



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

# Výukové texty

pro předmět

*Automatické řízení výrobní techniky*

(KKS/ARVT)

na téma

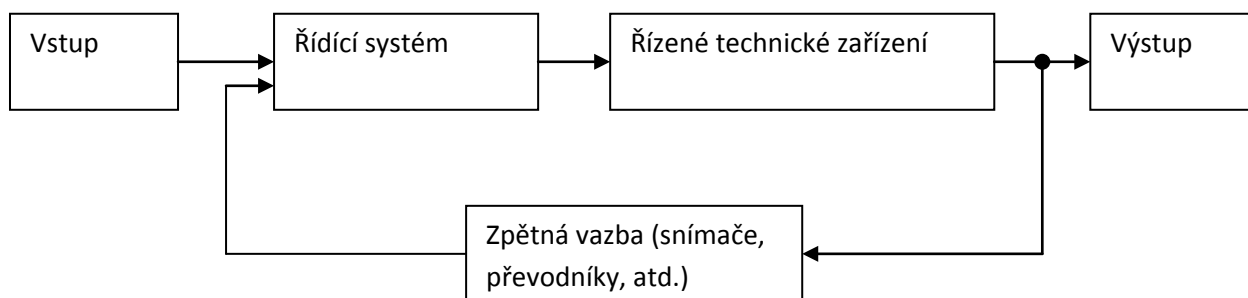
## Podklady k adaptivnímu řízení výrobních strojů

Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Podklady k adaptivnímu řízení výrobních strojů

Řídicí systém – lze popsat jako fyzikální realizaci algoritmu řízení. Matematickým modelem řídicího systému je tedy algoritmus řízení. Prostřednictvím bloku snímačů a transformace jsou pak pro řídicí systém získávány potřebné informace o stavu řízeného zařízení.



Obr. 1 Základní blokové schéma systému automatického řízení.

Všechny vstupní a výstupní veličiny jednotlivých bloků systému automatického řízení jsou obecně časově proměnné vektorové veličiny: vektor řídicích veličin, vektor výstupních veličin, vektor žádaných stavových veličin, vektor okamžitých stavových veličin a vektor poruchových veličin.

Deterministické systémy jsou takové systémy, u nichž jsou rovnice, popisující stav řízených systémů (objektů) stejně jako vnější signály (řídicí i poruchové), známé a proto lze použít klasické analytické metody pro řešení různých problémů teorie automatického řízení. Metody řešení jsou zvláště pro lineární systémy dostatečně propracovány. Jisté potíže vznikají u nelineárních systémů, avšak i pro tyto systémy jsou základní otázky analýzy a syntézy již vyřešeny. U deterministických procesů je známa předem, zatímco u stochastických procesů je nutno ji nejprve určit.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

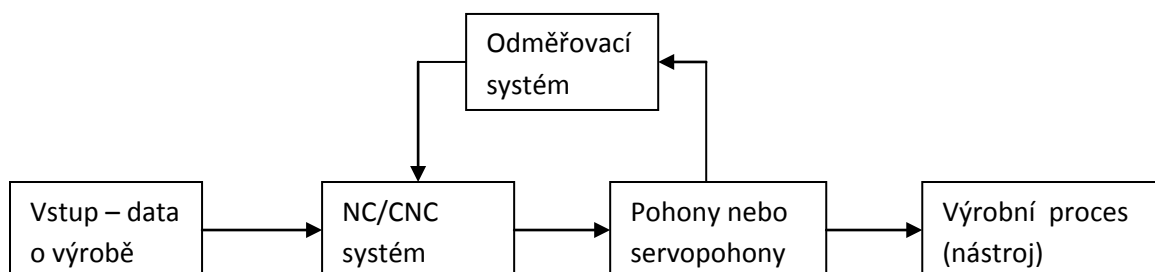
## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Adaptivní a učící se řídicí systémy výrobních strojů

V oblasti výrobních strojů je za adaptivní řídicí systém označován v podstatě každý řídicí systém, který je doplněn přídatným regulačním systémem (přídavnými zpětnovazebními smyčkami), který ovlivňuje při obrábění buď režné podmínky nebo kinematický cyklus stroje podle okamžitých poměrů v obráběcím procesu s cílem dosáhnout buď zadané mezní hodnoty jednoho nebo jednoho z více kritériálních parametrů nebo s cílem dosáhnout optimální hodnoty kritériálního parametru.

