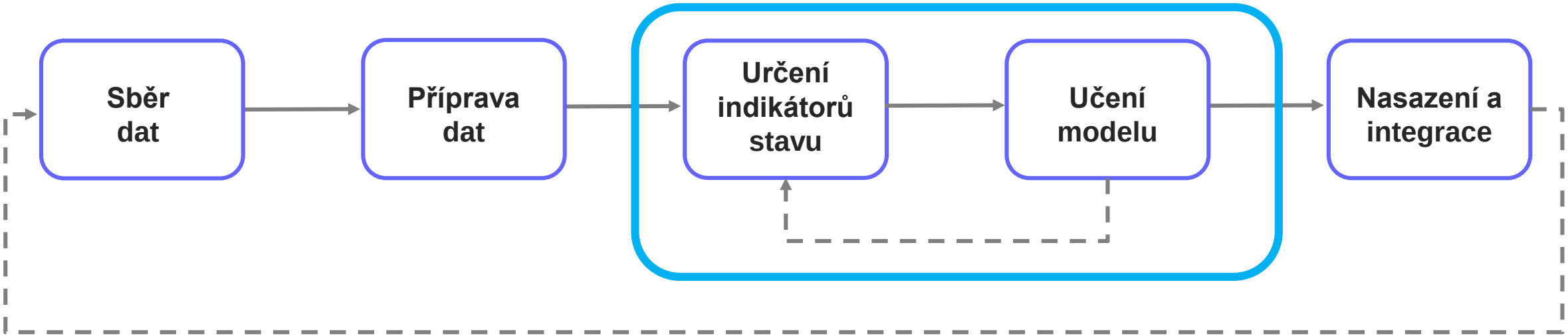
Postup vývoje algoritmů pro prediktivní údržbu





Scénář 1: Klasifikace poruchových stavů





Klasifikace poruchových stavů s využitím strojového učení (AI)

Strojové učení

Učení s učitelem

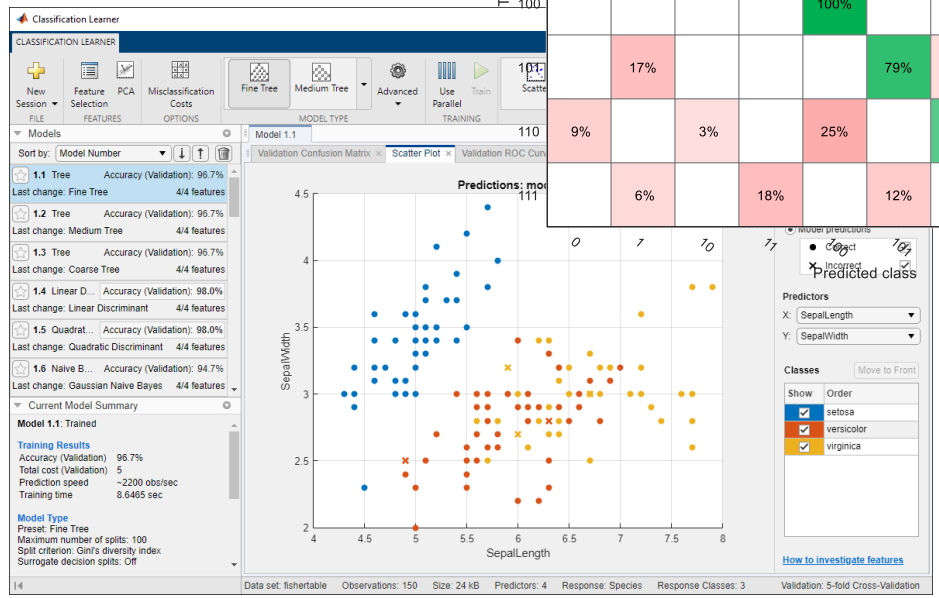
Regrese

Klasifikace

Vývoj prediktivního modelu založeného na vstupních i výstupních datech

Učení bez učitele

Odhalení vnitřní reprezentace pouze ze vstupních dat



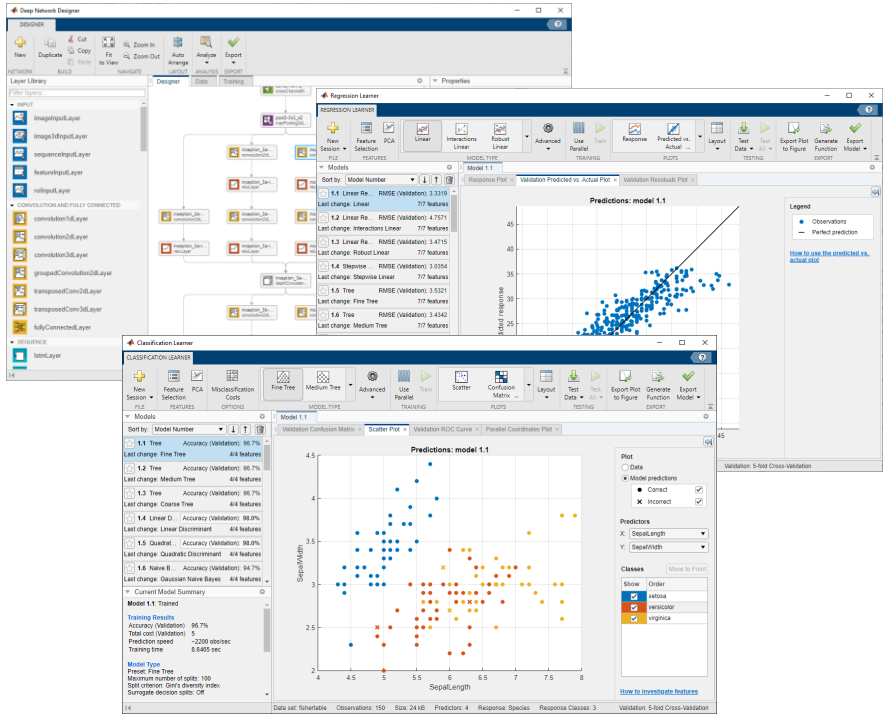
3 cesty k vytvoření AI modelu v prostředí MATLAB

```
inputSize = 12;
numHiddenUnits = 100;
numClasses = 9;

layers = [ ...
    sequenceInputLayer(inputSize)
    bilstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','last')
    fullyConnectedLayer(numClasses)
    softmaxLayer
    classificationLayer]
```

`fitcauto / fitrauto`

Funkce, psaní skriptů



Interaktivní návrh prostřednictvím grafických aplikací

Transfer learning s existujícími modely

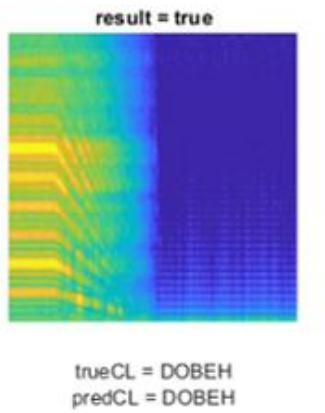
Příklad: Umělá inteligence pro on-line vibrodiagnostiku

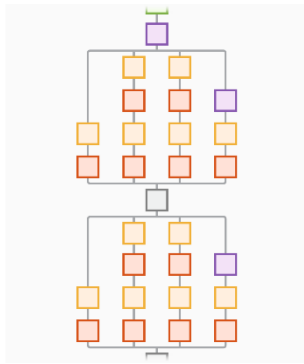
- Wikov MGI, *Jan KŘEPELA*
  - https://www.humusoft.cz/blog/20210826-umela-inteligence-pro-vibrodiagnostiku/

