

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra elektrotechniky a automatizace**



**Bakalářská práce**

**Senzorika v průmyslových zařízeních**

**Ondřej Bláha**

**© 2024 ČZU v Praze**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Bláha

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Senzorika v průmyslových zařízeních**

Název anglicky

**Sensors in industrial facilities**

---

## Cíle práce

Popis sensorů různých fyzikálních principů a jejich možných zkreslujících výsledků. Určení v rizikosti zkreslujících vlivů sensorů na příkladech průmyslových zařízení. Doporučení pro minimalizaci zkreslujících vlivů na výsledný provoz zařízení.

## Metodika

Provedení analýzy využívání sensorů různých fyzikálních principů pro fungování průmyslových zařízení a stanovení limitních stavů. Posouzení vlastností přímého nebo digitalizovaného využití výstupů analogových sensorů a jejich výhodnosti. Nástin nových trendů sensoriky výrobních zařízení pro příslušenství vozidel a příbuzné výrobky.

## Doporučený rozsah práce

30 – 45 s.

## Klíčová slova

senzor analogový, senzor číslicový, rušivý vliv, digitalizace

---

## Doporučené zdroje informací

Humlhans, J./ Zajímavá zapojení 3. Praha: BEN -technická literatura, 2005, ISBN 80-7300-152-7  
HUSÁK, Miroslav. *Mikrosenzory a mikroaktuátory*. Praha: Academia, 2008. ISBN 978-80-200-1478-8.  
RIPKA, Pavel. *Senzory : laboratorní cvičení*. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01453-3.  
ZEHNULA, Karel. *Čidla robotů*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00563-9.  
ZEHNULA, Karel. *Snímače nelineárních veličin*. PRAHA: SNTL, 1983.

---

## Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

## Vedoucí práce

Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

**doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 18. 01. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Senzorika v průmyslových zařízeních" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2024

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Zbyňku Vondráškovi Ph.D. za vedení mé práce a konstruktivní zpětnou vazbu a dále i mé partnerce za bezmeznou podporu.

# Senzorika v průmyslových zařízeních

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá digitálním a analogovým zpracováním signálů ze senzorů v průmyslových aplikacích. Teoretická část vysvětluje principy senzorů, včetně inteligentních senzorů a kamerových systémů, taktéž vysvětluje analogové a digitální zpracování signálů. Dále popisuje druhy sensorových a komunikačních sběrnic a elektromagnetické rušení. Praktická část porovnává digitální a analogové zpracování signálů z hlediska rychlosti, odolnosti vůči rušení a nároků na implementaci. Analýza rušivých vlivů na příkladu vstříkolisu pro výrobu automobilových větracích mřížek identifikuje hlavní faktory ovlivňující měřené hodnoty a navrhuje opatření pro minimalizaci zkreslení dat.

**Klíčová slova:** Sensory; Automatizace; Digitalizace, Analogové zpracování dat, Digitální zpracování dat.

# **Sensors in industrial facilities**

## **Abstract**

This bachelor thesis investigates digital and analogue signal processing from sensors in industrial applications. The theoretical part deals with the principles of sensors, including smart sensors and camera systems, and explains analogue and digital signal processing. It also describes types of sensor and communication buses and electromagnetic interference. The practical part compares digital and analogue signal processing in terms of speed, immunity to interference and implementation requirements. The analysis of disturbing influences is carried out on the example of an injection molding machine for the production of automotive ventilation grilles, identifies the main factors influencing the measured values and suggests measures to minimize data distortion.

**Keywords:** Sensors; Automation; Digitization; Analog data processing; Digital data processing

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Cíl a metodika práce .....</b>	<b>11</b>
2.1 Cíl práce .....	11
2.2 Metodika.....	11
<b>3 Senzory a měřicí techniky .....</b>	<b>12</b>
3.1 Dělení senzorů.....	12
3.2 Měřicí řetězec .....	13
3.3 Inteligentní senzory .....	14
<b>4 Popis principů funkce senzorů.....</b>	<b>15</b>
4.1 Senzory polohy.....	15
4.1.1 Odporové senzory .....	15
4.1.2 Indukční senzory na principu vířivých proudů.....	16
4.1.3 Kapacitní senzory .....	17
4.1.4 Magnetické senzory a spínače .....	19
4.1.5 Optické senzory .....	21
4.1.6 Ultrazvukové senzory .....	24
4.2 Senzory teplotních veličin .....	26
4.2.1 Odporové teplotní senzory.....	26
4.2.2 Termistory.....	28
4.3 Senzory tlaku.....	29
4.4 Kamerové systémy .....	30
<b>5 Zpracování informací ze senzorů .....</b>	<b>31</b>
5.1 Analogové zpracování signálu .....	31
5.2 Digitální zpracování signálu.....	31
5.3 Senzorové komunikační sběrnice .....	33
5.3.1 AS-Interface.....	33
5.3.2 Profibus.....	33
5.3.3 CANOpen .....	34
5.3.4 IO Link.....	34
5.3.5 Profinet .....	34
5.3.6 Modbus .....	34
<b>6 Elektromagnetické rušení.....</b>	<b>35</b>



<b>7 Porovnání analogového a digitálního zpracování signálů.....</b>	<b>38</b>
7.1 Rychlost zpracování .....	38
7.2 Odolnost vůči rušení .....	38
7.3 Nároky na implementaci .....	39
<b>8 Určení rizikovosti zkreslujících vlivů na příkladu vstřikolisu.....</b>	<b>40</b>
8.1 Vstřikování plastu .....	40
8.2 Měřené veličiny.....	40
8.3 Analýza možných zkreslujících vlivů .....	41
8.4 Doporučení pro minimalizaci zkreslujících vlivů .....	42
<b>9 Závěr .....</b>	<b>44</b>
<b>10 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>45</b>

# 1 Úvod

Tématem této práce je *Senzorika v průmyslových zařízeních*. Průmysl a jeho různá odvětví definují ráz Evropy již od průmyslové revoluce v 19. století. Od té doby existuje snaha optimalizovat a automatizovat výrobu tak, aby byla potřeba minimum lidské práce. Ta je totiž ze své podstaty velmi chybová. Člověk je živá bytost, která se nedokáže nepřetržitě na 100% soustředit na danou činnost. Potřebuje přestávky, odpočinek a občas onemocní. Zatímco dobře navržený a udržovaný stroj zvládne pracovat 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, přes víkendy a svátky po celý rok, pouze s minimem prostojů kvůli servisu a závadám.

V dnešní době bývá často skloňován termín Průmysl 4.0, který popisuje myšlenku kompletně automatizované výroby, kdy zjednodušeně řečeno do továrny na jedné straně přijede nákladní automobil se surovými materiály a na druhé straně bez lidského zásahu vyjde hotový výrobek.

Aby taková myšlenka byla vůbec možná, musí mít veškeré řídicí, monitorovací a kontrolní systémy dostatek informací o tom, jak pracují. Vstupním bodem pro tato data jsou senzory. Ty poskytují automatizační technice informace o procesech tak, aby mohlo probíhat zpětnovazební řízení, které je v podstatě podmínkou pro fungování jakéhokoliv procesu bez lidského zásahu.

Proto aby bylo možné takovéto komplexní automatizační systémy navrhovat a stavět, je nutné porozumět principu funkce jednotlivých částí systému. Chápat jejich limity a umět stavět systémy kolem těchto limitů.

## **2 Cíl a metodika práce**

### **2.1 Cíl práce**

Popis senzorů různých fyzikálních principů a jejich možných zkreslujících výsledků. Určení rizikovosti zkreslujících vlivů senzorů na příkladech průmyslových zařízení. Doporučení pro minimalizaci zkreslujících vlivů na výsledný provoz zařízení.

### **2.2 Metodika**

Provedení analýzy využívání senzorů různých fyzikálních principů pro fungování průmyslových zařízení a stanovení limitních stavů. Posouzení vlastností přímého nebo digitalizovaného využití výstupů analogových senzorů a jejich výhodnosti. Nástin nových trendů sensoriky výrobních zařízení pro příslušenství vozidel a příbuzné výrobky.

### 3 Senzory a měřící techniky

Potřeba měřit a kvantifikovat své okolí se táhne s lidstvem už od prvopočátků lidské civilizace, kdy lidé potřebovali spravedlivě porovnat nabízené zboží při barterovém obchodu. V té době se nejednalo o senzory, či měřidla podle dnešního průmyslového pojetí, nicméně tato z moderního pohledu primitivní měřidla se postupně stala základem pro vývoj měřidel pro průmysl. Měřící metody a přístroje se postupně zdokonalovaly v průběhu průmyslové revoluce. Do moderní podoby, tak jak ji vnímáme nyní, se však dostaly až v druhé polovině dvacátého století, kdy začaly vznikat poloautomatické či automatické výrobní procesy, jak je známe dnes. [1]

Na začátku každého měřícího nebo řídicího procesu je senzor. Senzor je součástka ve styku s měřeným prostředím, která snímá požadovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu. Tuto veličinu nejčastěji dále převádí na některou z elektrických veličin například napětí, proud nebo elektrický náboj. Samotná aktivní část senzoru, která tento převod provádí, se nazývá čidlo. V odborné literatuře, ale i v praxi se slovo senzor používá ve stejném významu jako snímač, převodník nebo detektor. Výstupem snímače je signál, který musí mít jednoznačnou závislost na měřené veličině. V případě dvoustavových senzorů to je obvykle vypnuto nebo zapnuto. U vícestavových senzorů to může být buď signál spojitý (analogový) nebo nespojitý (digitální, číslicový). [2]

#### 3.1 Dělení senzorů

Senzory lze dělit do různých kategorií a subkategorií dle jejich principů a vlastností. Z pohledu implementace se dá dělení na aktivní a pasivní senzory považovat za jedno z nejdůležitějších.

Aktivní senzory převádějí měřenou veličinu na elektrickou energii. Využívají k tomu některý z transformačních jevů, například piezoelektrický, termoelektrický, fotoelektrický či elektrochemický. [3]

Pasivní senzory naopak vlivem působení elektrické veličiny mění své elektrické vlastnosti, tj. elektrický odpor, indukčnost nebo kapacitu. Pro vyhodnocení měřené veličiny je u pasivních senzorů zapotřebí zdroje elektrické energie. [3]

Níže je uvedeno nejběžnější dělení do skupin:

Dle měřené veličiny:

- Tepelných veličin
- Průtoku a hladiny
- Tlakové
- Mechanických veličin (poloha, rychlost, zrychlení aj.)
- Elektrických veličin
- Magnetických veličin
- Chemických veličin

Dle fyzikálního principu:

- Odporové
- Indukční
- Kapacitní

- Magnetické
- Piezoelektrické
- Chemické
- Biologické

Dle styku s měřeným prostředím

- Dotykové (proximitní, taktilní)
- Bezdotykové

Dle transformace signálu

- Aktivní
- Pasivní

Dle výrobní technologie

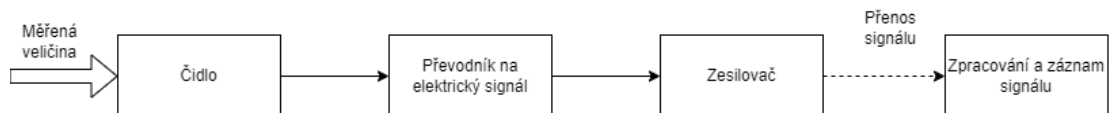
- Elektronické
- Elektromechanické
- Polovodičové

Dle druhu výstupu

- Klasické
- Inteligentní
- Digitální (číslicové)
- Dvoustavové

### 3.2 Měřicí řetězec

Informaci z čidla je zapotřebí převodníkem převést na elektrickou veličinu, následně je vzniklý transformovaný elektrický signál pro další zpracování potřeba zesílit. To je prováděno pomocí speciálně zapojených zesilovačů, které jsou navrženy s maximálním ohledem na oddělení užitečného signálu od šumu, dalších rušivých vlivů a parazitních signálů. Celý tento proces je patrný z obrázku 1. Rušivé vlivy vznikají jako důsledek elektrického nebo magnetického rušení. Mohou je způsobovat zemní smyčky. Dalším původcem jejich vzniku může být elektromagnetické pole, ve kterém se senzor nachází. [4]



Obrázek 1 Měřicí řetězec – Zdroj: Autor

Následně mohou být informace ze senzoru zpracovávány dvěma způsoby. Analogově nebo digitálně. Rozdíly v těchto přístupech, jejich výhody a nevýhody, budou rozebrány v následujících odstavcích a kapitolách.