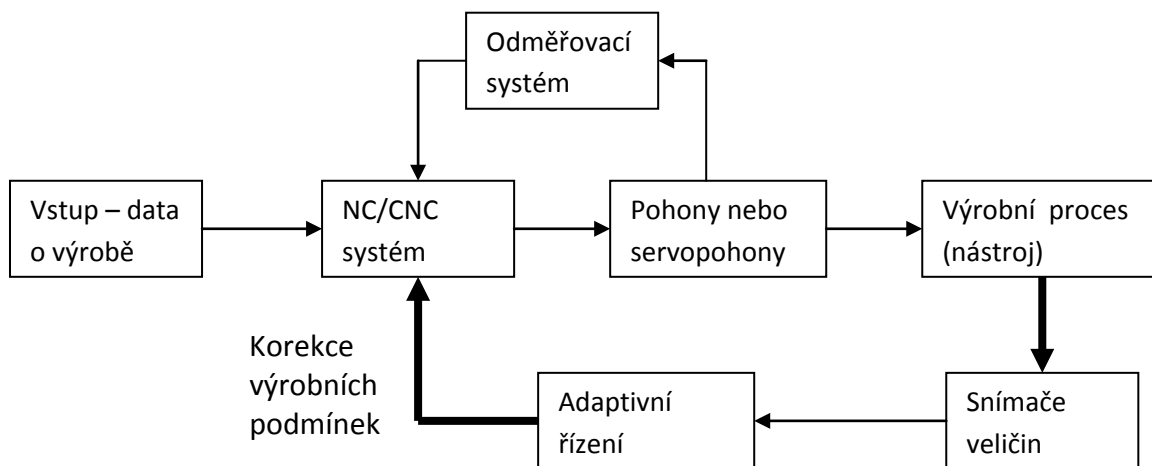
Jako adaptivní se označuje systém, který přizpůsobuje své vlastnosti měnícím se podmínkám, a to tak, aby své vlastnosti udržoval, nebo je dokonce zlepšoval. Jestliže adaptivní systém využívá k udržování nebo zlepšování svých vlastností zkušenosti z předchozí činnosti, nazýváme jej učícím se systémem. Adaptivní řídicí systém musí tedy vykonávat dvě funkce a to identifikaci a řízení. Musí stále zjišťovat chování řízeného systému, působit na něj a výsledek tohoto působení opět zjišťovat. Změna činností může být odvozována od změn vnějších signálů působících na systém, nebo od změn parametrů soustavy a je uskutečňována změnou parametrů nebo struktury řídicího systému.

I po odpojení bloku adaptivního řízení musí pak být základní řídicí systém schopen správně plnit svou základní funkci řízení obráběcího stroje. Adaptivní zpětnovazební smyčky (byť samy nemají charakter adaptivního regulátoru v pravém slova smyslu) tak zkvalitňují řízení obráběcího stroje a z původního řídicího systému vytvářejí řídicí systém s adaptivními vlastnostmi.



Obr. 2 Základní blokové schéma klasického numerického řízení.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 3 Základní blokové schéma numerického řízení s adaptivními vlastnostmi.

### Princip adaptivního řízení obráběcích strojů

Kvalita povrchu, přesnost tvaru a rozměru výrobku, zvláště však úběr a výrobní náklady jsou závislé na několika vstupních údajích řezného procesu.