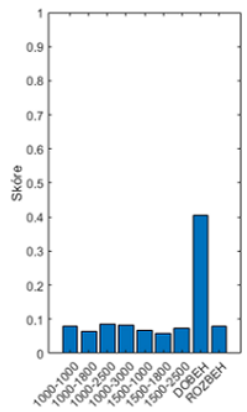
Úprava dat a extrakce příznaků

Využití deep learningu metodou „transfer learning“

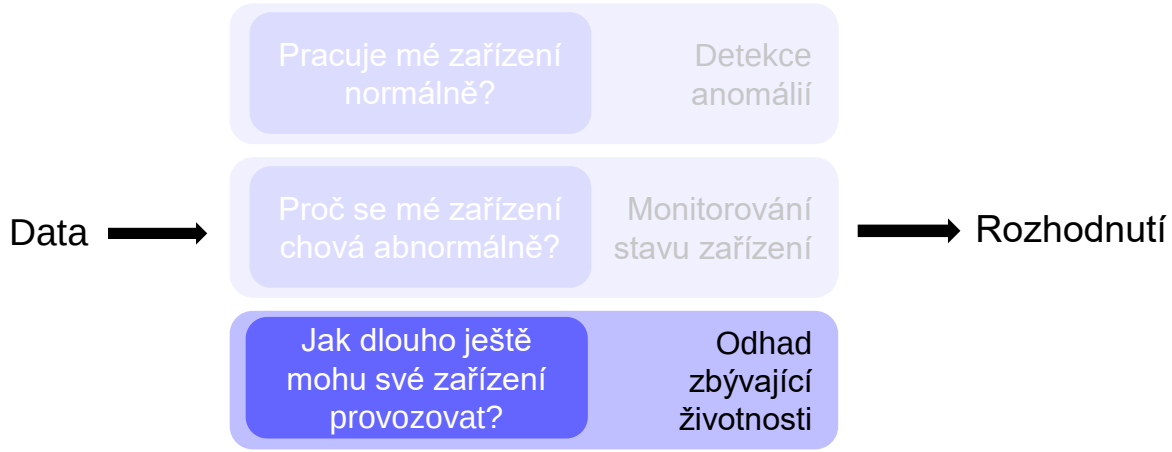
Časově-frekvenční transformace

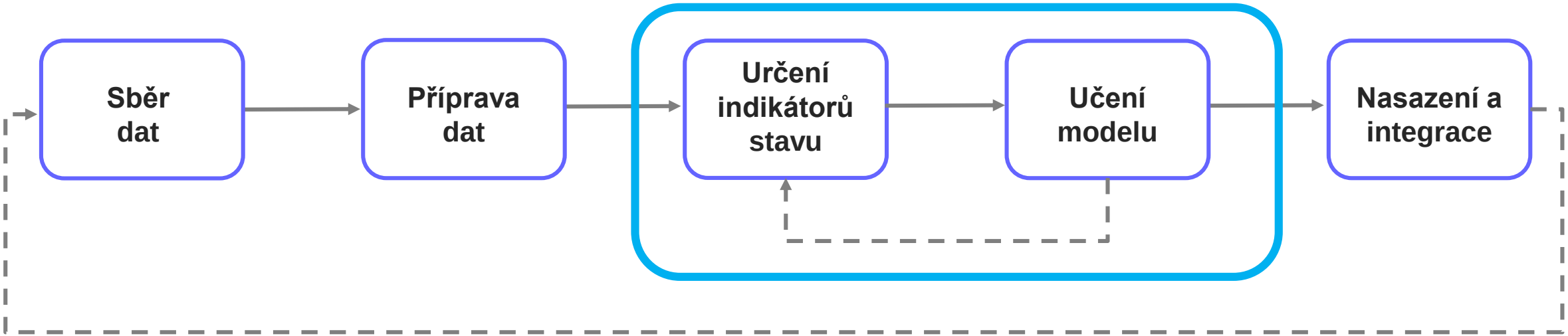




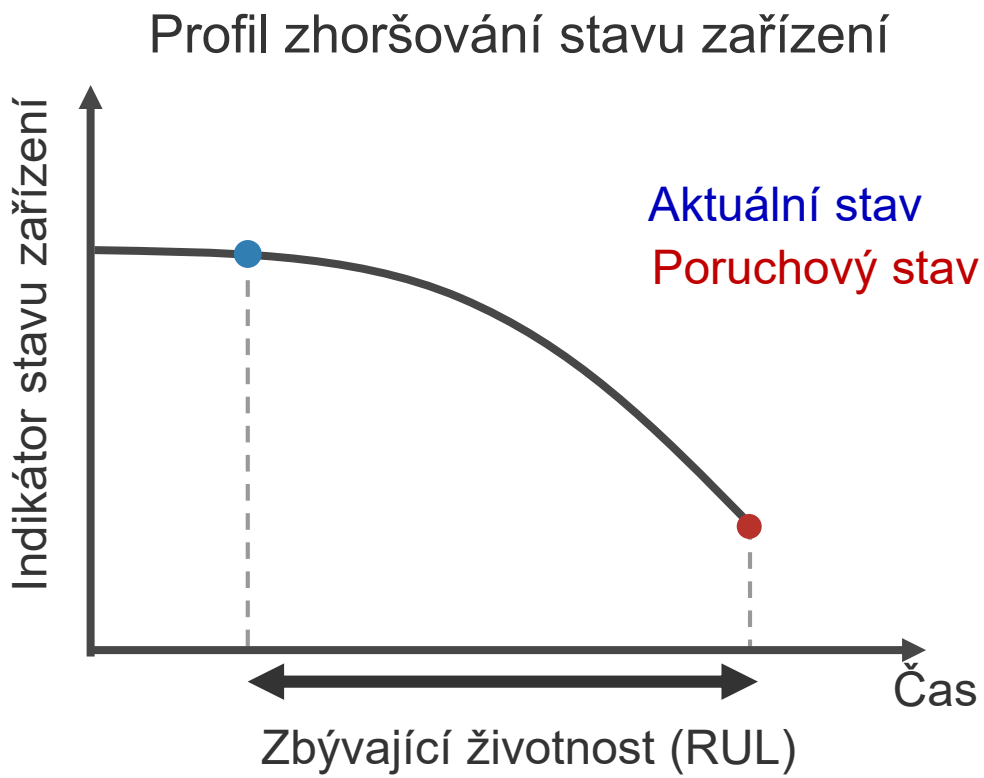


Scénář 2: Předpověď zbývající životnosti zařízení (RUL)





Co je zbývající životnost zařízení (RUL)?



[počet dní]

[km]

[cykly]

⋮

Metody výpočtu RUL a kdy je použít

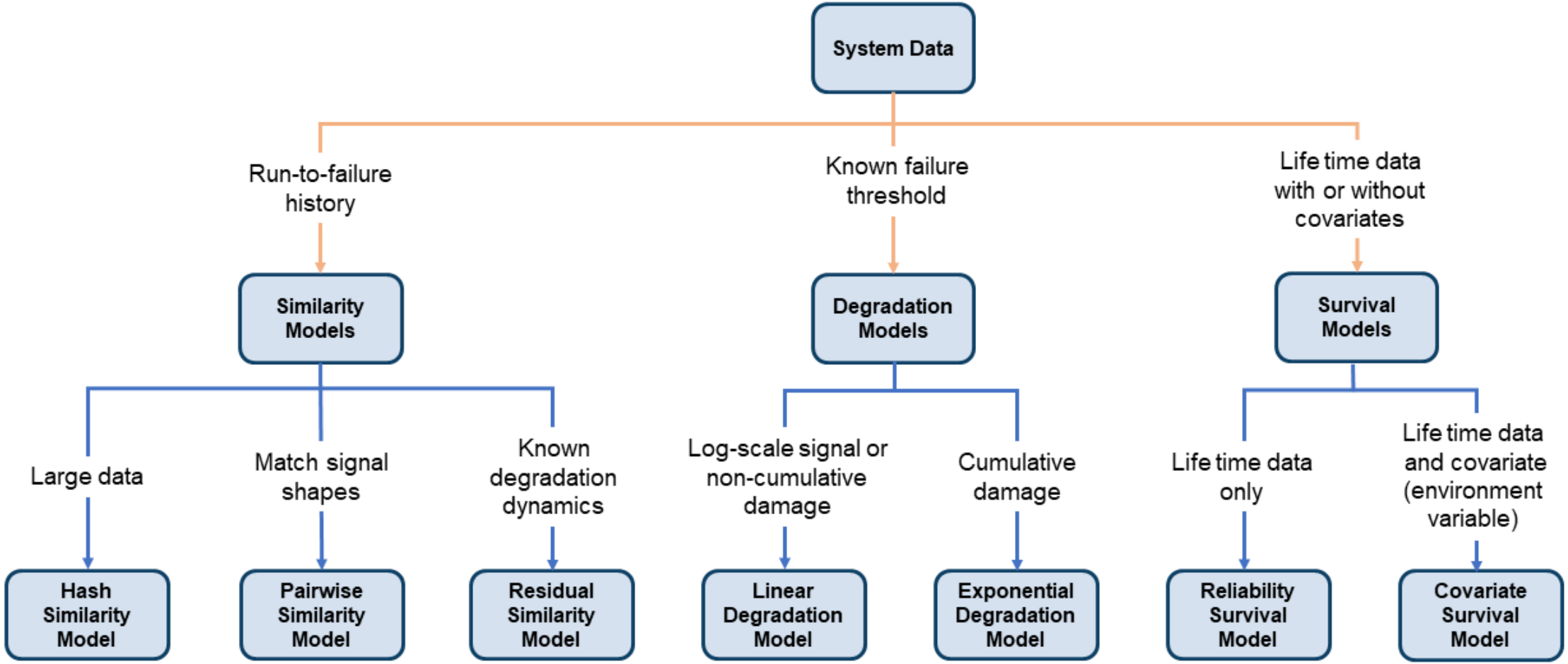
Požadavek: je třeba vědět, co tvoří data o poruchách

Data ze zařízení	Model odhadu RUL
	Modely podobnosti (similarity models)
	Degradační modely (degradation models)
	Modely přežití (survival models)