### 3.3 Inteligentní senzory

Jako inteligentní senzory bývají nazývány senzory, které mají v sobě integrovanou nějakou formu výpočetního výkonu. Ta se využívá pro unifikaci, zpracování a analýzu signálu. Inteligentní senzory se skládají ze tří částí. Čidla, analogově digitálního převodníku a výstupní části, která se stará o komunikaci senzoru s nadřazeným systémem. [1]

Inteligentní senzory jsou často schopny funkce kalibrace a autodiagnostiky. Některé pokročilé senzory mají v sobě integrované i senzory jiných veličin, aby byly schopné funkce automatické kalibrace. [2]

Výstupem inteligentních sensorů bývá digitální signál, nicméně pro zpětnou kompatibilitu se často převádí informace z digitálního zpět na analogový signál. [1]

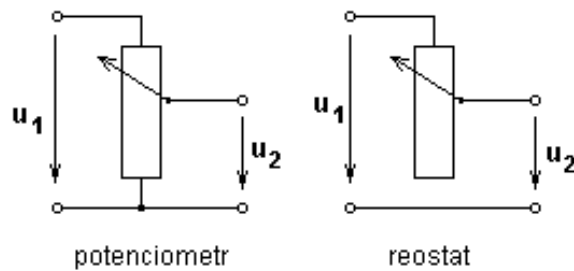
## 4 Popis principů funkce senzorů

### 4.1 Senzory polohy

#### 4.1.1 Odporové senzory

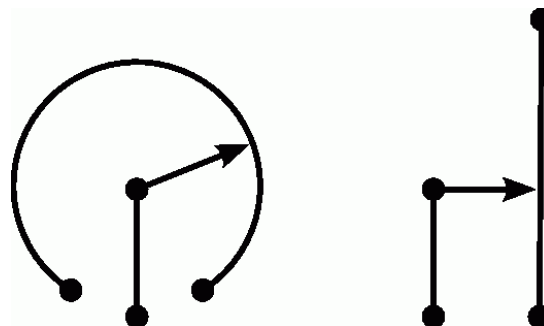
Odporové snímače polohy jsou kontaktní snímače fungující na principu změny elektrického odporu. Dělí se na spojitě a nespojitě. Mezi zástupce spojitých snímačů se řadí potenciometry, mezi nespojitě pak koncové spínače, které patří mezi nejvíce využívané snímače. [4]

Spojité odporový senzor polohy lze zapojit dvěma způsoby. Jako potenciometr nebo jako reostat. V případě zapojení jako potenciometr se jedná o napěťový dělič. V opačném zapojení jako reostat protéká „silová“ složka proudu skrz odporový senzor. Výsledné napětí je tedy závislé na zátěži. Toto zapojení se však běžně nepoužívá. Oba druhy zapojení jsou vyobrazeny na obrázku 2. [4]



Obrázek 2 Spojitý odporový senzor – zapojení[5]

Potenciometry jsou obvykle uspořádány do kruhového tvaru, což umožňuje jejich využití jakožto snímače úhlové výchylky. Odporová dráha bývá realizována jakožto kruhová výseč o  $270^\circ$ . Z principu tedy není možné takto sledovat děje, které se otáčejí „donekonečna“. Dalším možným uspořádáním je lineární, v tomto případě jede jezdec po přímé odporové dráze. Obě konfigurace jsou patrné na obrázku 3. Potenciometry se vyrábí s lineárním, logaritmickým, ale například i exponenciálním průběhem. To umožňuje jejich využití v širokém spektru aplikací. [6]



Obrázek 3 Uspořádání potenciometru[6]

Koncové spínače převádějí změnu polohy sledovaného objektu skokovou změnou signálu. Ta je způsobena spínáním případně rozepínáním mechanického kontaktu. Jejich výstup je dvoustavový, tedy zapnuto nebo vypnuto. Příklad koncového spínače je vyobrazen na obrázku 4. [4]



Obrázek 4 Koncový spínač[7]

U běžných spojitých odporových sensorů se opakovatelnost pohybuje okolo 0,1 % z rozsahu. U specializovaných sensorů je možné se dostat na opakovatelnost 0,015 % z rozsahu. Jelikož se jedná o kontaktní snímače může být opakovatelnost narušena opotřebeným kontaktem či jiným mechanickým nebo enviromentálním vlivem. Potenciometry taktéž mohou být náchylné k šumu, ten je generován mechanickými a elektrickými vlivy při pohybu jezdce po odporové dráze. S těmito jevy je zapotřebí počítat při konstruování systému. [4]

Skokové odporové senzory polohy najdou hojně využití v průmyslových linkách především jako limitní spínače. Lineární odporové snímače naleznou uplatnění při nastavování a kontrole nastavení jednotlivých částí výrobní linky, případně jako vstupní prvky pro zadávání požadované hodnoty uživatelem.

#### 4.1.2 Indukční senzory na principu vířivých proudů

Indukční snímače polohy jsou jedny z nejvíce využívaných sensorů v průmyslových linkách. Jedná se o bezkontaktní snímače. Dají se rozdělit do několika kategorií dle konstrukce, mechanické a chemické odolnosti a v neposlední řadě také dle výstupního signálu. Na obrázku 5 je vyobrazen indukční snímač v jeho nejběžnější (závitové) variantě. [13]

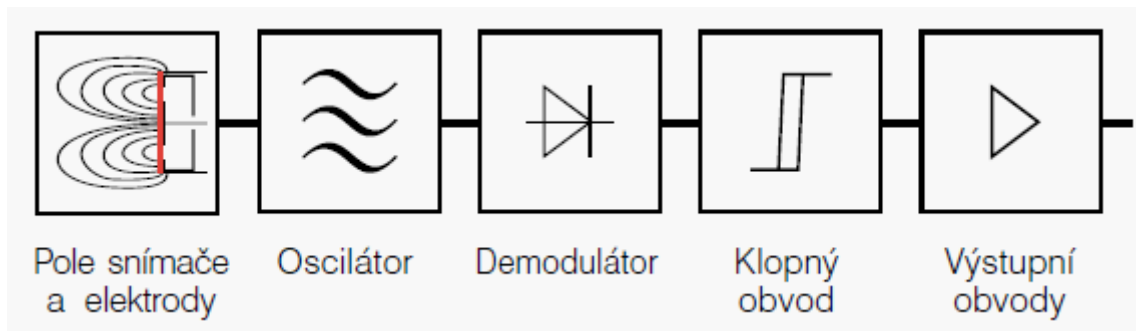


Obrázek 5- Indukční snímač[9]



Princip funkce indukčního senzoru je založen na cívce, která je umístěná na jádru poloviny feritového hrníčku. Cívkou prochází vysokofrekvenční střídavý proud, který vytváří magnetické pole, to následně vychází z otevřené strany hrníčku. Pokud se v blízkosti tohoto pole nachází předmět z elektricky vodivého materiálu, dojde k vytvoření sekundárního magnetického pole v tomto předmětu. V důsledku toho vznikají v předmětu vířivé proudy. Vzniklé sekundární magnetické pole následně zpětně působí proti původnímu poli, které ho vyvolalo (Lenzův zákon). Oslabuje tak původní pole, čímž snižuje indukčnost cívky a zvyšuje její ztráty, které jsou spotřebovány na ohřev objektu. V důsledku snížení indukčnosti dochází i k ovlivnění elektrické impedance cívky. [10; 13]

Změna impedance je zpracovávána elektronikou senzoru, následně zesílena a převedena na výstupní signál. Výstupem ze senzoru může být přímo spojitý (analogový) signál nebo obvykleji binární (dvoustavový) výstup, jehož blokové schéma je patrné z obrázku 6. Ten může být dále zpracováván dalším nadřazeným systémem. [13]



Obrázek 6 Blokové schéma indukčního snímače[13]

Vzhledem k bezkontaktní polovodičové konstrukci indukčních senzorů nedochází jejich provozem k opotřebení. Za předpokladu, že nedojde k jejich mechanickému poškození, tak mají neomezenou životnost.[13]

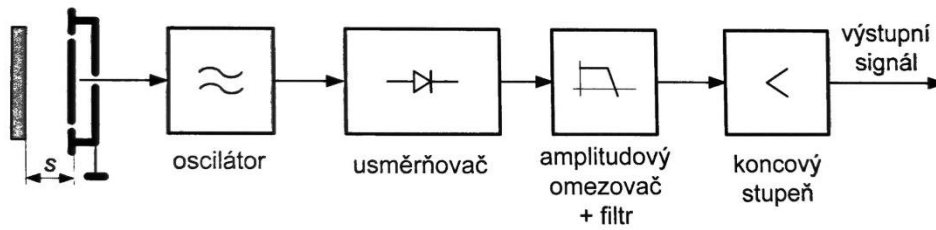
Indukční snímače se v průmyslové praxi používají na různorodé účely. Například v linkách mohou nahrazovat mechanické koncové snímače. Taktéž se využívají pro zpětnou vazbu polohy akčních členů například u ventilů a různorodých pohonů, kde je kritické zaručit změnu stavu. Často bývají využívány také pro počítání kusů výrobků procházejících linkou, či na počítání otáček, potažmo rychlosti otáčení, výrobního stroje.[13; 1]

#### 4.1.3 Kapacitní senzory

Kapacitní senzory na rozdíl od indukčních senzorů jsou schopny detekovat i nemagnetické předměty. Dělíme je do dvou kategorií, a to na kontaktní a bezkontaktní. V průmyslové praxi se však primárně využívají snímače bezkontaktní. [4]

Bezkontaktní snímače dokáží detekovat přiblížení jak vodivých, tak i nevodivých objektů. Obvykle se označují jako *proximity-senzor* (přiblížení) či jako *proximity-switch* (polohový spínač). Aktivním prvkem bezkontaktních snímačů je kruhová elektroda uvnitř válcového pouzdra, jež funguje jako stínění. Elektroda se stíněním tedy dohromady vytvářejí kondenzátor se základní kapacitou  $C_z$ . Přiblížením měřeného objektu se mění kapacita kondenzátoru  $\Delta C$ . Ten je součástí RC oscilátoru, jehož napětí je závislé na celkové kapacitě

$C_v = \Delta C + C_z$ . Následně je výstupní napětí oscilátoru usměrněno a vyfiltrováno. Zapojení senzoru je vyobrazeno na obrázku 7 ve formě blokového schématu. [4; 1; 13]



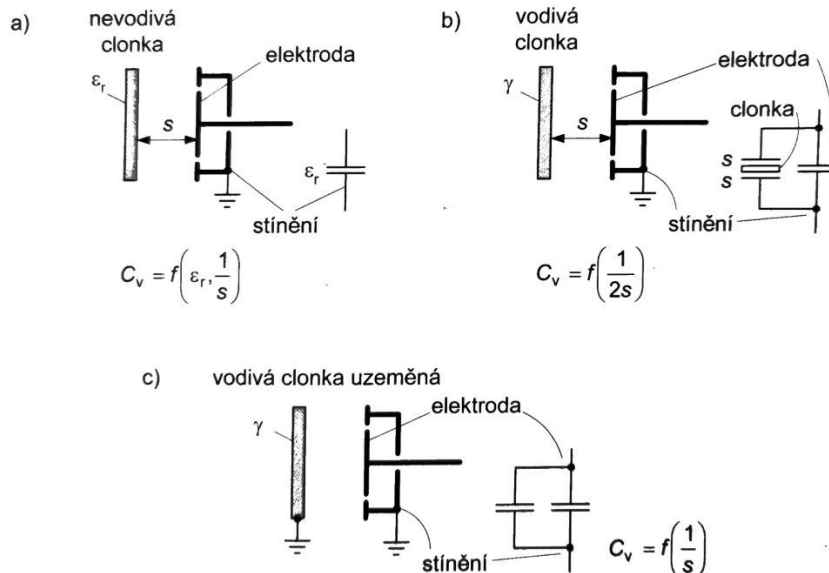
Obrázek 7 Blokové schéma bezkontaktního kapacitního snímače[13]

Po přiblížení měřeného objektu (clonky) může dojít k jednomu ze tří případů.

Přiblížením nevodivého objektu například z plastu nebo skla. Ten ovlivňuje změnu kapacity pouze změnou dielektrika v elektrickém poli kondenzátoru. Změna kapacity je velmi malá a závisí na velikosti a permitivitě měřeného objektu. V důsledku toho je i spínací vzdálenost malá. Viz obrázek 8a [4]

Druhá varianta je přiblížení vodivého, avšak neuzemněného předmětu. V tomto případě se k základnímu kondenzátoru  $C_z$  paralelně přidává sériová kombinace dvou kondenzátorů. Měřeného objektu vůči elektrodě a měřeného objektu vůči stínění. Změna kapacity je tedy větší než u nevodivého objektu, a proto je i spínací vzdálenost větší. Viz obrázek 8b [4]

Poslední variantou je přiblížení vodivého a zároveň uzemněného objektu. Senzor se chová jako paralelní kombinace kondenzátorů. Změna kapacity je tedy nejvyšší a snímací vzdálenost největší. Viz obrázek 8c [4]



Obrázek 8 Kapacitní bezkontaktní senzor[4]

Kapacitní senzory jsou ze své podstaty náchylné na znečištění a obzvláště na kondenzaci vody, z toho důvodu je nutné provádět kompenzaci těchto jevů. Toho se obvykle dosahuje přidáním kompenzační elektrody, která se umísťuje mezi elektrodu a stíněné pouzdro. Kapacitní senzory jsou poměrně náchylné i na různé druhy rušení a další vnější vlivy. Jejich popisem a možnostmi omezení či eliminace se budou zabývat další kapitoly.[13]

Kapacitní senzory nejsou v průmyslových linkách, a obecně v průmyslových aplikacích, příliš rozšířeny jako indukční senzory. Je to dáno především jejich závislostí na teplotě, ale také náchylností na rušivé jevy a tím pádem jejich malou rychlostí. Nicméně své uplatnění najdou často při hlídání kapalin a sypkých hmot. Taktéž se někdy aplikují například na snímání přetržení vodičů při výrobě kabelů, či na hledání kovových předmětů v aplikacích, kdy indukční senzor je málo citlivý, nicméně to sebou nese velmi specifické požadavky zvláště na rychlost měření. [13]

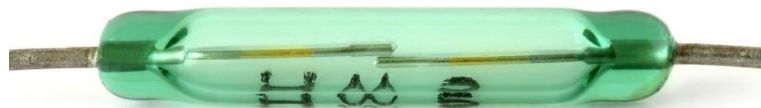
Mimo průmyslové linky se v posledních letech rozšiřuje trend používání kapacitních senzorů jako tlačítek. Obzvláště pak v automobilech, kde je výhodou jejich nízká cena a možnost zabudování pod sklo či plast při zachování estetického a moderního vzhledu. Často to však bývá na úkor ergonomie.[14]

#### 4.1.4 Magnetické senzory a spínače

Magnetické senzory jsou založeny na principech měření změn magnetického pole. Zdrojem tohoto magnetického pole je obvykle permanentní magnet. Nejčastěji se jedná o tvrdý ferit či neodymový magnet. Ten může být umístěn buďto přímo na měřeném předmětu, anebo může být součástí magnetického senzoru. Některé publikace například *Senzory a převodníky* RIPKA, Pavel. [4] uvádějí, že permanentní magnety jsou obvykle umístěny na senzoru. Jiné publikace například *Senzory v průmyslové praxi* MARTINEK, Radislav [13] naopak uvádějí, že magnety jsou obvykle umístěny přímo na měřených předmětech. Autor této práce se ze své praxe s průmyslovými linkami kloní spíše k názoru, že magnety bývají spíše umístěny přímo na měřených předmětech, například na ozubených kolech nebo na jiných rotujících tělesech.[4][13]