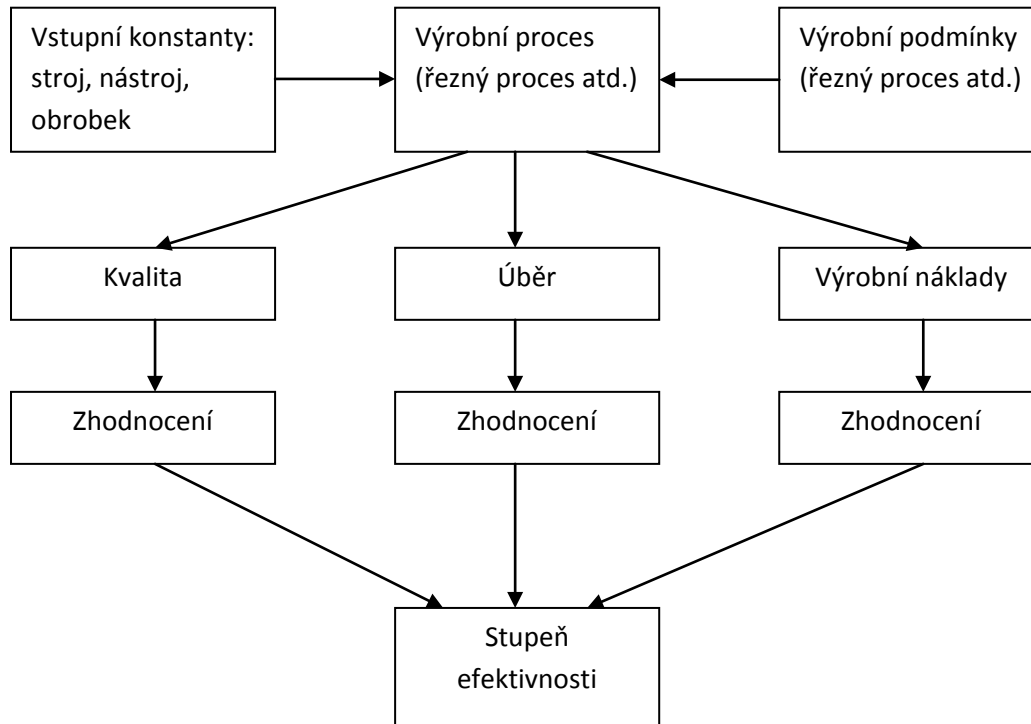
Tyto vstupní údaje lze rozdělit na:

- obrobek - (druh materiálu, obrobitelnost, tvar, požadovaná přesnost rozměru, jakost povrchu atd.)
- nástroj - (druh, způsob ostření, trvanlivost)
- stroj - (pracovní schopnost a přesnost, odolnost proti vzniku samobuzených kmitů, výkon)
- pracovní podmínky - (posuv, řezná rychlost, hloubka záběru, chladio).

Výstupní údaj řezného procesu, t.j. úběr, kvalita povrchu, výrobní náklady a pod. může naopak sloužit jako kritérium pro posouzení průběhu obrábění. Obráběcí stroj může podle svých vlastností, způsobu použití, obecně podle kombinace jmenovaných vstupních údajů pracovat s různým výrobním výkonem, různými náklady vztažených na obrobení jednoho obrobku, obecně s různou hodnotou kritériálního parametru (různým stupněm efektivity).

Uvedené závislosti jsou schematicky znázorněny na blokovém schématu na obr. 4.

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 4 Základní blokové schéma závislostí adaptivního řízení.

### Požadavky na obráběcí stroj a měřicí techniku při aplikaci adaptivního řízení

Při nasazení adaptivního řízení musí být jednak obráběcí stroj svou koncepcí vhodný pro adaptivní řízení a jednak je nutno stroj vybavit potřebnými snímači pro měření parametrů charakterizujících průběh řezného procesu, jež jsou potřebné jako vstupní údaje pro adaptivní regulátor. Stručně lze tyto požadavky formulovat následovně:

#### Požadavky na obráběcí stroj

Konstrukce stroje musí umožnit instalaci snímačů potřebných veličin a odvod měřených signálů (připojení snímačů na měřicí aparatury). Nutnost instalace snímačů sebou často nese požadavky na konstrukční úpravy stroje.