N: Normální stav
F: Porucha

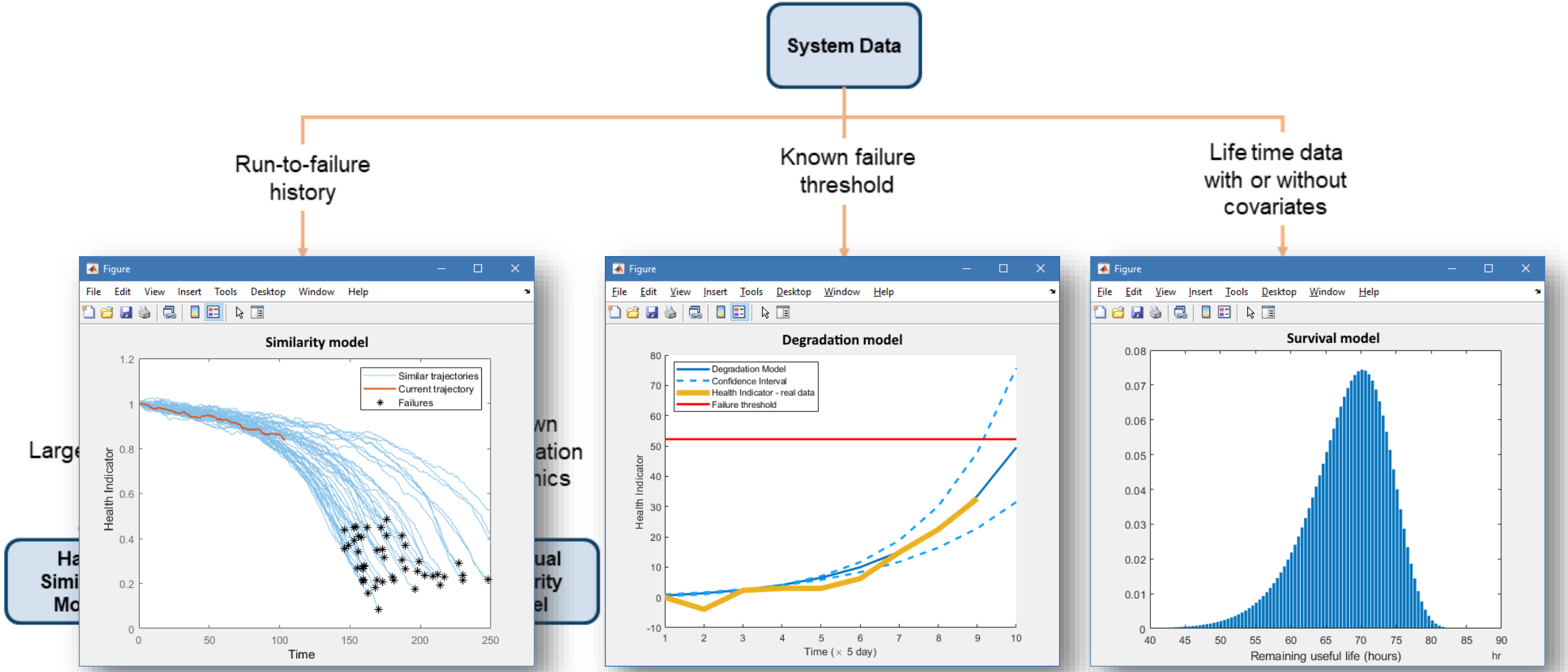
Metody výpočtu RUL a kdy je použít

Požadavek: je třeba vědět, co tvoří data o poruchách



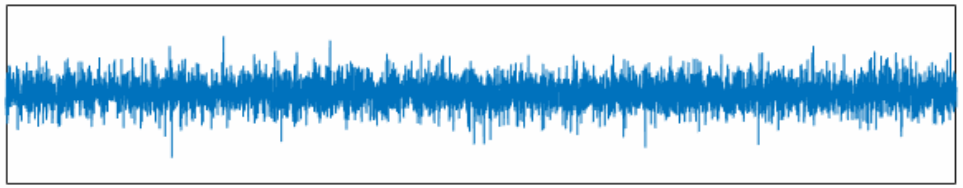
Metody výpočtu RUL a kdy je použít

Požadavek: je třeba vědět, co tvoří data o poruchách



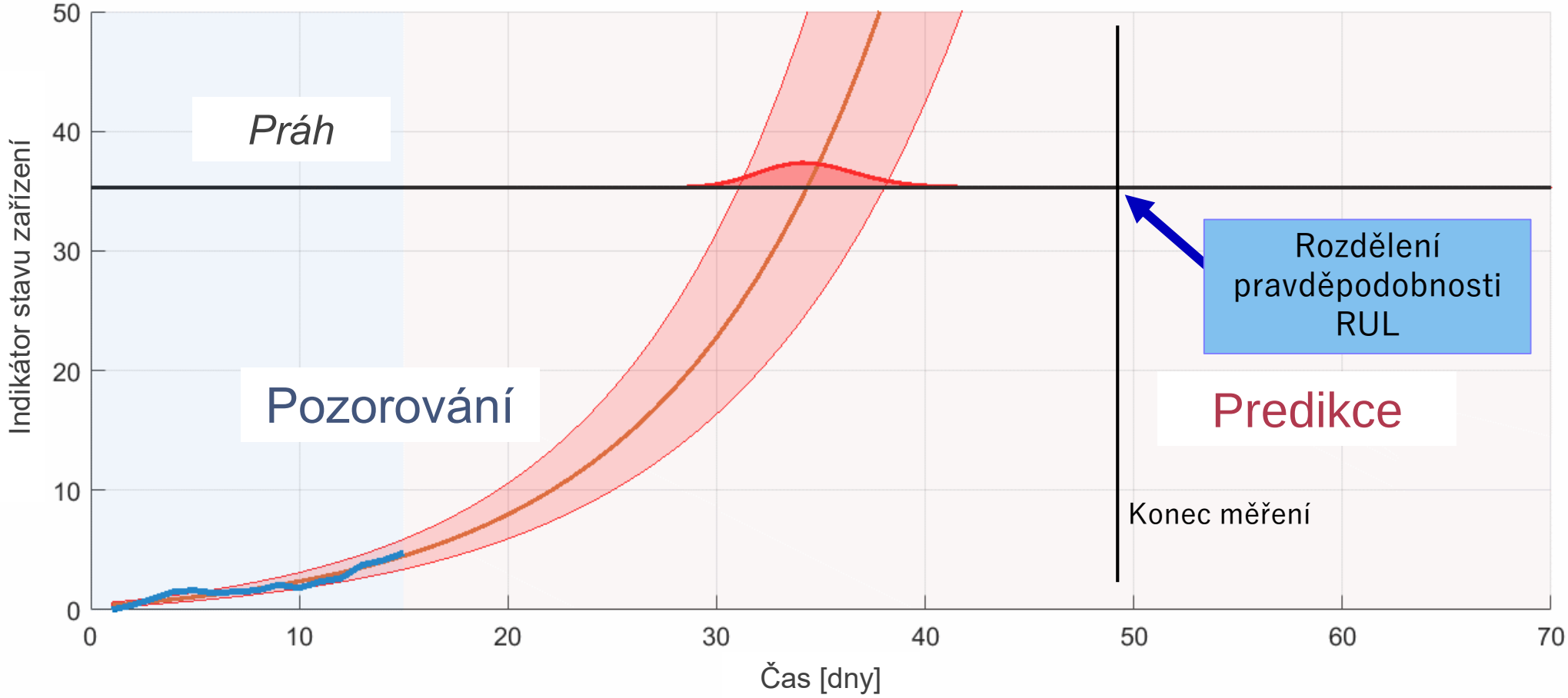
Odhad zbývající životnosti zařízení(RUL)

Slouží k určení, kdy je třeba provést údržbu



RUL: 459 hours

(95%CI: 374-558 hours)