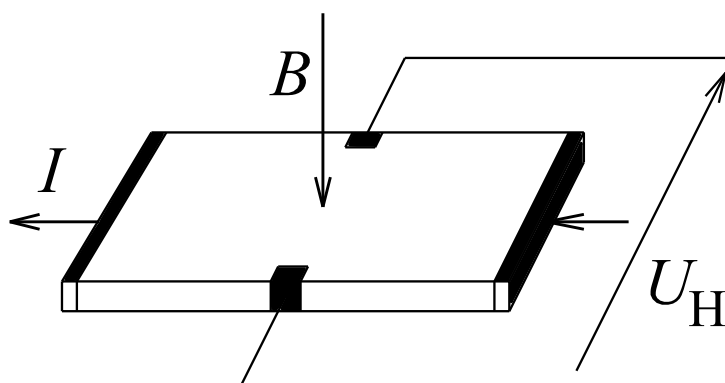
Magnetické senzory a spínače se dělí do vícero kategorií. Nicméně pro průmyslové linky jsou zásadní tyto tři kategorie. Jazyčkové kontakty (reed kontakty), Hallovy sondy a magnetorezistory.[1]

Jazyčkové kontakty (reed kontakty) se skládají ze dvou plíšků z magneticky měkkého materiálu, které jsou na kontaktních místech pokryty vrstvou drahých kovů (Ag, Au, Pt). Tyto plíšky jsou obvykle zataveny do skleněné ampulky naplněné inertním plynem o nízkém tlaku. Bez působení magnetického pole jsou plíšky rozpojeny (vyrábí si však i varianta s plíšky spojenými v normálním stavu), detail plíšku je patrný z obrázku 9. Avšak po vystavení magnetickému poli dojde k sepnutí kontaktů. Hodnoty magnetického pole pro sepnutí a rozepnutí se liší dle použití a vzniklá hystereze zabraňuje náhodnému spínání a rozepnutí. [4]



Obrázek 9 - Jazyčkový kontakt[15]

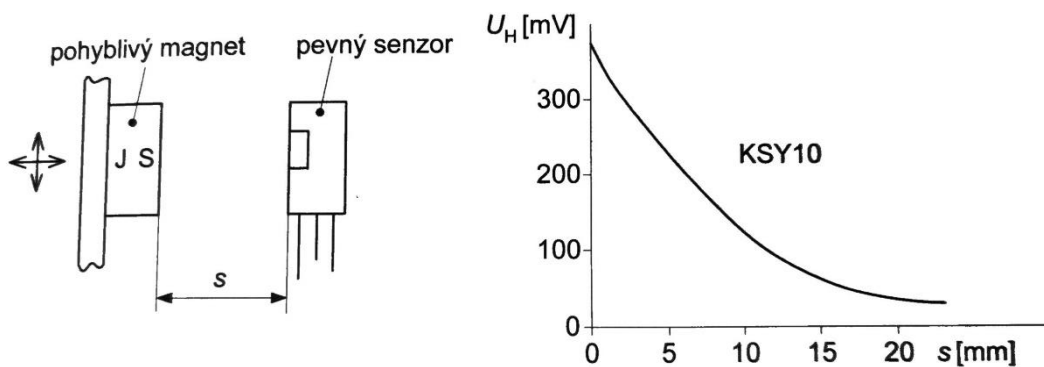
Hallovy sondy pracují na principu Hallova jevu, respektive jsou ovládány pomocí Hallova napětí  $U_H$ , které se generuje na elektrodách působením magnetického pole  $B$  na polovodičovou destičku, kterou prochází proud  $I$ , ten do ní vstupuje kolmo na magnetické pole viz obrázek 10. [1]



Obrázek 10 Princip Hallovy sondy[16]

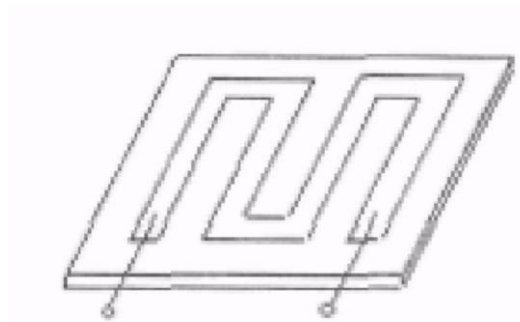
Halovo napětí samotné je velmi malé. Aby bylo možné ho dále v měřícím řetězci použít, je Hallova sonda doplněna o zesilovač a další podpůrné prvky obvykle v rámci jednoho integrovaného obvodu. Byť má Hallova sonda výstupy 4, tak Hallovy spínače (Hallova sonda včetně integrovaného zesilovače a ostatních podpůrných prvků) mají obvykle jen 3 vývody (napájení, zem, signál). Proto se vyrábějí v různých konfiguracích s odlišnými hodnotami spínacího a rozpínacího pole, hystereze a různě vymezenou frekvenční oblastí. Obvyklá síla spínacího pole se pohybuje mezi 1mT a 10 mT. Je důležité poznamenat, že magnetické pole musí být kolmé na tok proudu skrze Hallovu sondu. [4]

Nejjednodušší aplikací Hallova senzoru je umístění zdrojového magnetu na sledovaný objekt. Při takovémto umístění se bude se zvětšující se vzdáleností magnetu od senzoru snižovat napěťová úroveň signálu viz obrázek 11. [4]



Obrázek 11 Závislost Hallova napětí na vzdálenosti od magnetu[13]

Magnetorezistor je speciální druh rezistoru jehož elektrický odpor je ovlivňován magnetickým polem. Ve srovnání s Hallovou sondou má několikanásobně vyšší citlivost. A na rozdíl od Hallovy sondy je magnetorezistor citlivý na magnetické pole v rovině sondy. Jeho podoba je patrná z obrázku 12. [13]



Obrázek 12 Ilustrace Magnetorezistoru[17]

Jazýčkové kontakty se hojně využívají například u vodoměrů a průtokoměrů. V těchto aplikacích je permanentní magnet umístěn na turbíně průtokoměru, která se otáčí v závislosti na průtoku měřené tekutiny. Jedno otočení turbíny reprezentuje určitý proteklý objem, například 1 rotace = 10 L. Při každém otočení tak dojde k jednomu sepnutí jazýčkového kontaktu. Nadřazený řídicí systém sledující stav sepnutí tím získá informaci o proteklém objemu tekutiny.

Nejtypičtější aplikací Hallových senzorů v průmyslových linkách je hlídání a měření otáček. Méně typickým využitím je zjišťování úhlu natočení, při kterém se využívá faktu, že napětí se sníží při odklonění magnetu od kolmice dle funkce  $\cos(\alpha)$ . Taktéž se běžně užívají pro detekci přiblížení. [13]

Magnetorezistory se využívají stejně jako Hallové sondy jakožto senzory přiblížení, nicméně některé jejich subvarianty mohou nahrazovat Hallové sondy při detekci otáčení ozubených kol, kde jejich výrazně vyšší citlivost umožňuje větší vzdálenosti od měřeného předmětu a tím pádem i zjednodušuje výrobu a snižuje náklady. [13]

#### 4.1.5 Optické senzory

Optické senzory neboli optosenzory jsou rozsáhlá kategorie senzorů, které fungují na principu přeměny světla (elektromagnetického vlnění) na elektrický signál a naopak. Obvykle jsou složeny ze dvou částí. Vysílače a přijímače. Vysílač může být na bázi luminiscenční diody (LED) nebo laserové diody. Oba způsoby přetvářejí elektrický proud na elektromagnetické vlnění. Jako přijímací prvky se používají fotodiody, fototranzistory nebo PSD (liniové optoelektronické prvky). Tyto přijímací prvky jsou polovodičové součástky, které se dohromady označují jako fotodetektory. [18; 13]

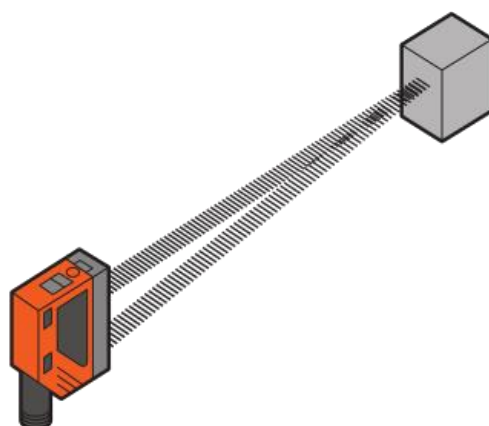
Důležitou informací při navrhování, ale i provozování optických senzorů, je výkonová či provozní rezerva. Výkonová rezerva je hodnota, o kterou přesahuje výkon na snímacím prvku minimální výkon nutný k sepnutí. Vzhledem k tomu, že žádný senzor nepracuje v dokonale čistém prostředí, je nutné mít jistou výkonovou rezervu tak, aby i při provozním zašpinění fungovala detekce spolehlivě. Zašpinění totiž způsobuje útlum signálu od vysílače. [13; 18]

Optosenzory se dělí do mnoha kategorií, pro průmyslové aplikace jsou však nejdůležitější tyto. Reflexní senzory, reflexní senzory s odrazkou, senzory obsahující oddělený vysílač

a přijímač (jednocestné závory), laserové binární senzory, laserové senzory pro měření vzdálenosti, optické zářezové senzory a senzory barevných značek. [18]

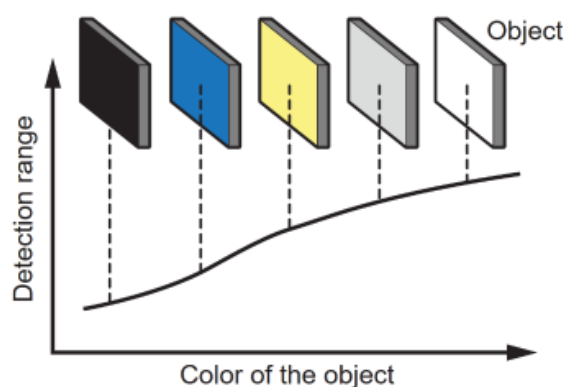
Jedním ze základních optosenzorů jsou reflexní senzory (difusní). Ty zjišťují přítomnost předmětu v jejich měřeném poli. Na rozdíl například od indukčních senzorů však dokáží zjistit o daném předmětu i další informace kromě jeho vzdálenosti. V závislosti na modelu a optice dokáží rozpoznávat vlastnosti jako je barva či kontrast. [18]

Nevýhodou difusních senzorů je jejich nízká výkonová rezerva. Obecně platí, že většinu světla měřený objekt pohltí. Mají také kratší dosah a v případě reflexního pozadí může docházet k nesprávným detekcím. U velmi reflexních povrchů je nutné zajistit kolmost senzoru tak, aby nedošlo k odražení paprsku mimo přijímač. Jejich výhodou je však nízká cena a jednoduchá instalace. Princip funkce difusního senzoru je patrný z obrázku 13. [18]

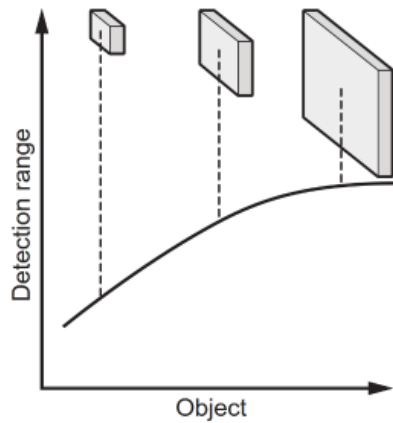


Obrázek 13 Ilustrace funkce optického difusního senzoru [18]

U difusních senzorů mají značný vliv jak velikost, tak i barva snímaného objektu, jak je znázorněno obrázku 14 a obrázku 15.