Řídicí numerický systém, eventuálně pohony konvenčních strojů, musí být vhodné pro zavedení zpětných vazeb od adaptivního regulátoru.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Požadavky na měřicí techniku.

Klíčovým předpokladem pro vývoj a aplikaci adaptivního řízení obráběcích strojů je existence vhodných měřicích metod, snímačů a aparatur pro měření všech veličin charakterizujících průběh řezného procesu.

Snímače musí být spolehlivé, dostatečně citlivé, malých rozměrů, levné a jejich instalace na stroj nesmí výrazněji omezit pracovní schopnost stroje. Připojení snímačů na k nim příslušející aparatury musí být jednoduché a spolehlivé a nesmí vyžadovat podstatnějších konstrukčních úprav stroje. S časem nesmí snímače měnit své vlastnosti a musí být vhodné pro dlouhodobou instalaci na stroj. Musí být dále odolné proti mechanickému poškození při běžné obsluze stroje, upínání obrobků a nástrojů a nesmí být citlivé na parazitní signály.

Obdobné požadavky jako na snímače jsou kladeny na měřicí aparatury. Ty musí být vhodné pro dlouhodobý provoz v dílenských podmínkách, spolehlivé, musí pracovat s dostatečným zesílením, stabilitou a nízkou spotřebou. Aparatury musí být snadno ovladatelné, malých rozměrů a co možno nejlevnější. Jsou to tedy požadavky, jež musí splňovat typicky průmyslové měřicí zařízení.

### **Základní výběr měření vstupních parametrů pro adaptivní řízení**

Pro limitní adaptivní systémy je nutno obvykle získat informace o velikosti řezných sil, krouticího momentu na vřetenu, řezného výkonu, celkového příkonu hlavního pohonu stroje, amplitudy vynucených a samobuzených kmitů a pod. Dále pak je nutno získat informace o tom, je-li nástroj v dotyku s obrobkem či nikoliv. Pro určitý adaptivní systém pak mohou být využity všechny uvedené parametry, nebo jen některé z nich. Pro optimalizační adaptivní systémy je pak kromě výše uvedených informací nutno navíc získat informaci např. o rychlosti opotřebení nástroje.

K problematice měření vstupních parametrů pro adaptivní systémy lze úvodem předestlat, že použité měřicí metody se dělí do dvou základních skupin. A to na tzv. měřicí metody přímé a nepřímé. Při přímých měřicích metodách je daný parametr měřen vhodným typem snímače, jehož výstupní signál přímo odpovídá žádané měřené veličině. Naopak při nepřímých měřicích metodách je velikost požadovaného parametru odvozována z měření jiného parametru, který je známými závislostmi s požadovaným parametrem svázán.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Měření řezných sil a krouticího momentu vřetena

Snímače pro přímé měření mohou být dvojího typu a to dynamometrické (s vysokou vlastní tuhostí), nebo na bázi snímačů deformací (s malou vlastní tuhostí). Oba druhy snímačů mohou pak pracovat jako aktivní nebo pasivní snímače.

Aktivní snímače jsou v závislosti na jejich deformaci přímo zdrojem elektrického napětí.

Pasivní snímače pak pracují na tom principu, že měřená veličina ovlivňuje některou fyzikálně elektrickou vlastnost snímače a změna této vlastnosti je přímo měřena, většinou balančním způsobem. Celý měřicí rozsah snímače bývá max. několik procent jmenovité fyzikálně-elektrické hodnoty snímače. Tento fakt pak vyžaduje použití vysoce kvalitních a přesných můstkových aparatur.

Protože výčet možných provedení přímých snímačů řezných sil a krouticích momentů, pracujících na různých principech (aktivní - piezoelektrické, magnetoe.lastické, pasivní - tensometrické, induktivní a pod.) by přesáhl rámec tohoto popisu.

### Měření příkonu hlavního pohonu vřetena

Měřicí metody pro měření příkonů různých typů pohonů vřetena budou rozebrány v kapitole, zabývající se nepřímými měřicími metodami "silových kriteriálních parametrů".