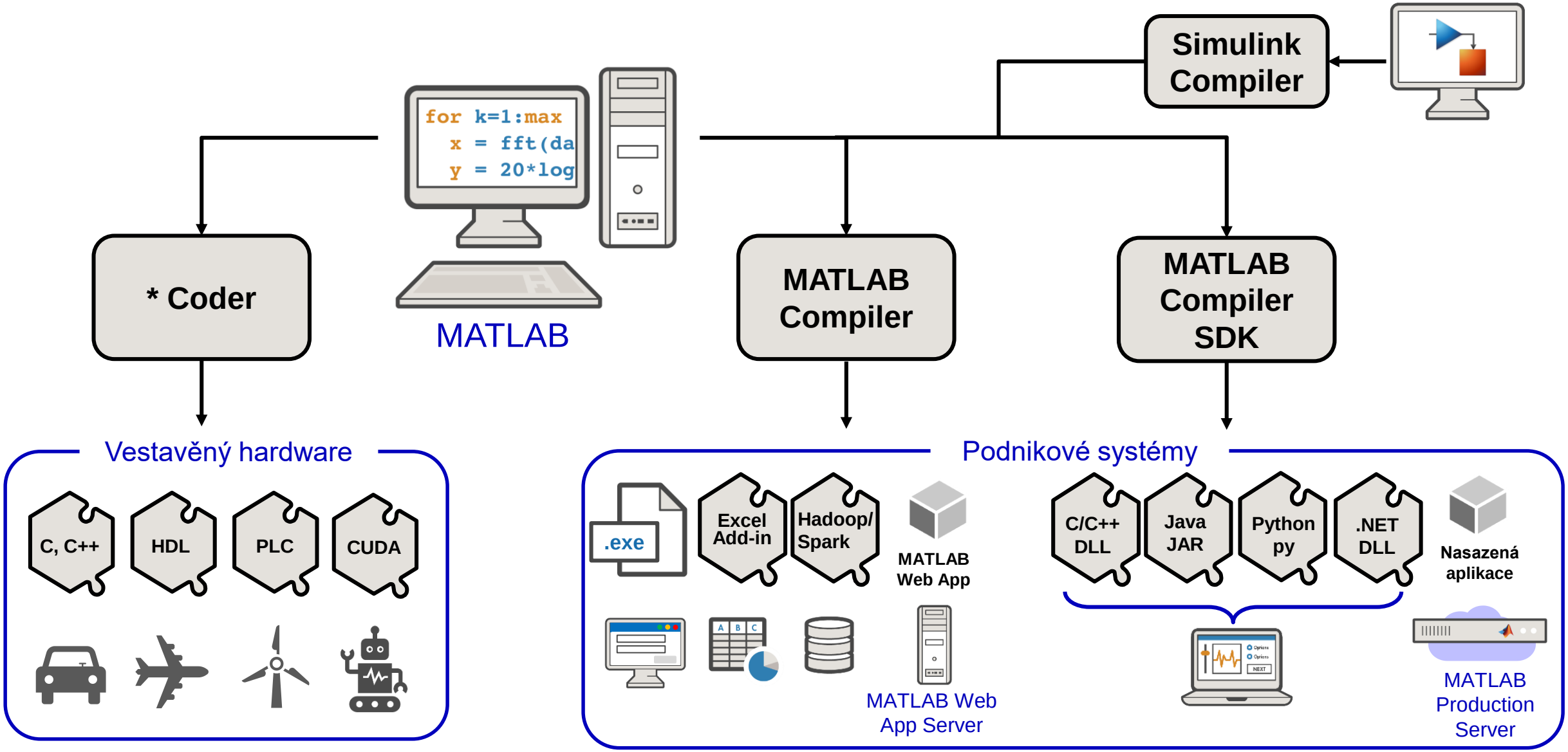


Příklad: Analýza spolehlivosti a poruch v praxi

- Siemens, *Petr Semotam*
  - Analýza spolehlivosti a poruch v praxi
  - https://www.linkedin.com/pulse/analýza-spolehlivosti-poruch-v-praxi-matlab-petr-semotam
  - Analýza vibračního signálu v praxi
  - https://www.linkedin.com/pulse/analýza-vibračního-signálu-v-praxi-matlab-petr-semotam

SIEMENS

Nasazení modelů

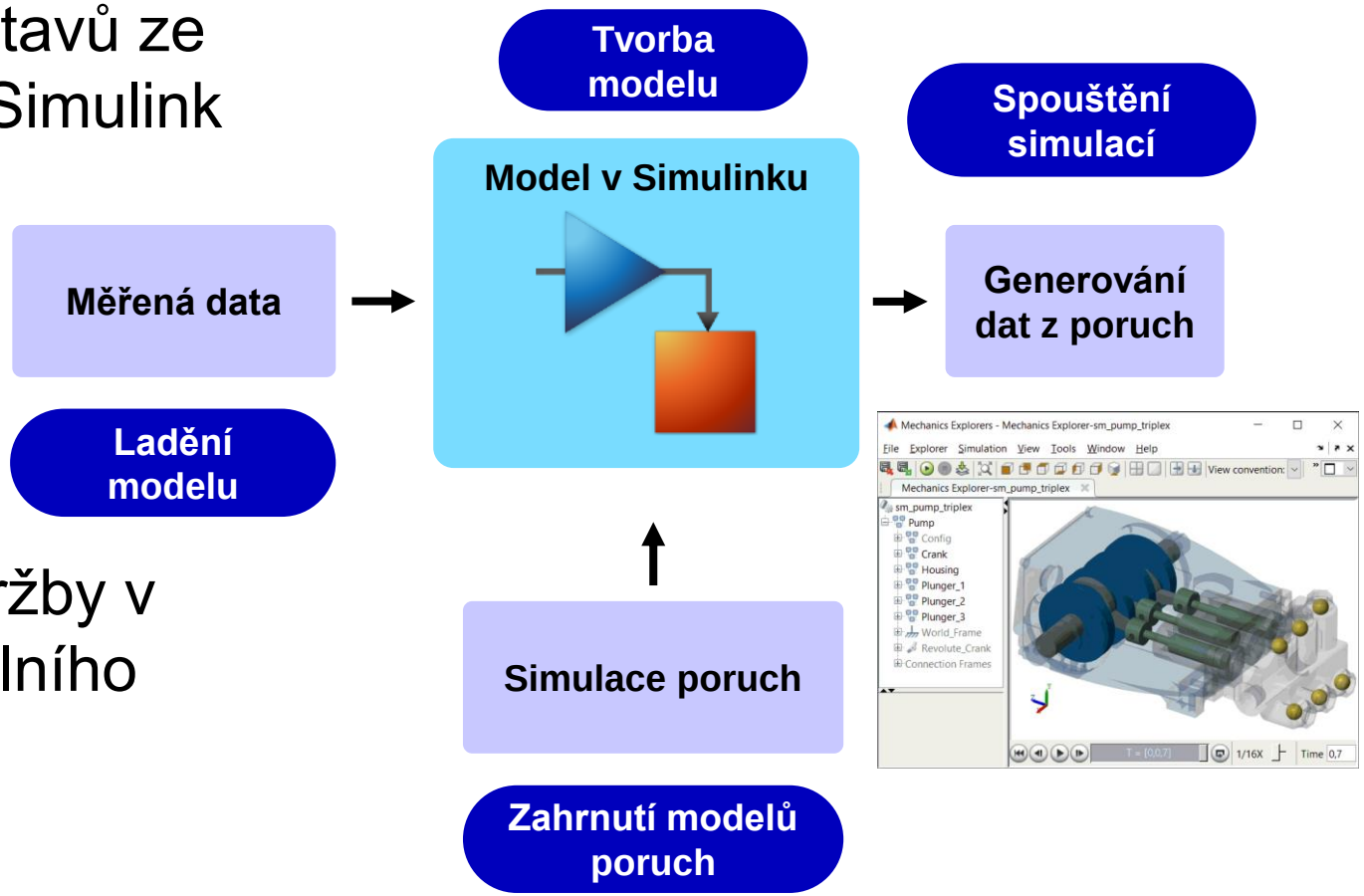


* MATLAB; Simulink; Embedded; HDL; PLC; GPU

Co když jsou k dispozici detailní znalosti o vašem zařízení?

Využijte technické znalosti ke zlepšení prediktivní údržby

- Generování dat z poruchových stavů ze simulačních modelů v prostředí Simulink
- Identifikace příčin poruchy pomocí odhadu parametrů
- Ověření algoritmů prediktivní údržby v nových situacích s pomocí digitálního dvojčete reálného zařízení



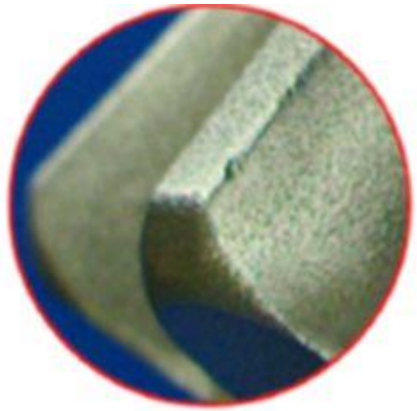
VIZUÁLNÍ INSPEKCE

Vizuální inspekce

- Kontrola dílů na základě obrazových dat
- Kamera skenuje testovaný díl a detekuje závady a nedostatky v kvalitě