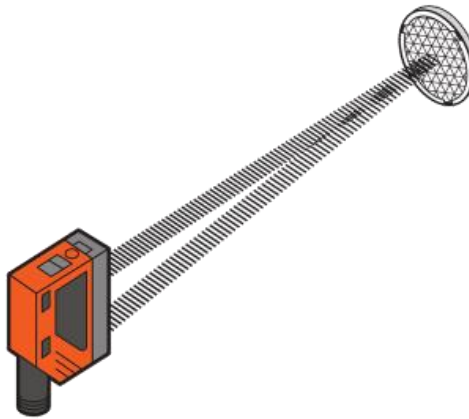


Obrázek 14 Závislost detekční vzdálenosti na barvě objektu [18]



Obrázek 15 Závislost detekční vzdálenosti na velikosti objektu [18]

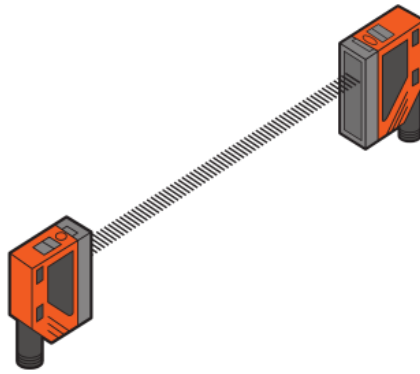
Dalším hojně využívaným druhem jsou reflexní závory s odrazkou. Senzor vyzařuje světlo směrem k odrazce, to se od odrazky vrací zpět viz. obrázek 16. Při průchodu předmětu bránou tedy dochází k přerušení optické dráhy, a tím k aktivaci senzoru. [18]



Obrázek 16 Ilustrace funkce optické reflexní závory [18]

Obvyklý dosah reflexních závor se pohybuje od 0,1 do 10 m. Reflexní závory nejsou vhodné pro snímání transparentních předmětů. Paprsek vysílaný senzorem je ve tvaru kuželu. [13]

Jednocestné závory jsou dalším druhem optických senzorů. Principiálně fungují velmi podobně jako ostatní optické senzory. Hlavním rozdílem je však to, že vysílač a přijímač jsou rozděleny viz. Obrázek 17. Díky tomu mají dobrou výkonovou rezervu. [18]



Obrázek 17 Ilustrace funkce jednocestné závory [18]

Laserové senzory pro měření vzdálenosti jsou speciální kategorií optických senzorů. K výpočtu vzdálenosti využívají triangulační metodu. Jedná se o komplexní metodu zjišťování vzdálenosti mezi dvěma body. [18]

#### 4.1.6 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory jsou senzory, které pracují na principu ultrazvuku, jak již jejich název napovídá. Jako ultrazvukové vlny obecně označujeme frekvence nad hranicí lidské slyšitelnosti. Obecně se jako ultrazvuk berou frekvence zhruba od 20 kHz do 1 GHz. Pro tyto frekvence ještě stále platí stejné fyzikální principy jako pro frekvence ze slyšitelného pásma. [4]

Detailní principy fyzikálních principů ultrazvukových senzorů jsou mimo rozsah této práce. Nicméně obecně se dá říct, že zvuk vzniká chvěním hmoty, která toto chvění předává svému okolí, například vzduchu nebo vodě. Zásadní rozdíl od elektromagnetického vlnění je v tom, že se vlny mohou šířit pouze hmotou. Ve vakuu se nešíří. Důležitou vlastností zvuku je fakt, že částice se nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných pozic. Rychlost šíření zvuku není závislá na frekvenci nýbrž je závislá na prostředí. Obecně platí, že čím blíže jsou si částice v prostředí, tím rychleji se vlny tímto prostředím šíří. [4]

Pro využití v průmyslových linkách je však zásadní primárně vzduch, případně jiné technické tekutiny. Rychlost šíření ve vzduchu závisí na kombinaci mnoha veličin od teploty, přes atmosférický tlak, až v neposlední řadě na relativní vzdušné vlhkosti. [13]

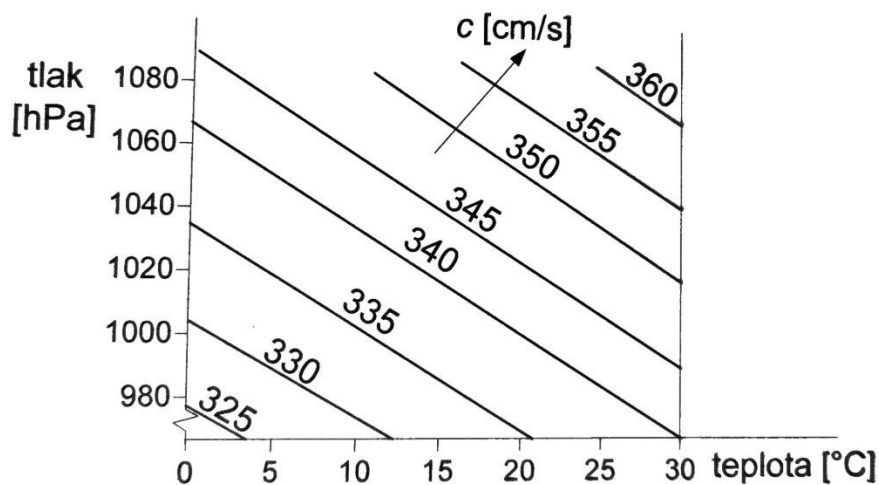
Pro rychlost šíření zvuku v plynném prostředí lze použít následující vzorec:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa * p_0}{\rho_0}} * (1 + \gamma t)$$

Kde  $c$  je rychlost zvuku,  $\kappa$  je Poissonova konstanta,  $p_0$  je tlak při 0 °C,  $\rho$  je hustota při stejné teplotě a  $t$  je teplota ve stupních Celsia.  $\gamma$  je činitel objemové roztažnosti plynu. [13]

Při standardním atmosférickém tlaku a teplotě 20 °C se udává rychlost šíření zvuku 343,8 m/s. Závislost rychlosti zvuku na teplotě a tlaku je patrná z obrázku 18.





Obrázek 18 Vliv atmosférického tlaku a teploty na rychlost šíření zvuku [13]

V průmyslové praxi se ultrazvukové senzory využívají primárně ve dvou případech. Těmi jsou měření vzdáleností a ultrazvukové závory. [13]

Senzory pro ultrazvukové měření vzdáleností fungují na principu měření času odezvy (echa). Senzor vyšle v jeden okamžik několik impulsů (signál), které putují prostředím rychlostí zvuku. Pokud signál narazí do nějakého předmětu, je část signálu jím pohlcena a část se odrazí zpět. Odražený signál se vrací zpět buď do vysílače, který je zároveň i přijímačem (toto je nejběžnější způsob), případně může být vyhodnocován jiným přijímačem. Vnitřní elektronika senzoru měří tedy čas od vypuštění impulsů až po jejich návrat. Vzhledem ke známé rychlosti šíření zvuku a známému času letu lze triviálním způsobem vypočítat vzdálenost předmětu, od kterého se ultrazvukové vlny odrazily. Na obrázku 19 je vyobrazen ultrazvukový snímač ve válcovém provedení se závitem. [4]

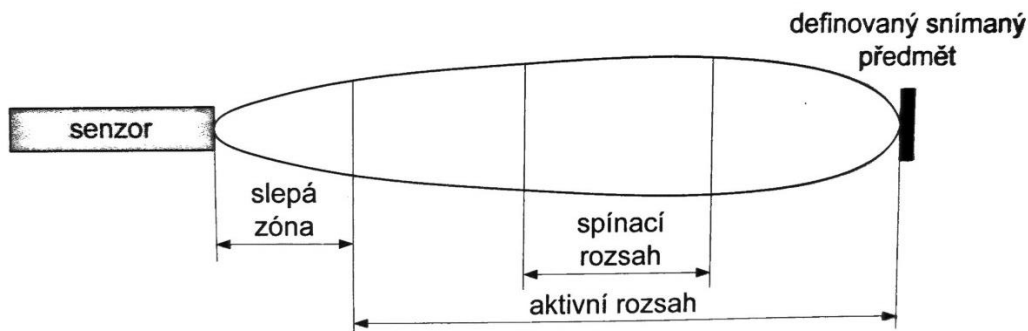


Obrázek 19 Ultrazvukový snímač vzdálenosti[19]

Ultrazvukové senzory v režimu závory se provozují v jednom ze dvou režimů. Buďto ve dvoucestném nebo jednocestném režimu. Ve dvoucestném režimu (reflexním) senzor vysílá impulzy na nepohyblivý reflektor, ty se pak odrazí zpět na senzor k jeho přijímači. Pokud mezi reflektor a senzor vstoupí předmět, dojde k odrazu dříve než v případě odrazu od reflektoru. To následně řídicí elektronika vyhodnotí jako průchod skrze závoru.[13]

V jednocestném režimu je naopak vysílač a přijímač oddělený. Při průchodu předmětu neprojde signál z vysílače k přijímači. Elektronika přijímače to opět vyhodnotí jako průchod skrze závoru.[13]

Při navrhování systémů s ultrazvukovými snímači je důležité vnímat a chápat limity snímačů. Je potřeba brát v potaz maximální, ale i minimální detekční vzdálenost. Ta je u senzorů, které fungují jako vysílač i přijímač zároveň, omezujícím faktorem. Pro běžné senzory s dosahem 1 m tato slepá vzdálenost činí 20 cm. Z aktivního rozsahu se taktéž obvykle nastavuje požadovaný spínací rozsah. Obrázek 20 zobrazuje jednotlivé zóny snímače. [13]



Obrázek 20 Rozsah činnosti ultrazvukové senzoru[13]

Ultrazvukové snímače jsou vhodné do prostředí s výskytem stříkající vody, kdy jsou oproti konkurenčním optickým snímačům méně náchylné na zašpinění, lom a tříštění signálu. Taktéž jsou vhodné například pro detekci skleněných předmětů, u kterých by opět při použití optických senzorů docházelo k lomu světla a tím pádem i provozní nespolehlivosti. [13]

## 4.2 Senzory teplotních veličin

Teplotní senzory se řadí do kategorie procesních senzorů. Jedná se o základní senzory, které se využívají téměř ve všech výrobních procesech. Ať již pro sledování stavu vyráběného výrobku, tak i pro kontrolu výrobní linky jako takové, či k případné detekci závad (například přídřený motor). [2]

Teplotní senzory se dělí do kategorií dle principu jejich funkce. Základní dělení je na odporové kovové, odporové polovodičové (termistory), termoelektrické a speciální. [20]

### 4.2.1 Odporové teplotní senzory

Odporové kovové teplotní senzory (RTD – resistive temperature detectors), jsou základním zástupcem teplotních snímačů. Princip funkce odporových teplotních snímačů je ve změně odporu kovu v závislosti na teplotě. U většiny kovů s rostoucí teplotou roste i jejich odpor. Teplotní závislost lze vyjádřit pomocí teplotního součinitele  $\alpha$ , pro ten platí následující vztah. [1]

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{\partial R}{\partial \vartheta} \approx \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{\Delta \vartheta} [K^{-1}]$$

Pro provozní teploměry se však využívá zjednodušený vztah pro rozsah teplot 0 °C až 100 °C.

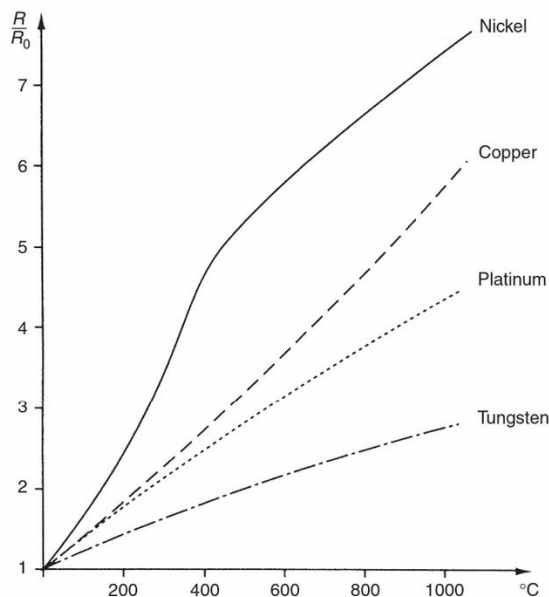
$$R = R_0(1 + \alpha T)$$

Kde  $\alpha [K^{-1}]$  je součinitel odporu, (tabulková hodnota dle použitého materiálu)

$R_0$  je odpor teploměru při teplotě  $0\text{ }^\circ\text{C}$

$R$  je výsledný elektrický odpor senzoru

Nejběžnějším typem jsou teploměry platinové. Méně časté jsou teploměry na bázi niklu, mědi a molybdenu. Na obrázku 21 je zobrazena obvyklá charakteristika odporu pro jednotlivé kovy. [4]



Obrázek 21 Závislost odporu na teplotě pro různé kovy [1]

Platinové teploměry se hojně využívají pro svou vysokou teplotu tání, chemickou odolnost a časovou stálost. Nejvíce využívaným a notoricky známým zástupcem této skupiny je Pt 100. Číslo 100 reprezentuje velikost elektrického odporu při  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , dalším zástupcem je Pt 1000, který má dle stejného klíče odpor  $1000\ \Omega$  při teplotě  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Taktéž se vyrábí senzory Pt 50, 200, 500 a 2000. [4]

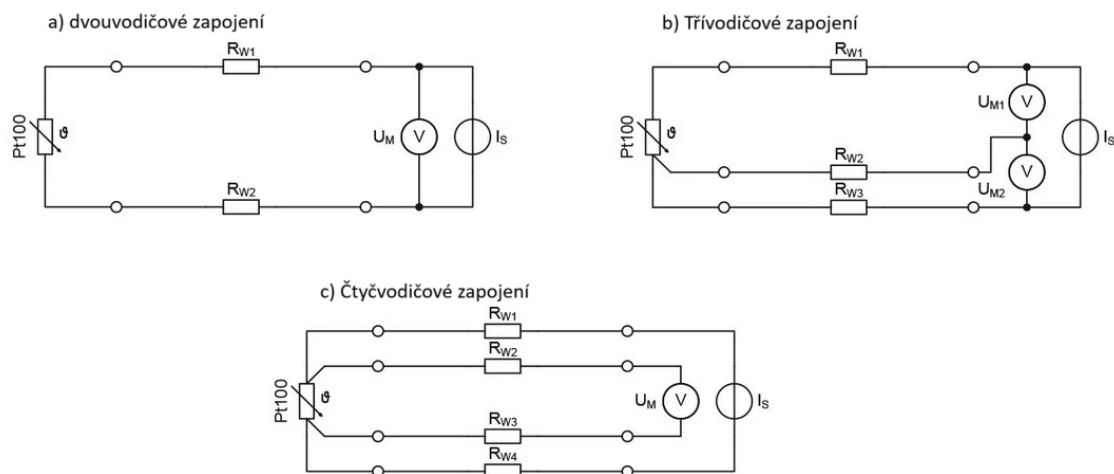
Teploměry se mohou vyrábět různými technologiemi, nejvíce rozšířenými jsou drátková technologie a tenkovrstvá technologie. Kovové odporové teplotní senzory se obvykle vyrábějí ve dvou, tři a čtyř-vodičovém provedení. [4]

U odporových teplotních senzorů je nutné brát v potaz parazitní vlivy, které jsou dané principem jejich funkce. Tím je primárně myšlen parazitní odpor, který do měření vnáší připojovací vodiče a ostatní příslušenství, které je nutné pro provoz senzoru. Pro teplotní snímače typu Pt se proto využívá několika druhů zapojení, které se aplikují za účelem omezení těchto vlivů. [4]