### Měření chvění

Pro měření vynucených a samobuzených kmitů systému stroj-nástroj-obrobek se prakticky vždy užívá přímé měřicí metody, t.j. na vhodné místo stroje se umístí příslušný snímač chvění.

Pro účely adaptivního řízení není zapotřebí vyvíjet žádný speciální snímač chvění a je vždy možno použít některý z vyráběných snímačů. V podstatě je lhostejné na jakém principu snímač pracuje a pro jeho volbu je pouze rozhodující požadavek na měřený kmitočet, amplitudu a rozměr snímače.

V některých případech jsou navíc používány elektrické obvody pro rozlišení vynucených a samobuzených kmitů, t.j. výstupní signál snímače chvění je veden přes tento rozlišovací obvod, na jehož výstupu pak je získáván elektrický signál úměrný amplitudě vynucených, resp. samobuzených kmitů.



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

### Měření opotřebených nástrojů

Možnost kontinuálního měření rychlosti opotřebených nástrojů je nutným předpokladem pro realizaci optimalizačních adaptivních systémů. Přestože je této problematice věnována značná pozornost, nepodařilo se doposud vyvinout vhodnou měřicí metodu, která by zaručovala jak objektivní měření, tak spolehlivou funkci.

Přímé měřicí metody byly vyvinuty převážně jen pro soustružnické nástroje, a to pouze pro měření opotřebených hřbetů nástrojů. Princip většiny těchto metod spočívá v tom, že je měřeno přiblížení držáku nože k obráběnému povrchu v důsledku opotřebených hřbetů. Ve většině případů je toto přiblížení měřeno pneumaticky. Všechny tyto metody jsou laboratorního charakteru s řadou nedostatků, bránících běžnému provoznímu nasazení.

### Čidla indikující přiblížení nástroje k obrobku

Pro dosažení co největších časových úspor musí adaptivní systémy umožnit, aby bez znalosti přesné kontury polotovaru (obrobku), bylo možno najíždět nástrojem do dotyku s obrobkem s co nejvyšší posuvovou rychlostí (optimálně rychloposuvem). V okamžiku, kdy se nástroj dotkne obrobku (nebo v určité malé vzdálenosti před dotykem nástroje) je pak zařazena pracovní posuvová rychlost. K určení okamžiku přepnutí zvýšené posuvové rychlosti nebo rychloposuvu na pracovní posuvnou rychlost slouží čidlo indikující dotyk či přiblížení nástroje k obrobku.

V závislosti na technickém provedení lze toto čidlo rozdělit na dotyková a bezdotyková.

*Dotyková čidla* pracují principiálně tak, že z držáku nástroje (nebo přímo z nástroje) je do určité vzdálenosti před rezným břitem nástroje vysunut mechanický dotyk. V okamžiku, kdy tento dotyk vejde ve styk s obrobkem je jednak generován signál pro zařazení pracovní posuvové rychlosti, jednak je vhodným způsobem zajištěno odstranění dotyku z pracovního prostoru nástroje.

*Bezdotyková čidla* pak pracují tak, že buď před nástroj je vysunut element pro bezdotykovou indikaci přiblížení, nebo je tento element zabudován do držáku nástroje či přímo do nástroje. Bezdotyková čidla pracují na induktivním, kapacitním, pneumatickém, optickém nebo akustickém (ultrazvukovém) principu.

Společnou nevýhodou těchto přímých čidel je to, že většinou vyžadují výrazné konstrukční úpravy stroje, nebo nástroje. Jejich činnost není dostatečně spolehlivá, např. z důvodu ulpěných třísek na nástroji nebo obrobku, s výměnou nástroje je nutno obvykle měnit i nastavení čidla nebo čidlo musí být obsaženo v každém nástroji, který je využíván v režimu adaptivního řízení, může dojít k jejich poškození při obrábění atd.





evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

## INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.

## Literatura

- [1] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [2] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [3] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [4] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9