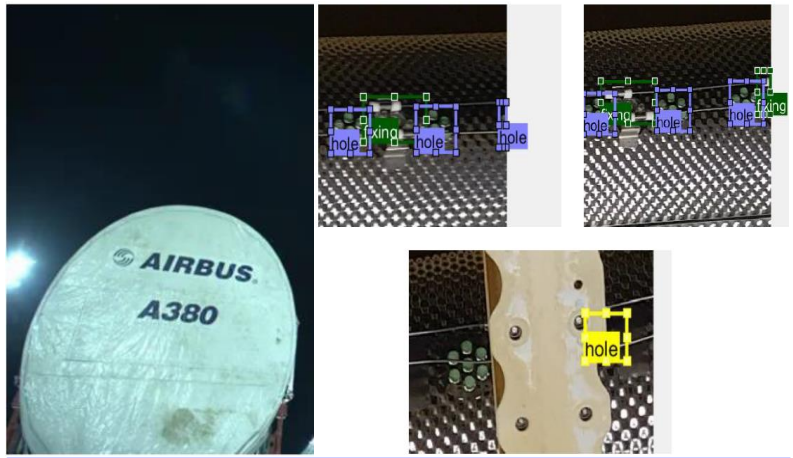
⇨detekce anomálií

⇨klasifikace vad



Uživatelské reference

AIRBUS

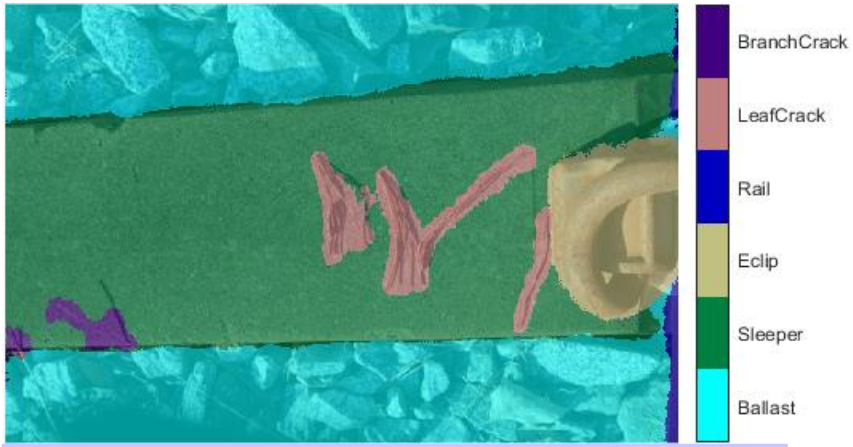


Automatická detekce defektů

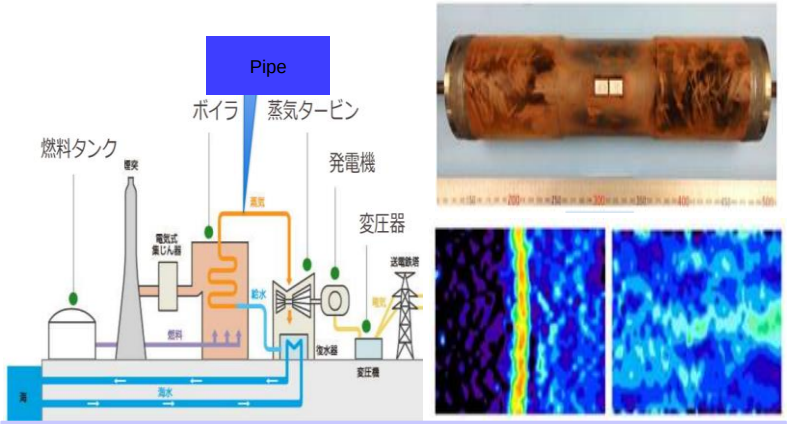
MUSASHi

Vizuální inspekce autodílů

KRRI



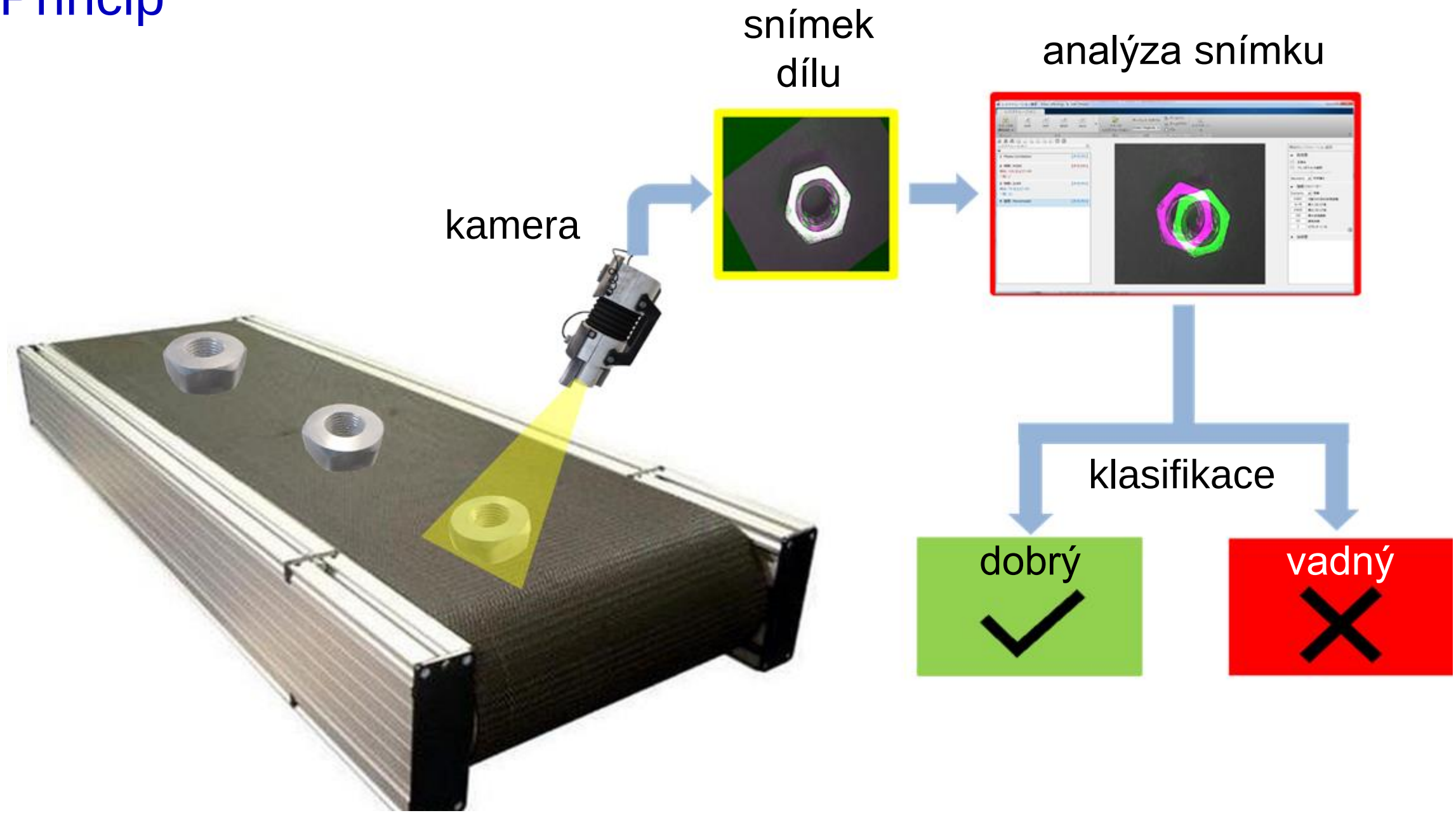
Detekce defektů v železniční dopravě