Nejjednodušším typem zapojení je „dvouvodičové“ viz Obrázek 22a, odpor přívodních vodičů není nijak kompenzován. Pokud takovýto senzor připojíme pomocí vodiče s průřezem  $0,34\text{ mm}^2$ , chyba na jednom metru může být až  $0,25\text{ }^\circ\text{C}$ . Pokud je známá délka vedení a odpor vodiče na jeden metr, je možné tuto chybu kompenzovat pomocí softwaru ve vyhodnocovací jednotce. V takovém případě se nicméně jedná o pouhý odhad a kompenzace proto nemusí být přesná. [21]

Nejčastěji používaným zapojením je zapojení třívodičové viz Obrázek 22b. Třetí vodič umožňuje změření odporu vedení, tím pádem může být jeho vliv odstraněn. Tato kompenzace je opět prováděna ve vyhodnocovací jednotce. [21]

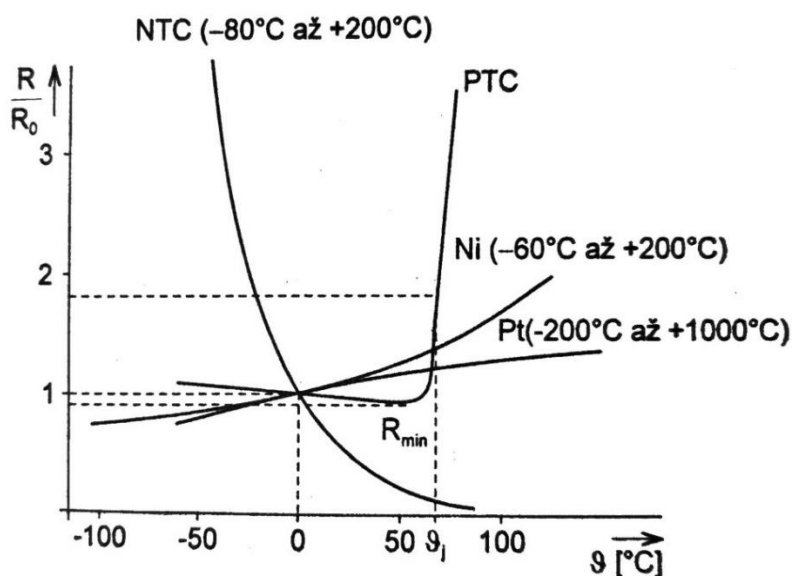
Poslední a nejpřesnější metodou měření je čtyřvodičová. Při této metodě se měří proud a úbytek napětí senzorem odděleně, viz obrázek 22c. Díky tomu je možné kompenzovat vedení i jiné parazitní vlivy. [21]



Obrázek 22 Zapojení teplotních senzorů typu Pt [21]

#### 4.2.2 Termistory

Termistor je polovodičový odporový senzor teploty. Dělí se na dvě kategorie NTC (negative temperature coefficient) a PTC (positive temperature coefficient) dle součinitele odporu. Jejich závislost odporu na teplotě není lineární, jak je zobrazeno na obrázku 23, kde je možné vidět srovnání termistorů NTC a PTC s kovovým odporovým senzorem Pt. [2]



Obrázek 23 Porovnání teplotní závislosti termistorů s senzorem typu Pt[4]

NTC, jak již jejich název napovídá, mají negativní teplotní součinitel odporu. Jejich teplotní rozsah se obvykle pohybuje od -50 °C do 150 °C, ale existují i termistory s větším rozsahem. Pokud porovnáme NTC termistory se senzory typu Pt, vykazují výrazně menší stabilitu. Výhodou NTC termistoru je jeho malá velikost ve srovnání s platinovým senzorem. Nicméně značnou nevýhodou může být jeho nelineární průběh odporu v závislosti na teplotě. [2]

PTC termistory mají na rozdíl od NTC termistorů kladnou hodnotu součinitele odporu. Jejich odpor se zvyšující se teplotou nejprve mírně klesá, ale jakmile překročí Curieovovu teplotu začne odpor exponenciálně stoupat. PTC termistory jsou proto vhodné primárně jako dvoustavové prvky pro signalizaci překročení mezní hodnoty. [4]

### 4.3 Senzory tlaku

Senzory tlaku jsou dalším zástupcem procesních snímačů. Po teplotních snímačích se jedná o nejvíce používané senzory. U tlaku rozeznáváme tři způsoby jeho vyjádření. Prvním je absolutní tlak. Ten se udává od nulového tlaku. Dalším druhem je přetlak, ten je definován jako rozdíl měřeného absolutního tlaku od tlaku atmosférického. [1]

$$\text{Absolutní tlak} = \text{Přetlak} + \text{Atmosférický tlak}$$

Atmosférický tlak se liší podle polohy na planetě a podle nadmořské výšky. Jako hodnota normálního atmosférického tlaku při 15 °C se udává 101 325 Pa.

Poslední formou měření tlaku je diferenciální tlak, ten udává rozdíl dvou absolutních tlaků vůči sobě. Často se využívá před a za nějakou součástkou v systému, na které dochází k úbytku tlaku. [1]

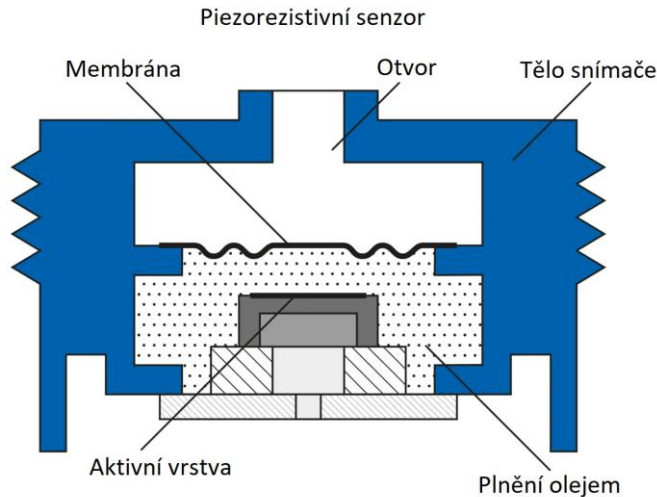
Tlak je definován jako síla rozložená na plochu, tak je možné změny a hodnoty tlaku převést na sílu. Tu je možné následně různými systémy měřit. Systémy měření se dělí na přímé a nepřímé. [2]

Přímé senzory převádějí tlak (respektive sílu) rovnou na jinou měřitelnou veličinu. Například na náboj (piezoelektrické senzory), elektrický odpor nebo magnetické vlastnosti.[2]

Nepřímé senzory vyžívají pružný mezičlen, který se deformuje (ohyb, tah, tlak, smyk nebo krut) a jeho deformaci následně převádíme na elektrickou veličinu. Tímto mezičlenem bývá nejčastěji membrána, ale může mít formu trubky, vlnovce nebo nosníku. [2]

Nejčastěji se využívají senzory tlaku membránové deformační. Měřicí element těchto senzorů se skládá z kruhové membrány zvlněné soustřednými kruhy. Na jednu část membrány je následně přiváděn měřený tlak, který způsobí její průhyb. Ten je měřen a převeden na elektrický signál. Závislost průhybu membrány na tlaku je zhruba lineární. Pokud se přivede tlak i na druhou stranu membrány, může být tlakoměr využit i jako diferenciální. Obecně se membránové tlakoměry využívají pro tlaky do 4 MPa. Pro nízké tlaky bývá membrána textilní s kovovými příložkami. [22]

Příkladem membránového senzoru může být senzor piezorezistivní. Jak je patrné z Obrázku 24, u tohoto druhu membránového snímače je prostor mezi membránou a čidlem (zde označeným jako aktivní vrstva) vyplněn olejem, ten slouží jako médium pro přenos tlaku z membrány na čidlo. Po přivedení tlaku se nejdříve začne deformovat membrána, která následně tlačí na olej, který je v kontaktu s čidlem. V důsledku, toho se pod tlakem mění rezistivita čidla, kterou lze následně převést na signál. [23]



Obrázek 24 Schéma piezorezistivního senzoru tlaku [23]

Existuje mnoho dalších variant senzorů tlaku. Obecně se v průmyslu využívají pro měření tlaku plynů, ale i kapalin. Mají velký význam ve většině regulačních úloh, od ovládání hydraulických mechanismů, po měření rozdílu tlaku před a za redukčními ventily a jinými zařízeními.

#### 4.4 Kamerové systémy

Kamerové systémy se ze své podstaty sice řadí mezi optické senzory, ale vzhledem k odlišnému výstupnímu signálu a diametrálně odlišnému systému zpracování signálu (obrazu) je vhodné je oddělit.

Trendem posledních doby a součástí vize Průmyslu 4.0 je integrace kamerových systémů s rozpoznáním obrazu ve širokém spektru aplikací. Dnes se již běžně využívají kamerové systémy pro kontrolu povrchu materiálu, jeho rozměrů a kontrolu kompletnosti výrobků. Zde v roli kontroly kvality jsou s vysokou přesností schopny vyhodnotit vadný výrobek a vydat pokyn k jeho vyřazení. Taktéž se čím dál více prosazují i v oblasti navádění robotických manipulátorů ve výrobních linkách. To snižuje nároky na přesnou aretaci produktu na výrobní lince. Také umožňují automatizaci procesů, které byly donedávna považovány za příliš složité a nákladné k automatizaci a byly proto vykonávány manuálně. [24; 25]

Tyto systémy ve velké míře využívají prvků strojového učení. Strojové učení je podoblastí dnes velmi skloňované Umělé inteligence. Zahrnuje metody umožňující počítači „učit se“. Pod tímto termínem je obecně chápána schopnost stroje měnit vnitřní stav systému v závislosti na vnějších podmínkách. Tyto změny vnitřního stavu by měly vyústit k vyšší efektivitě systému při dané činnosti a ke zpřesňování výsledků zkoumaných dat. [24; 25]

Další silnou oblastí, kde se kamerové systémy již v dnešní době využívají, je evidence a sledování průběhu výrobků v rámci výrobního procesu. Zde se využívá různých optických kódů – QR, čárových, a dalších, které umožňují rychlé a spolehlivé načtení informací o daném výrobku. To umožňuje efektivní a rychlou práci s daty svázanými přímo s výrobkem. [25]

## 5 Zpracování informací ze senzorů

Výstupem aktivních částí (čidel) je u senzorů se spojitým výstupem signál v „hrubé“ podobě. Takovýto signál je nutné pro další zpracování dále upravit, jelikož koncové regulační a vyhodnocovací prvky mají vstupy navrhnuté na standardizovaná rozhraní. Jedná se o analogová rozhraní jako 0–10 V, 20 mA či rozmezí 4-20 mA, případně v dnešní době spíše o digitální formy rozhraní pro přenos informací. [1]

### 5.1 Analogové zpracování signálu

Analogovým zpracováním signálu se rozumí zpracování pomocí analogových obvodů využívajících operačních zesilovačů a dalších komponent. [26]

Mezi přední výhody analogového zpracování signálů patří jeho rychlost. Dokáže reagovat rychleji než jeho číslicové protějšky. Další z výhod analogových obvodů může být jejich funkce vycházející z fyzického designu obvodu. Z tohoto důvodu jsou i v dnešní době stále velmi oblíbené v aplikacích, kde je důležitá bezpečnost funkce a spolehlivost. [26]

Z těchto důvodů se občas ještě používá analogové zpracování u průmyslových linek v bezpečnostních aplikacích. U těch je žádoucí, aby reakce byla okamžitá a nečekalo se například na mikroprocesor, který by v krajním případě mohl „zamrznout“ a nereagovat na vstup (nicméně u dnešních specializovaných a certifikovaných zařízení je to téměř vyloučeno). Vstupy jsou vyhodnocovány pomocí operačních zesilovačů, ty při překročení předem dané meze spustí do pohybu příslušný bezpečnostní mechanismus. [1]

Příkladem mimo průmyslové linky, avšak v rámci automotive aplikace, může být v soutěži Formula Student deska BSPD (Brake System Plausibility Device), která zajišťuje funkci kontroly funkčnosti brzdového systému a ovládacího systému plynu. Ta v rámci pravidel soutěže musí své vyhodnocování provádět čistě analogově. Tento požadavek je kladen proto, aby bylo možné zkontrolovat její funkčnost ve všech stavech a po ověření nebylo například pomocí změny softwaru možno upravit její chování. To je u ní dáno designem obvodu a je neměnné. [27]

V dnešní době jsou často analogové obvody využívány pro předpřípravu signálu pro další číslicové zpracování. Jedná se především o analogové filtry, ve velké míře jako různé varianty horních a dolních propustí, případně ve formě signálových zesilovačů. [26]

### 5.2 Digitální zpracování signálu

Na počátku digitálního zpracování signálu je analogový signál. Ten je vzorkován, kvantován a kódován analogově číslicovými (A/Č taktéž bývají označovány jako A/D analogově digitální převodníky) převodníky. Výsledkem je posloupnost čísel, kterou je možné dále digitálně zpracovávat. [2]

Proto, aby digitalizovaný signál co nejlépe popisoval původní spojitý signál, je nutné dodržet zásady návrhu pro A/D převodníky. [28]

Jednou ze základních podmínek pro správnou reprezentaci spojitého signálu číslicovým převodem je vhodný výběr vzorkovací frekvence. Již z principu bude vyšší zvolená vzorkovací frekvence lépe popisovat vstupní signál. Nicméně z ekonomických, ale i čistě praktických důvodů, se nevyplatí vzorkovat všechny signály v řádech MHz či dokonce GHz.