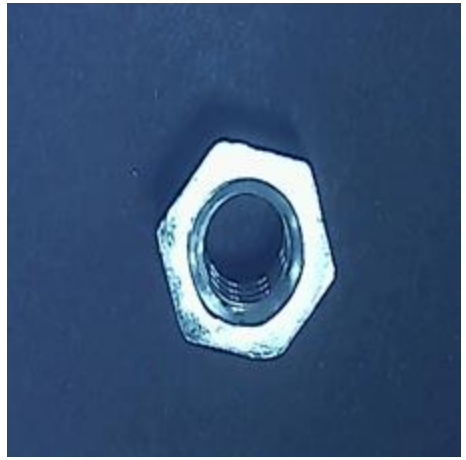
Kansai Electric Power
power with heart

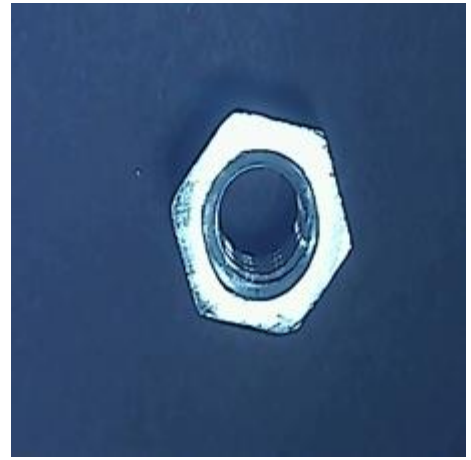
Detekce vad svarů v potrubí

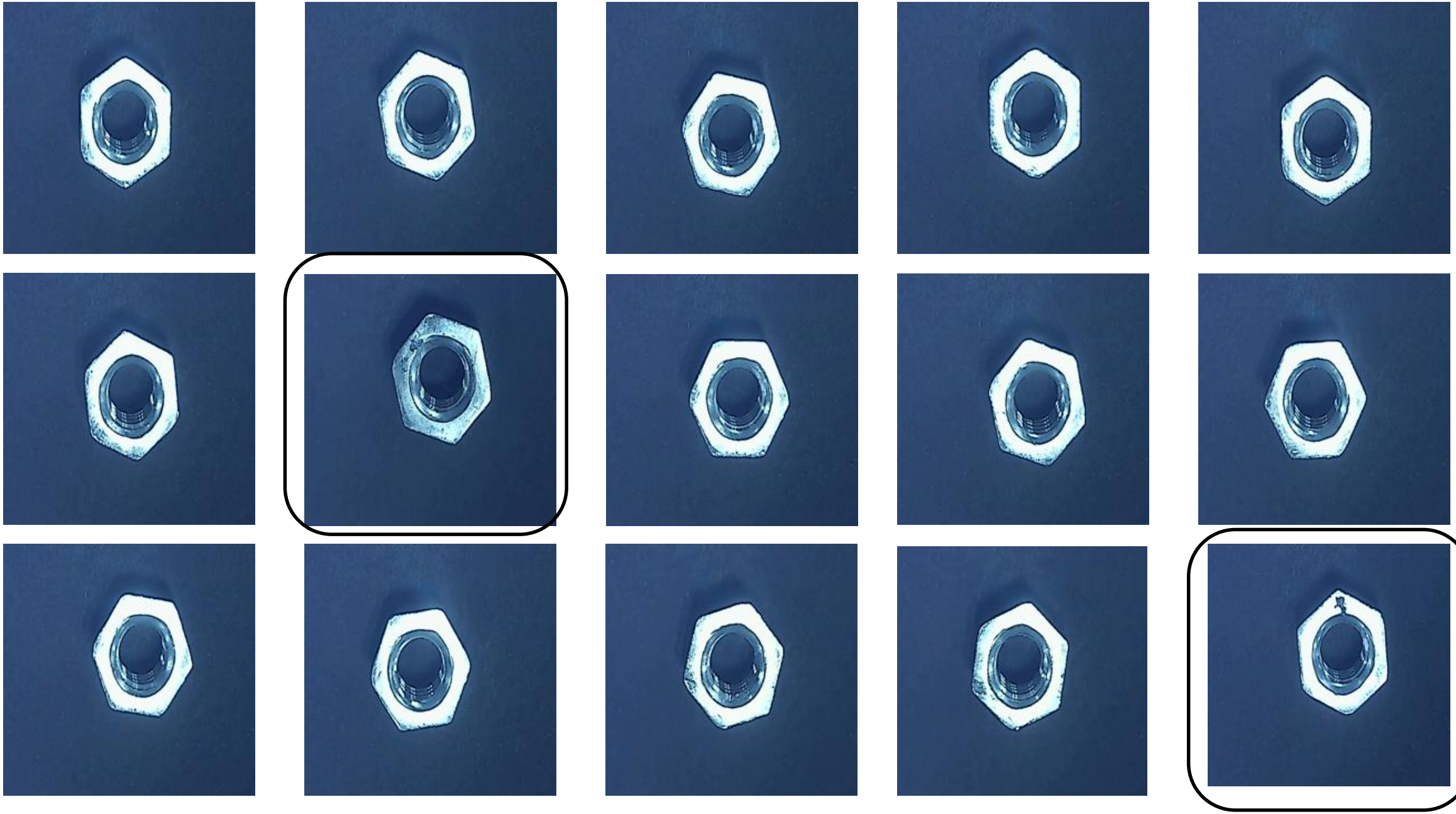
Princip

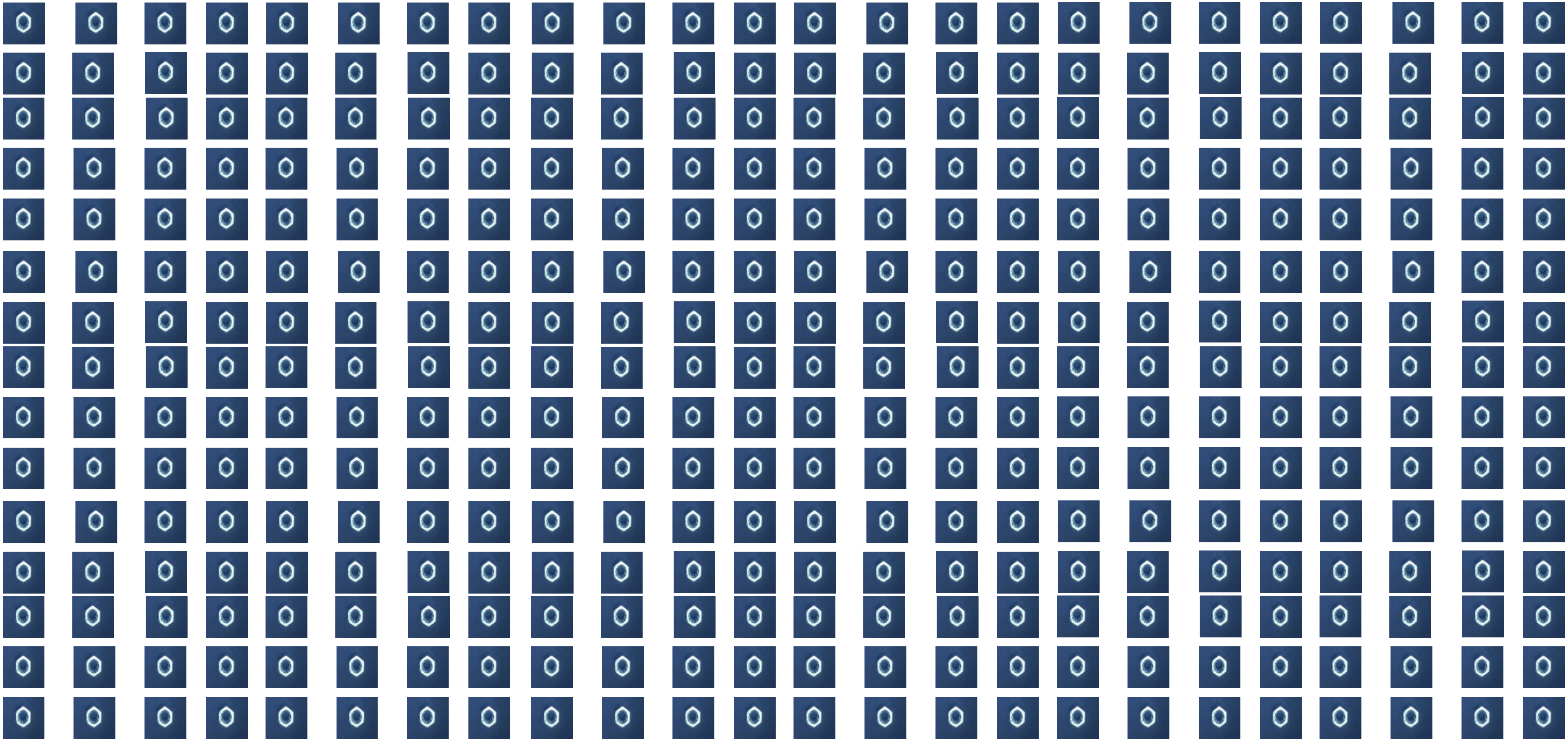

snímek dílu
analýza snímku
kamera
klasifikace
dobrý
vadný

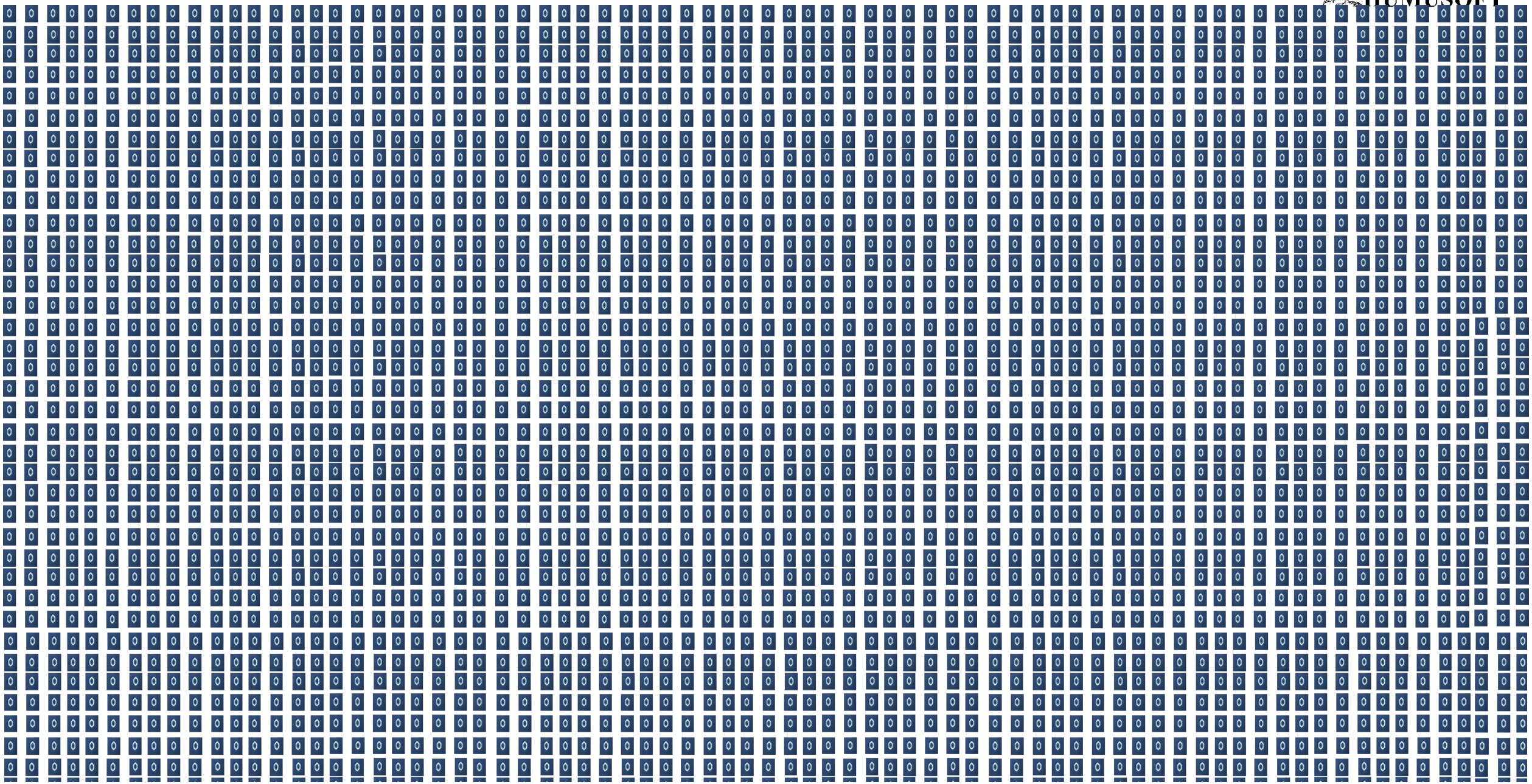
Která matice je poškozená?



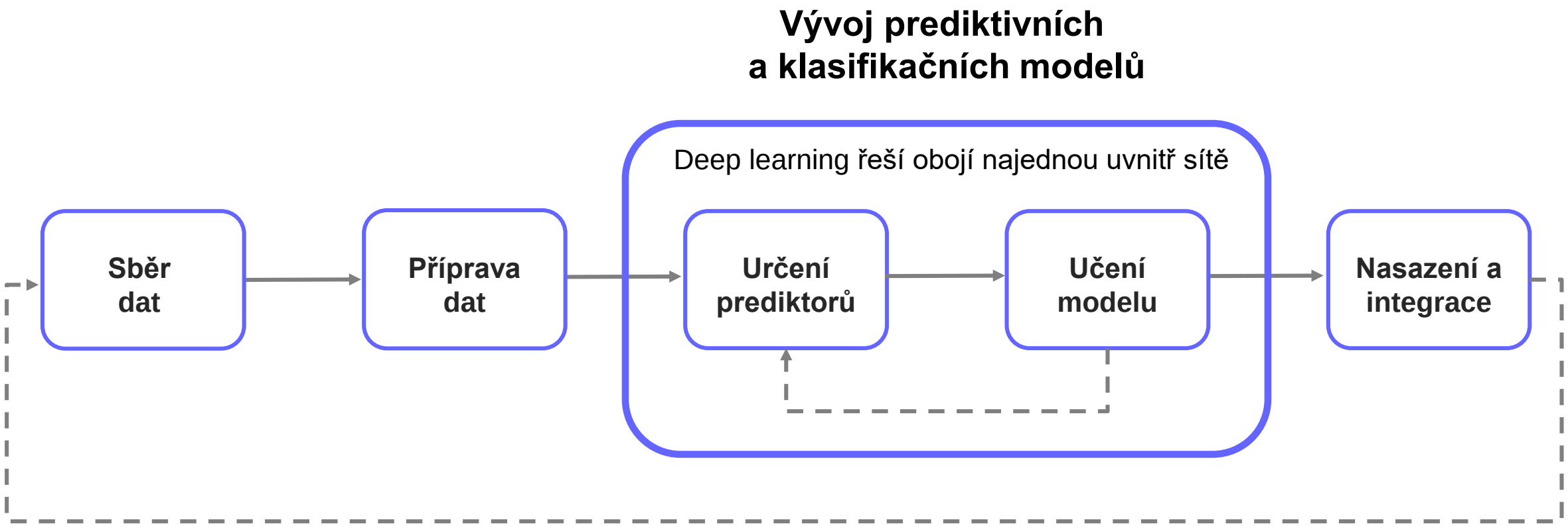






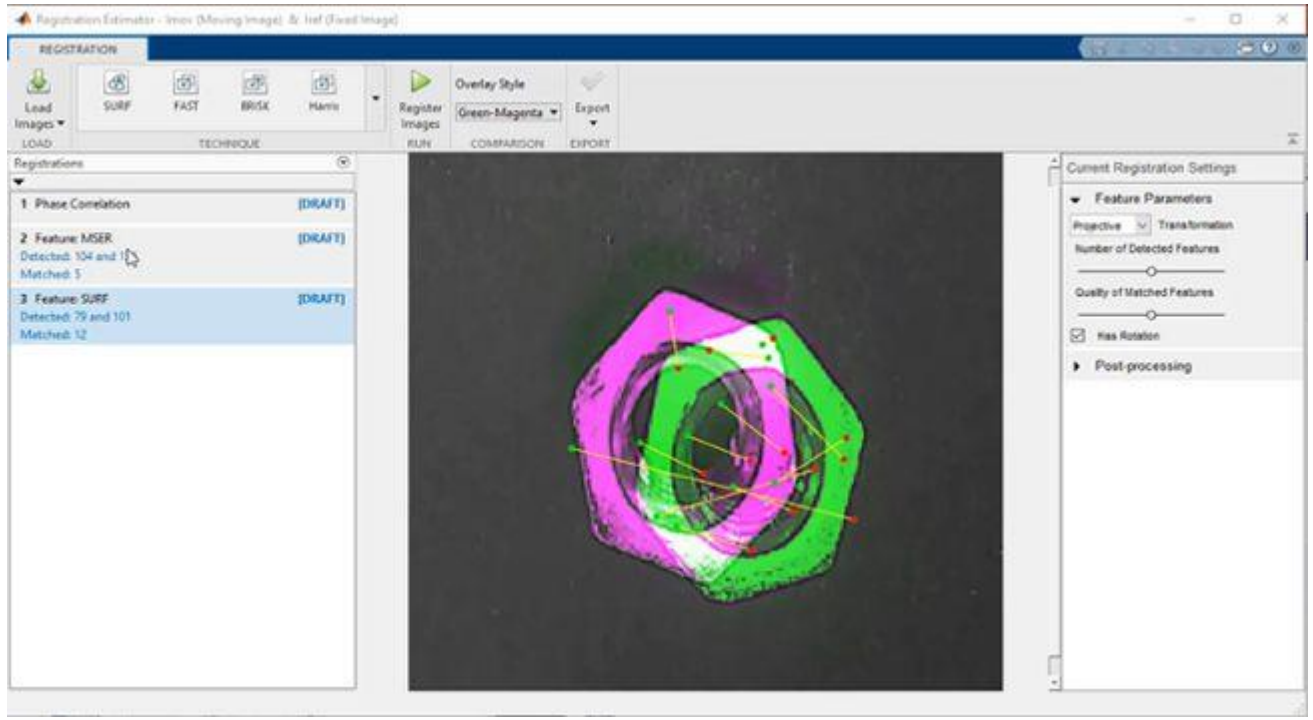


Postup vývoje algoritmů vizuální inspekce



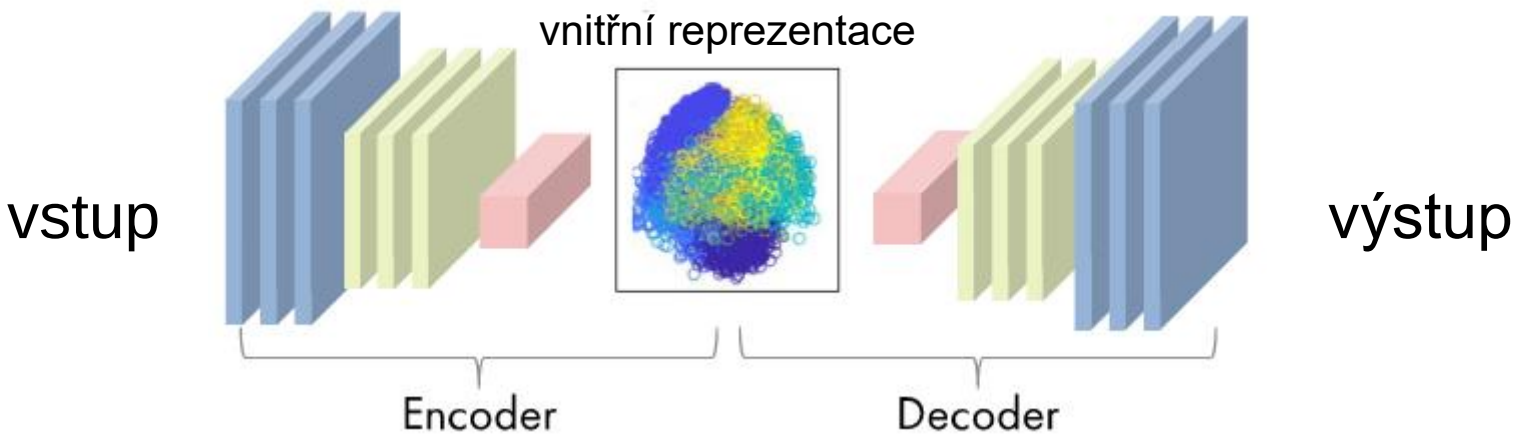
Příprava dat

- Data pocházejí z více zdrojů
  - jsou obvykle nestrukturovaná, obsahují šum
- Příprava snímků v datové sadě vede k vyšší přesnosti při detekci
- Funkce v prostředí MATLAB
  - zpracování obrazu
  - počítačové vidění