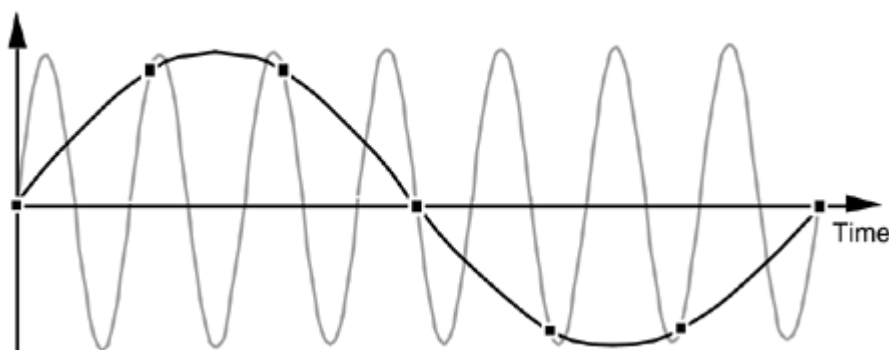
Množství dat z takového vzorkování by bylo příliš rozsáhlé a cena takového řešení značná. Proto se vždy volí vzorkovací frekvence dle očekávaného signálu. [28] Ke zvolení vhodné vzorkovací frekvence může přispět například Nyquistův–Shannonův teorém, který říká: „Přesná rekonstrukce spojitého, frekvenčně omezeného signálu z jeho vzorků je možná tehdy, pokud byla vzorkovací frekvence vyšší než dvojnásobek nejvyšší harmonické složky vzorkovaného signálu“ [29, s. 11]

Teorém se dá matematicky vyjádřit vztahem:

$$f_{vz} > 2f_{max}[s^{-1}]$$

Kde  $f_{vz}$  je frekvence vzorkování a  $f_{max}$  je maximální frekvence, která se v signálu vyskytuje.

Pokud toto základní pravidlo není dodrženo, dochází k aliasingu (falšování). Informace v původním signálu je totiž příliš nízkou frekvencí vzorkování zfalšována. Tento jev je viditelný na obrázku 25. Při praktické aplikaci se však využívají čtyř a více násobky maximální frekvence signálu. [26]

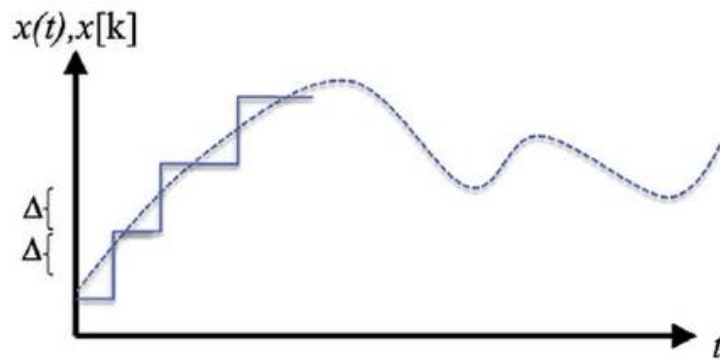


Obrázek 25 Ilustrace aliasingu - světle vstupní signál, tmavě výstupní reprezentace [30]

Dodržení Nyquistovy frekvence (hraniční frekvence aliasingu) nicméně nevyřeší aliasing z pohledu spektrální analýzy. Pokud signál obsahuje vícero sinusových složek, je nutné tomu adekvátně přizpůsobit frekvenci vzorkování tak, aby se vyšší frekvence, než je Nyquistova, nezkreslila na nižší. Případně pokud tyto části spektra nejsou pro měření důležité, je vhodné je odfiltrovat například pomocí filtru typu dolní propust s vysokou strmostí. [31]

Kvantování je další důležitou částí procesu digitalizace signálu. Na rozdíl od vzorkování, kdy dochází k diskretizaci na bázi času, kvantování provádí diskretizaci na bázi amplitudy. Vstupní signál rozlišuje do jednotlivých kvantizačních úrovní, jak je možné vidět na obrázku 26. Počet těchto úrovní je určen rozlišením A/Č převodníku. Například převodník s rozlišením 8-bit dokáže rozlišit pouze 256 úrovní. Převodník s rozlišením 24-bit dokáže rozlišit 16,8 milionu úrovní. Pokud zvolené rozlišení není dostatečně jemné, vzniká kvantizační šum neboli falešné kvantizační hrany. Převodníky s vyšším rozlišením bývají dražší, ale také pomalejší, než převodníky s nižším rozlišením. Proto je důležité korektně vyhodnotit požadovanou přesnost a podle ní vybrat převodník s adekvátní přesností. [26]





Obrázek 26 Ukázka kvantizace [1]

Velikost jednotlivých hladin lze snadno vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$\Delta = \frac{V_R}{2^B}$$

Kde  $V_R$  je měřený rozsah (nejčastěji ve voltech) a  $B$  je rozlišení A/D převodníku v bitech.

Výsledkem je rozlišení hladiny. Pokud je rozdíl menší než toto rozlišení, je hodnota zaokrouhlena k nejbližší hladině.[1]

### 5.3 Senzorové komunikační sběrnice

Už od 80. let minulého století bylo jasné, že pro správu a stavbu čím dál tím složitějších systémů řízení a monitorování není nejvhodnější řešením tažení separátního vodiče pro každý senzor. V důsledku toho vzniklo mnoho průmyslových sběrnic. Ty umožňují připojení velkého množství snímačů nebo aktorů do nadřazeného řídicího systému, a to při zjednodušení kabeláže. Níže budou představeni nejběžnější zástupci. [32; 4]

#### 5.3.1 AS-Interface

AS-I je otevřený standardizovaný sběrnice systém určený pro řízení nižší úrovně procesů. Pomocí dvou vodičové linky je možné spojit až 31 senzorů a akčních členů. Přes toto propojení probíhá nejen výměna dat, ale i napájení pro koncové prvky (slaves). Maximální délka sběrnice je 100 m. [32]

#### 5.3.2 Profibus

Profibus (Process Field Bus) je v dnešní době jedna z nejrozšířenějších průmyslových sběrnic. Umožňuje řízení jak centralizované, pomocí hlavní řídicí jednotky, ale i decentralizované s lokálními řídicími jednotkami. Velkou výhodou je, že může využívat metalické i optické vodiče pro datové propojení. Profibus existuje ve dvou variantách DP a PA. Na úrovni fyzické bývá použit standard RS-485. [32; 4]

Varianta DP je běžnější a poskytuje přenosovou rychlost 12 Mbps, zároveň může být na sběrnici připojeno až 126 zařízení. [32]

Druhá odnož je PA, ta má výrazně nižší přenosovou rychlost, pouze 31,25 kbps, nicméně je velmi odolná vůči rušení, a díky tomu je vhodná pro výbušná prostředí a dlouhé kabelové trasy. [32]

### 5.3.3 CANOpen

CANOpen vychází ze standardu CAN (Controller Area Network), který byl původně určen pro automobily. CANOpen protokol upravuje CAN pro použití nejen v průmyslu, ale i ve zdravotnictví, na železnici a jiných odvětvích. Komunikace probíhá pomocí telegramů, kdy maximální přenosová rychlost je 1 Mbps a maximální délka sběrnice je 40 m. [4]

### 5.3.4 IO Link

IO Link (Input Output Link) je sběrnice určená, jak již její název napovídá, pro komunikaci s koncovými prvky, tj. senzory a aktory. Jednotlivé koncové prvky komunikují s masterem pomocí tří vodičového zapojení. Samotný master může být následně zapojen do některé z průmyslových sběrnic pro komunikaci s nadřazenými kontrolními systémy. Sběrnice umožňuje obousměrnou komunikaci, čímž dovoluje pokročilou diagnostiku koncových prvků. [32]

### 5.3.5 Profinet

Profinet je nástupcem Profibusu. Jedná se již o datovou komunikaci postavenou na standardu Ethernet, respektive Industrial Ethernet. Profinet je modulární komunikační systém, který může být uzpůsoben pro téměř jakékoliv prostředí od automatizace budov, řízení infrastruktur, automatizaci výrobních procesů až po řízení pohybu manipulátorů a dalších zařízení. [32]

### 5.3.6 Modbus

Modbus je otevřený datový protokol. Umožňuje komunikovat po různých přenosových mediích, například přes ethernet v případě Modbus TCP nebo v případě Modbus RTU po sériové lince (obvykle RS-485). Komunikace probíhá formou request / reply, tedy požadavek a odpověď. Master vždy pošle na koncové zařízení (slave) požadavek, a to mu odpoví buď naměřenou hodnotou, nebo změnou svého nastavení. Varianta RTU nejčastěji využívá rychlost linky 19200 baudů. [33]

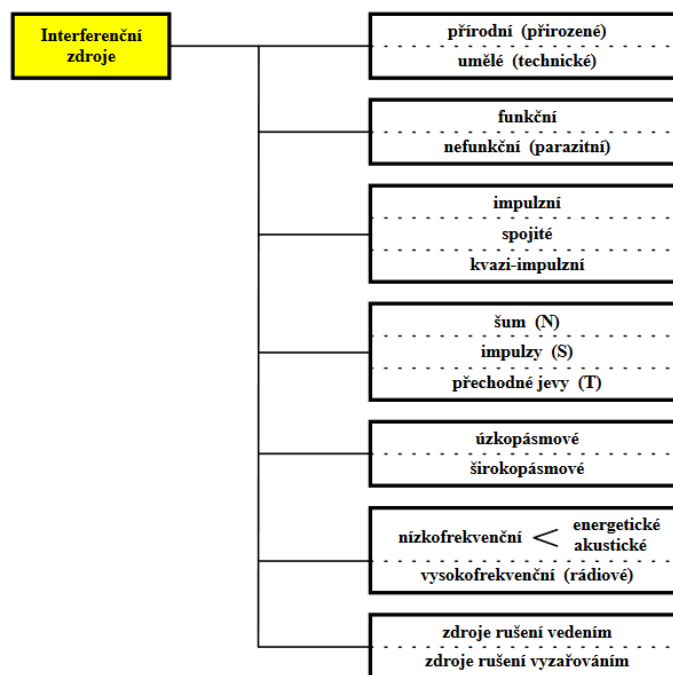
## 6 Elektromagnetické rušení

Všechny elektrotechnické systémy jsou zdrojem, ale i příjemcem elektromagnetického rušení. Při řešení elektromagnetického rušení, respektive EMC (Elektromagnetické kompatibility) se setkáváme se dvěma hlavními pojmy. [34]

Úroveň vyzařování – tedy rušení, které je generované samotným zařízením. Vyjadřuje se například v dBm a je svázané s frekvencí. [34]

Úroveň odolnosti – maximální úroveň rušení, za kterého je přístroj (nebo linka) schopen fungovat bez vlivu na provoz. [34]

Zdroje rušení, neboli interferenční zdroje, rozdělujeme do skupin dle různých hledisek, viz. obrázek 27.



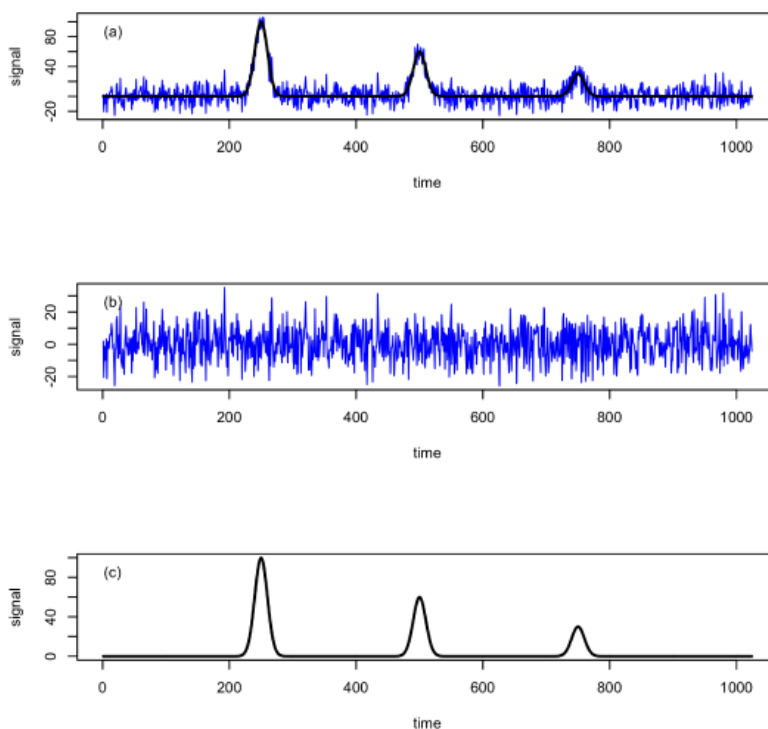
Obrázek 27 Klasifikace zdrojů rušení [34]

Přirodním zdrojům rušení není většinou možné z jejich principu zabránit. U nich se proto zaměřujeme především na omezení jejich následků. Při eliminaci zdrojů rušení se tedy soustředíme na umělé (technické) zdroje. [34]

Zdroje rušení, které jsou způsobeny principem funkce některého ze systémů (například televizní nebo rádiové vysílání), které mohou způsobit rušení v jiném systému, se nazývají funkční. Naopak signály generované jako vedlejší a nežádoucí, se nazývají nefunkční nebo parazitní. [34; 1]

Rušení dále můžeme rozdělovat například dle jejich časového charakteru, frekvenční charakteristiky či šířky pásma, které okupují. Pro průmyslové aplikace je však zásadní dělení na šum, impulzy a přechodné jevy. [34]

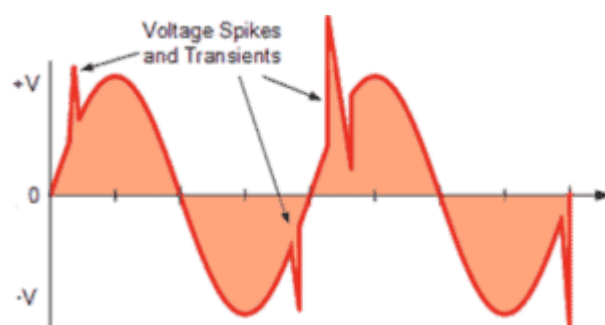
Šum – V oblasti EMC se tímto pojmem označují rušivé signály, které ovlivňují tvar užitého (námi měřeného) signálu. Pro šum je charakteristický jeho periodický průběh, který je vyobrazen na obrázku 28. [34]



Obrázek 28 Vazba šumu na signál [35]

Impulzy – jsou impulsní rušivé jevy (anglicky spikes) charakteristické jejich velkým poměrem velikosti k době trvání. V užitečném signálu se projevují jako kladné nebo záporné špičky, viz. obrázek 29. Obvykle vznikají při kontaktním spínání. [34]