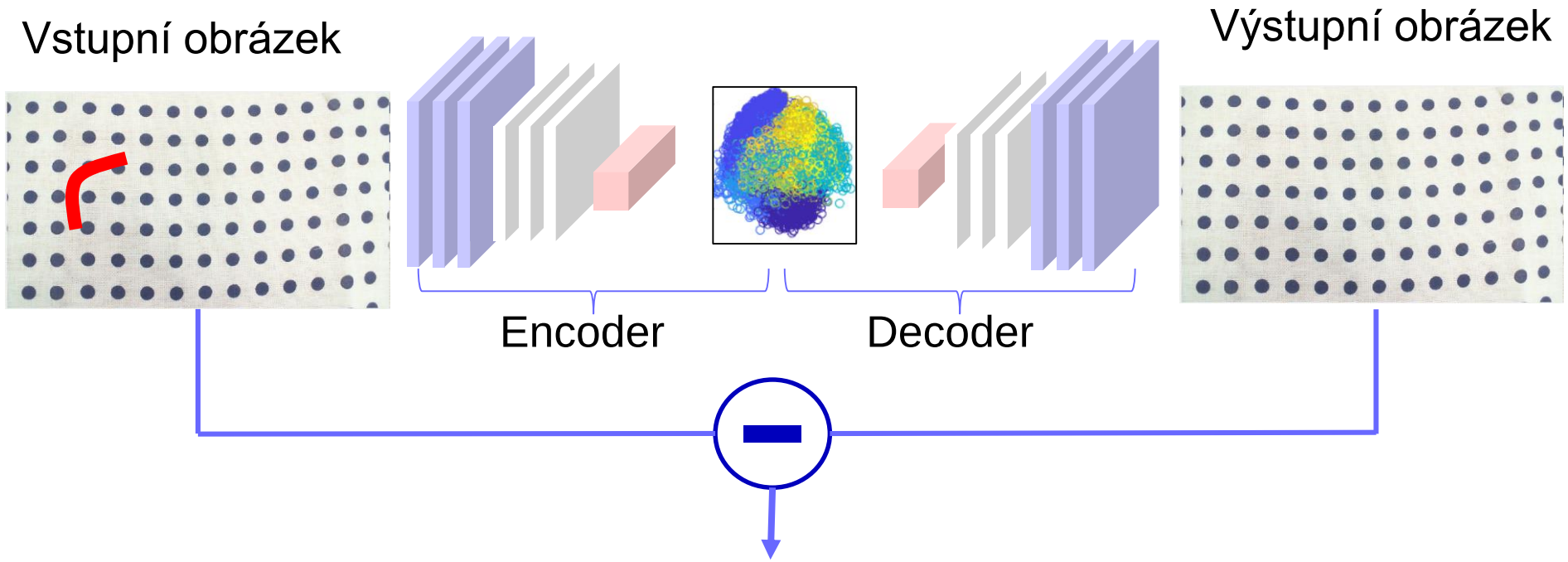
Model pro detekci anomálií – využití Autoencoderů

- Autoencoder je hluboká neuronová síť složená ze 2 částí: encoder a decoder



- Autoencoder se učí rekonstruovat vstupní snímek
  - zadání při učení: vstup == požadovaný výstup
  - uvnitř probíhá převod na vnitřní reprezentaci a zpět
- Učení autoencoderů nevyžaduje „defektní“ data
  - učení probíhá pouze na základě snímků dílů bez vady

Nasazení autoencoderu



Normální obrázek
→ rekonstruován korektně
→ rozdíl jde k nule

Abnormální obrázek
→ rekonstrukce není korektní
→ nalezení anomálie v rozdílovém obrázku

ukázka: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73283

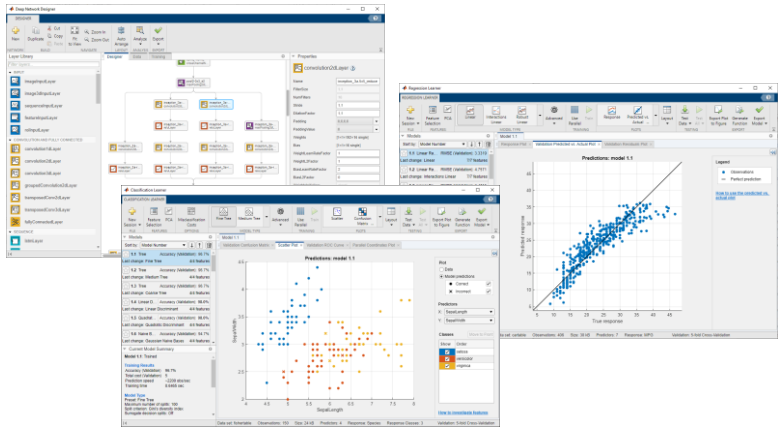
Model pro klasifikaci vad

- Učení modelu pro klasifikaci vad vyžaduje označená data různých typů vad
  - datová sada pro učení musí být vyvážená (podobný počet vzorků ve všech kategoriích)

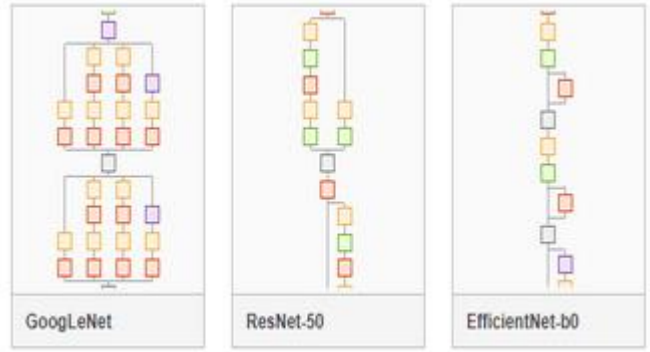
```
inputSize = 12;
numHiddenUnits = 100;
numClasses = 9;

layers = [ ...
    sequenceInputLayer(inputSize)
    bilstmLayer(numHiddenUnits,'OutputMode','last')
    fullyConnectedLayer(numClasses)
    softmaxLayer
    classificationLayer]
```

Funkce, psaní skriptů



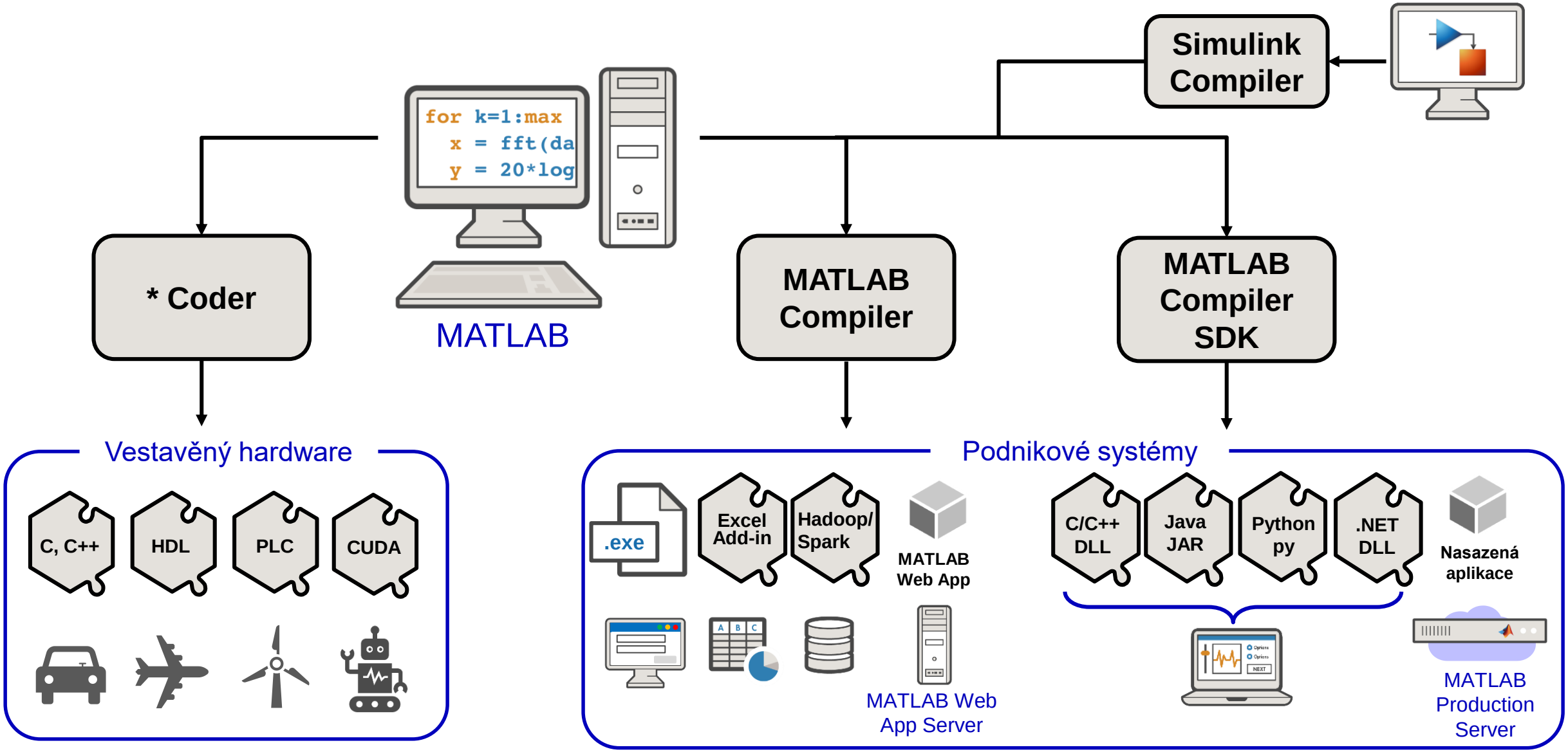
Interaktivní návrh pomocí grafických aplikací



Transfer learning s existujícími modely

- Při nedostatku dat může pomoci umělé rozšíření variability dat (`imageDataAugmenter`)

Nasazení modelů



* MATLAB; Simulink; Embedded; HDL; PLC; GPU

Děkuji za pozornost