Přechodové jevy – anglicky transients, jsou podobné impulsním jevům, ale liší se od nich svou charakteristikou. Jejich poměr velikosti ku trvání je velmi malý. Respektive probíhají velmi rychle, jejich trvání je nejčastěji v řádech milisekund, případně nižších sekund. Obvykle jsou způsobovány prudkou změnou zatížení. [34]



Obrázek 29 Příklad impulsních a přechodových jevů [36]

V průmyslových aplikacích se nejčastěji setkáváme s rušením způsobovaným harmonickými složkami odvozenými od napájecího kmitočtu (50 Hz v Evropě, 60 Hz v Severní Americe). Tyto kmitočty mohou vznikat už při výrobě elektrické energie nebo mohou být do napájení zavlečeny jinými zařízeními na téže části sítě. [34]

K vysokofrekvenčním oscilacím dochází například při spínání a rozepínání elektrických a mechanických spínačů v důsledku kapacitních a indukčních vlastností elektrického vedení

a k němu připojených spotřebičů. Tyto tlumené oscilace mohou dosahovat až několika MHz a několika kV. Jejich trvání je však velmi krátké, pouze 5 až 10násobek jejich periody. [34]

Spínané měniče jsou dnes velmi běžným zdrojem rušení. V nich se běžně napájecí napětí transformuje na jinou napěťovou hladinu za pomoci harmonického napětí s kmitočty od desítek po stovky kHz. Vysoké kmitočty umožňují, aby transformátory měly kompaktní rozměry a vysokou efektivitu. Nicméně při tomto procesu je generováno značné množství elektromagnetického rušení v širokém spektru. Pokud tedy u takového zdroje není kvalitně provedeno odrušení nejen na výstupu, ale i na vstupu, dochází k zavlečení rušení i do dalších prvků v okolí, ať už se jedná o napájený prvek nebo i napájecí síť. [34]

Z výše popsaného vyplývá, že je žádoucí omezovat vlivy rušení na celý systém. Ve své podstatě existují tři možnosti, kde lze rušení omezit či eliminovat. Přímo u zdroje, na přenosové trase nebo v přijímači. Nejlepším řešením je odstranění rušení přímo u jeho zdroje. Tím se zamezí šíření rušení do koncového zařízení, které se snažíme ochránit, ale i do dalších zařízení v okolí. Bohužel toto není vždy možné, například pokud komponenta, která rušení generuje, není plně pod naší kontrolou nebo se jedná o výše popsané „funkční“ rušení. [34]

K potlačení rušivých vlivů u jejich zdroje nebo v přijímači využíváme odrušovací prostředky. Odrušovacími prostředky mohou být například:

- Odrušovací LC filtry
- Odrušovací kondenzátory
- Odrušovací tlumivky
- Přepět'ové ochrany
- Elektrické, elektromagnetické stínění

Jejich vhodnou kombinací lze docílit snížení rušení ve výsledném signálu. Samotné odrušovací metody jsou v praxi často implementovány výrobcí daných zařízení. Při sestavování jakéhokoliv systému je proto důležité dodržet doporučené postupy a konfigurace tak, jak je výrobce doporučuje. [34; 31]

Důležitým prvkem v obraně vůči rušení je elektromagnetické stínění. To pomáhá omezit vyzařování na straně zdroje rušení a na straně přijímače pomáhá odolnosti vůči rušení. Důležité je také na přenosové trase, kde využití stíněných či koaxiálních kabelů pomáhá zvýšit odolnost a pomáhá zabraňovat vstupování dalšího rušení do celého řetězce. Pro snížení efektů rušení se též využívá kroucení. [34]

Typickým zástupcem může být kroucená dvojlinka. Ta je tvořena dvojicí vodičů, které jsou po své délce pravidelně krouceny. Dva souběžně vedoucí vodiče se chovají jako antény a vyzařují elektromagnetické vlnění (rušení), tento efekt jde do velké míry omezit právě díky kroucení. Vyzařovaný rušivý signál se v důsledku kroucení v jednotlivých půlzkřutech vyruší. [34]

## 7 Porovnání analogového a digitálního zpracování signálů

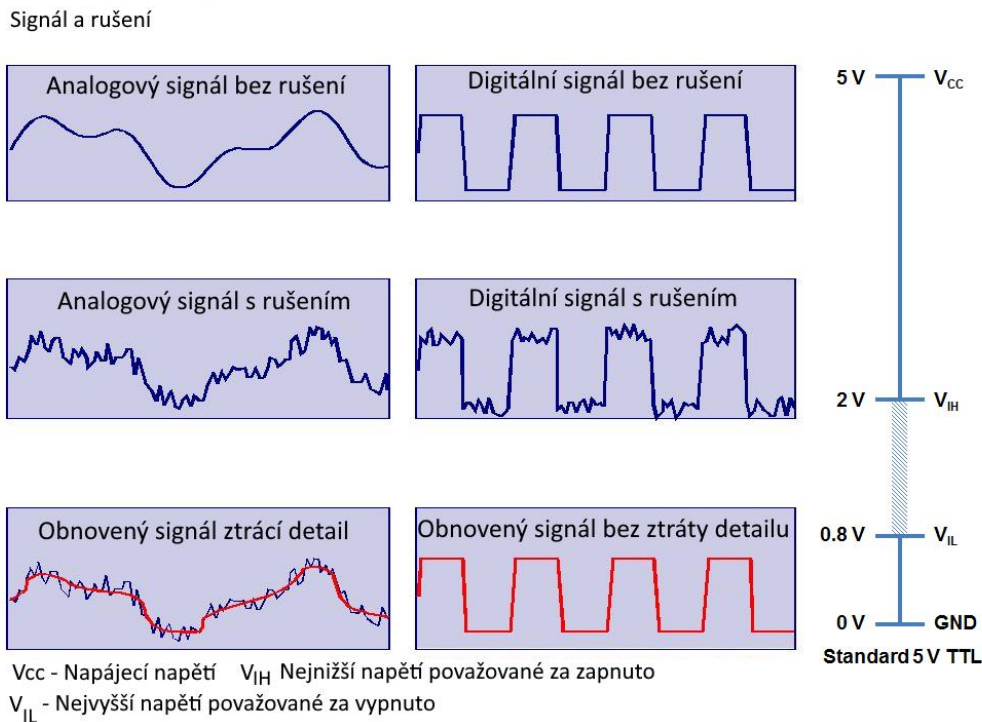
V kapitolách výše jsou uvedeny principy funkce analogového a digitálního zpracování signálu. Obě metody zpracování signálů mají své výhody, ale i nevýhody. V následujících odstavcích budou tyto dva způsoby zpracování signálů porovnány z různých pohledů.

### 7.1 Rychlost zpracování

Z pohledu rychlosti mají jednoznačně navrch analogové systémy. Jejich maximální rychlost je totiž limitována pouze fyzikálními zákony. Digitální obvody jsou omezeny rychlostí nejpomalejšího článku, což často bývá digitálně analogový převodník, případně různé formy digitálních filtrů a analýz. S rychlostí digitálních obvodů také úzce souvisí jejich přesnost. Jak bylo zmíněno v kapitole 5.2, se zvyšující se přesností klesá jejich rychlost. To souvisí s nutností kvantizace signálů, neboť rozlišení do více úrovní zabere více času.

### 7.2 Odolnost vůči rušení

Elektromagnetické rušení ovlivňuje jak analogové, tak digitální signály. Nicméně digitální signály díky jejich dvoustavové (binární) formě mají do jisté míry výhodu. Binární 1 a 0 jsou reprezentovány danými napěťovými úrovněmi. Například u 5 V logiky je sepnuto (binární 1) v rozsahu napětí od 2 do 5 V. Vypnuto (binární 0) je reprezentováno napěťovým rozsahem od 0 do 0,8 V. Rozsah mezi 0,8 – 2 V je nedefinovaný stav viz obrázek 30. Obecně lze tedy ze zarušeného digitálního signálu získat původní signál pomocí algoritmů pro eliminaci rušení.



Obrázek 30 Vliv rušení na analogový a digitální signál + logické úrovně [37; 38]

U analogového signálu je to do určité míry taktéž možné, nicméně výsledný signál bude už vždy do jisté úrovně zkreslen. Důležité je však zmínit, že pokud dosáhne rušení takového

stupně, kdy u digitálního signálu začne být problém rozeznávat jednotlivé napěťové úrovně, jsou informace zakódované v digitálním signálu zcela nepoužitelné. Příkladem z běžného života může být poslech digitálního vs. analogového rádia. Pokud má digitální přijímač špatný signál, tak nejspíše vypadne poslech úplně. U analogového FM vysílání bude ve stejné situaci nejspíš výsledný zvuk mít velmi špatnou kvalitu, nicméně bude mu alespoň částečně rozumět.

U kritických systémů s digitálním přenosem informací se taktéž aplikuje jistá míra redundance, kdy se v signálu zasílají data navíc, která za normálních podmínek nemají žádné využití. Pokud ale dojde ke ztrátě části informace, tj. rušení například jednu část signálu poškodí, lze tato data využít k dopočetní původní informace. Díky tomuto lze ještě více zvýšit odolnost digitálních signálů.

Vzhledem ke zvyšujícímu se výpočetnímu výkonu čipů pro zpracování signálů a pokročilým algoritmům pro odrušení a „vyčistění“ signálů s možností dopočtu poškozených dat (pokud pro to daný signál obsahuje potřebná data) lze označit digitální zpracování signálu z pohledu odolnosti vůči elektromagnetickému rušení jako lepší volbu.

### 7.3 Nároky na implementaci

Moderní řídicí PLC (Programovatelné logické automaty) běžně disponují širokou nabídkou senzorových, ale i pokročilejších komunikačních sběrnic. Ty mohou být implementovány přímo v PLC nebo formou přídavných karet. Taktéž je možné je doplnit o analogové vstupní karty. Tudíž z tohoto pohledu jsou obě řešení rovnocenná.

Rovnocennost se v tomto případě, ale nepromítá do cen karet. Ze zkušenosti autora jsou ceny analogových vstupních karet s A/D převodníky vyšší než rozšiřujících karet pro senzorové sběrnice. To je zapříčiněno tím, že karty jsou obvykle určeny pouze pro daný typ, či řadu PLC. Tyto karty také obsahují velmi odolné, přesné a rychlé A/D převodníky, což je taktéž zdražuje.

Digitální čidla tedy často vycházejí levněji. Je to především dáno tím, že jsou vyráběna ve velkých sériích. Tím pádem funguje efekt masové výroby, díky čemuž cena jednoho kusu může rapidně klesnout. Další důležitou výhodou digitálních čidel je možnost jejich sebeidentifikace, tj. po sběrnici jsou schopny sdělit svůj jedinečný identifikátor. To je důležité pro místa, kde je nutné využívat kalibrované přístroje, a to z důvodu interní evidence nebo kvůli legislativním požadavkům. V potravinářském, ale obzvláště ve farmaceutickém průmyslu, jsou v aplikacích vyžadujících odpojitelné senzory digitální sondy téměř nutností, jelikož u analogových z principu není možné v procesu zpracování dat poznat, zda došlo k výměně koncového prvku. K tomu je nutná fyzická kontrola (která také nemusí být průkazná).

Obecně lze tedy říct, že i z pohledu implementace jsou často digitální měřidla výhodnější. Obtížnost implementace je zhruba na podobné úrovni. Velkou výhodou digitálních čidel je možnost jejich zapojení do sběrnice. Jak bylo popsáno v kapitole 5.3, díky tomu je možné snížit množství potřebných vodičů a zjednodušit zapojovací schémata. Toto rozhodně neznamená, že by analogové senzory, například teplotní ve formě Pt100, měly v brzké době vymizet. Jejich jednoduchý princip funkce, spojený s dlouhou historií a podporou i u méně sofistikovaných řídicích systémů, jim zajišťuje budoucnost na další desítky let. Nicméně u nových komplexních řídicích systémů se jeví použití digitálních senzorů jako výhodnější.

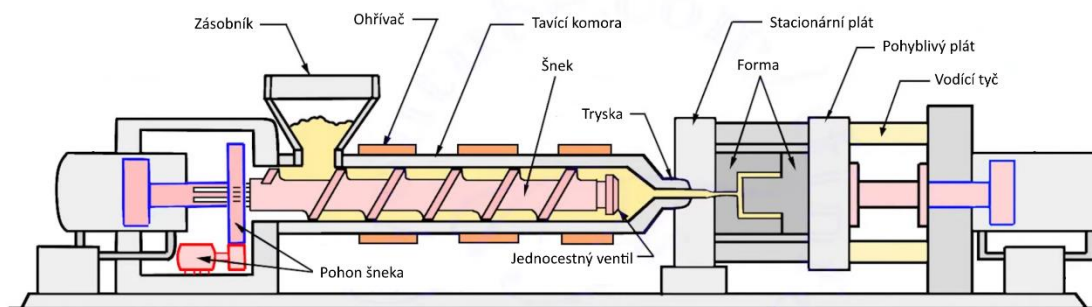
## 8 Určení rizikovosti zkreslujících vlivů na příkladu vstříkolisu

Vstříkolis byl vybrán jako zástupce průmyslového stroje běžně zastoupeného ve výrobě pro automobilový průmysl. Pro tento příklad je uvažován model menších rozměrů, který je určen k výrobě větracích mřížek klimatizace pro osobní automobily. Celé zařízení je řízeno moderním PLC, které v reálném čase vyhodnocuje naměřená data a dle nich provádí korekce v procesu tak, aby byly dodrženy technologické postupy a jakost výsledných výrobků odpovídala všem zadaným požadavkům. Jedná se tedy o systém řízení se zpětnou vazbou.

### 8.1 Vstříkování plastu

Vstříkování plastu je metoda tváření plastu, při které je vstupní materiál ve formě pelet roztaven a vstříknut do formy, kde ztuhne a získá finální tvar. [39]

Nejprve jsou plastové pelety nasypány do násypky, z ní jsou postupně odebírány šnekem, který přepravuje pelety do tavicí komory. V tavicí komoře jsou pelety pomocí rozšiřujícího se šneku stlačovány a v důsledku toho zahřívány. Tavicí komora je obvykle ještě externě zahřívána pro optimální roztavení plastu. Po úplném roztavení a homogenizaci je roztavený plast vstříknut do formy, kterou zaplní, a tím i přejme její tvar. Následně se nechá vytuhnout, po vytuhnutí se forma rozevře, výrobek je vyražen z formy a proces se může opakovat. Jednotlivé komponenty jsou popsány na obrázku 31. [39]



Obrázek 31 Popis částí vstříkolisu – přeloženo [40]

Značnou výhodou vstříkování plastu je možnost rychlého opakování cyklů a tím i masové výroby identických kusů. [39]

Hlavní nevýhodou této technologie je jednoznačně cena, kdy se formy mohou dle komplexnosti a velikosti cenově pohybovat od desítek tisíc až po miliony korun. Tudiž je tato technologie vhodná především pro velkoobjemovou sériovou výrobu. [39]

### 8.2 Měřené veličiny

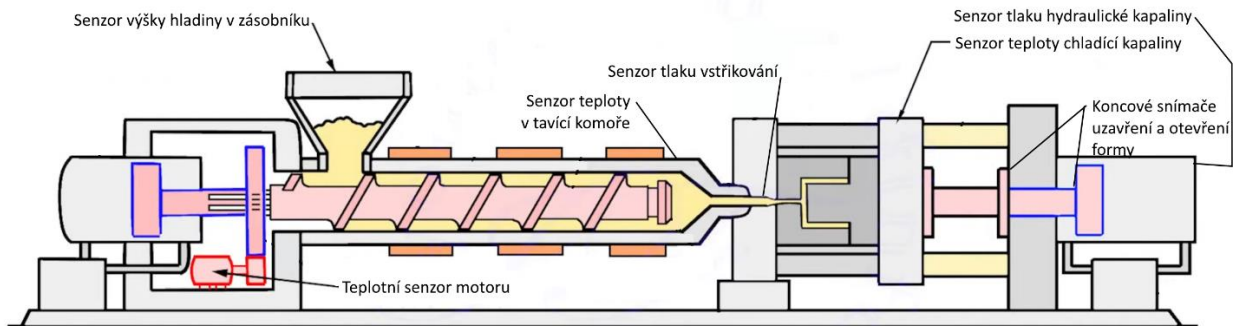
Pro správnou funkci stroje jsou na vstříkolisu instalovány snímače pro měření následujících veličin:

- Teplota v tavicí komoře
- Tlak vstříkování
- Teplota chladicí kapaliny ve formě
- Teplota okolního prostředí
- Teplota motoru



- Tlak v hydraulickém systému
- Koncový kontakt otevření a zavření formy
- Výška hladiny v zásobníku
- Kontrola výsledného produktu pomocí kamerového systému

Umístění senzorů je znázorněno na obrázku 38.



Obrázek 32 Umístění senzorů na stroji [40] – Upraveno autorem

Pro jednotlivé veličiny byly vybrány následující snímače.

- Teplotní čidla – Odporové senzory Pt100
- Tlak vstřikování – Specializovaný piezorezistivní tlakový senzor (výstup přes sběrnici)
- Tlak v hydraulickém systému – Piezoelektrický tlakový senzor (výstup přes sběrnici)
- Výška hladiny zásobníku – Ultrazvukový senzor vzdálenosti (výstup přes sběrnici)
- Koncové kontakty – Indukční senzory
- Výsledná kontrola – Kamerový systém s prvky strojového učení

### 8.3 Analýza možných zkreslujících vlivů

Ke zkreslení vyhodnocovaných signálů ze senzorů může docházet z mnoha důvodů, níže je uvedena pouze část těchto vlivů.

- Nevhodně zvolený senzor
- Nevhodně zvolené umístění senzoru
- Prostředí ovlivňující měření senzoru
- Měřený signál je rušen v místě měření elektromagnetickým rušením
- Na měřený signál se superponuje elektromagnetické rušení na přenosové trase
- Měřený signál je zkreslen v důsledku rušení na straně vyhodnocovací jednotky

V následujících odstavcích budou analyzována tato rizika vztážená k technologii výroby na vstřikolisu. Taktéž budou sepsána doporučení pro eliminaci těchto vlivů.

Základní podmínkou pro získání spolehlivých a nezkreslených dat je výběr vhodného druhu snímače. Například není možné využít indukční snímač pro snímání elektricky nevodivých materiálů, jak uvádí tabulka 1.

Tabulka 1 Porovnání vhodnosti technologií senzorů [41] - Vlastní interpretace

	Ultrazvukové	Indukční	Kapacitní	Optoelektrické
Velká vzdálenost od předmětu	✓	✗	✗	⚠
Bez ovlivnění barvou/průhledností	✓	✓	✓	⚠ 1)
Bez ovlivnění materiálem	✓	✗	⚠	✓
Kolísání teploty	✓	✓	✓	✓
Usazeniny na senzoru	✓ 2)	✓ 3)	⚠	⚠
Bez ovlivnění okolním světlem	✓	✓	✓	✗
Vysoká vlhkost prostředí	⚠	✓	⚠	✗

1) optoelektrické senzory mohou být ovlivňovány při použití tenkým načířím skle nebo folii

2) Ultrazvukové senzory mohou být ovlivňovány pokud jsou usazeniny na nich příliš silné

3) Indukční senzory mohou být ovlivňovány pokud jsou pokryty vodivým materiálem

Po zvolení vhodného typu senzoru je dalším důležitým faktorem ovlivňujícím přesnost a použitelnost senzoru jeho umístění. To může mít zcela zásadní vliv na měřené hodnoty. Pokud by byl například umístěn senzor teploty na okraji formy, tak bude sice měřit teplotu ve svém okolí korektně, nicméně teplota měřeného procesu může být jiná, a to až o několik stupňů Celsia. Pokud z technologických nebo prostorových důvodů není možné senzor umístit tak, aby dokázal napřímo měřit danou veličinu je vhodné experimentálně či výpočtem určit opravný koeficient, pomocí kterého je možné přepočítat měřenou hodnotu v bodě zájmu.

Důležitý faktor, který hraje velkou roli pro spolehlivost měření je prostředí, kterému je senzor vystaven. Podmínky mohou být ztíženy například vysokou teplotou, vlhkostí, prašností nebo chemicky korozivním prostředím. Tyto ztížené podmínky je nutné zohlednit už při výběru senzoru. Optické senzory budou problematicky fungovat v prašných prostředích, jelikož velmi rychle dojde k zašpinění optických částí a k útlumu jejich paprsku. Indukční senzory trpí na podobné problémy v prostředích s vodivými částicemi ve vzduchu (často v prostředích s kovovýrobou). Pokud se takovýto magneticky ovlivnitelný prach dostane na snímač, může docházet k nechtěnému spínání nebo naopak rozepínání.

K elektromagnetickému rušení v místě měření může docházet v důsledku funkčního nebo parazitního rušení, které se nachází v dané oblasti. Pokud se instalace nachází v blízkosti rádiového či televizního vysílače, je nutné s tím při návrhu počítat a použít snímače s lepší odolností vůči elektromagnetickému rušení. Dalšími možnými místy vniku elektromagnetického rušení jsou přenosové trasy a koncové prvky. Ke zkreslení měřených dat jsou obecně náchylnější analogové signály. Proto je výhodné, obzvláště na delší trasy, převést do číslicové formy, která je obvykle odolnější vůči rušení.

## 8.4 Doporučení pro minimalizaci zkreslujících vlivů

Strojní zařízení se bude nacházet v průmyslové hale s další přidruženou, ale i nepřidruženou výrobou. Výrobní prostředí je ztíženo především z pohledu vibrací a teploty. Teplota okolního vzduchu ve výrobní hale může v létě dosahovat až 37 °C, což je potřeba zakomponovat do řídicího systému tak, aby byly dodrženy technologické postupy a zajištěna kvalita výrobků.

Jednotlivé použité senzory jsou uvedeny v kapitole 8.2.

Zásadním doporučením pro minimalizaci zkreslujících vlivů je rozhodně výběr správného typu senzoru a jeho umístění. Jak bylo popsáno v kapitole výše, tyto dva faktory mají zcela zásadní vliv na vypovídající hodnotu měřených dat, a pokud nejsou zohledněny, jakákoliv jiná opatření jsou zbytečná.

Pro měření teplot procesu a okolního prostředí byly zvoleny senzory typu Pt100, a to pro jejich spolehlivost, jednoduchost, široký rozsah měřených teplot a v neposlední řadě i cenu. Jak bylo popsáno v kapitole 4.2., je tyto senzory možné zapojit třemi způsoby. Vzhledem k využití teplotních čidel k řízení procesu, který vyžaduje přesnost na 0,5 °C, lze doporučit zapojení třívodičové, kdy je možné provést kompenzaci délky vedení. U dvouvodičového zapojení tato možnost není a čtyřvodičové zapojení je pro tuto aplikaci zbytečné. Protože obvykle vyžaduje komplikovanější, dražší a tím i hůře dostupný převodník.

Pro měření tlaku vstřikování byl vybrán specializovaný piezorezistivní senzor tlaku s integrovaným A/D převodníkem a komunikací po sběrnici. Díky převodu na digitální signál v bodě měření je takovýto senzor odstíněn od velké části zkreslujících vlivů. Nicméně i u komunikace se senzorem přes sběrnici je důležité dodržet doporučení pro daný druh sběrnice, tedy například použití správného propojovacího kabelu, správného zapojení topologie či stínění a terminaci pomocí rezistorů.

Pro měření výšky hladiny pelet v zásobníku pomocí ultrazvukového senzoru je nutné zvolit senzor s vhodným detekčním rozsahem. Pokud by tento rozsah nebyl korektně vybrán a nastaven, mohlo by docházet například k nesprávné detekci materiálu zásobníku, nebo jiných předmětů v bezprostředním okolí. Vzhledem k výstupu na senzorové sběrnici, zde taktéž platí veškerá doporučení ohledně dodržení standardů sběrnice stejně jako u měření tlaku.

Koncové kontakty jsou realizovány pomocí indukčních senzorů. Ty byly zvoleny díky jejich bezkontaktní funkci. Ta je žádoucí kvůli relativně vysoké teplotě forem, která by běžné koncové kontakty zbytečně tepelně zatěžovala. Tyto indukční koncové snímače jsou dvoustavového typu, tedy zkreslení jejich výstupu je velmi nepravděpodobné. Nicméně stále je zapotřebí věnovat pozornost vniku rušení přes napájení senzoru. To by mohlo v určitých případech ovlivnit jejich funkci. Je proto vhodné zajistit jejich napájení pomocí kvalitního zdroje a omezit rušení na kabeláži.

Pro finální kontrolu pomocí kamerového systému je nutné zajistit dobré světelné podmínky a kontrast kontrolovaného produktu vůči podkladu, na kterém je snímán.

## 9 Závěr

V teoretické části byly popsány a vysvětleny principy funkce procesních a stavových senzorů využívaných v průmyslové praxi ve výrobních linkách. Taktéž byly představeny inteligentní senzory, jejich schopnosti a možnosti v oblasti zlepšení přesnosti měření.

Část textu byla věnována kamerovým systémům, které se v posledních letech čím dál tím více prosazují i v průmyslové praxi, obzvláště v sekci kontroly kvality ve spojení se strojovým učením.

Taktéž byly vysvětleny principy analogového a digitálního zpracování výstupních signálů ze senzorů. V analogovém zpracování signálů byly popsány úpravy signálů pomocí operačních zesilovačů, frekvenčních a amplitudových filtrů a dalších prvků pro zpracování signálu. V části týkající se digitálního zpracování signálů byly osvětleny principy digitalizace, byla vysvětlena minimální vzorkovací frekvence definovaná Nyquist–Shannonovým teorémem a také byl přiblížen princip kvantování a jeho vliv na konečnou digitální reprezentaci původního signálu.

V textu byly taktéž popsány druhy sensorových a komunikačních sběrnic běžně využívaných pro komunikaci s nadřazenými systémy.

Značná část práce se věnovala problematice elektromagnetického rušení, jeho zdrojům, vlivu přímo na senzory a jeho zkreslování signálu na přenosových trasách. Byly představeny metody pro snížení vlivu rušení na výsledný digitální a analogový signál.

Praktická část se věnovala porovnání digitálního a analogového zpracování výstupu ze senzorů. Porovnání bylo provedeno především z hlediska rychlosti, odolnosti vůči rušení a nároků na implementaci daných systémů. Z pohledu rušení v kapitole 7.2 vyplynulo, že digitální zpracování signálů je v dnešní době, obzvláště při použití moderního vybavení, výrazně odolnější vůči rušení. Zarušené digitální signály lze obvykle pomocí různých metod odrušit a získat původní signál.

V další části textu byly analyzovány potencionální rušivé a zkreslující vlivy na příkladu vstřikolisu na výrobu automobilových větracích mřížek. Jako hlavní faktory, které mohou ovlivňovat odchylku skutečných hodnot od měřených, byly vyhodnoceny zaprvé nevhodné umístění senzoru ve strojním zařízení a za druhé nevhodný výběr typu senzoru pro danou aplikaci. Dále byly pro jednotlivé senzory posouzeny možné zdroje zkreslení dat a byla vydána doporučení, jak jim předejít.

## 10 Seznam použitých zdrojů

- [1] MORRIS, Alan S. a LANGARI, Reza. *Fundamentals of Measurement Systems*. In: *Measurement and Instrumentation*. United States: Elsevier Science & Technology, 2015. Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/rrtLDJbv>.
- [2] ĎAĎO, Stanislav a KREIDL, Marcel. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-010-1500-9.
- [3] FORMÁNEK, Josef. Základní charakteristika a demonstrování základních principů měření veličin. Online. In: . Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/mmyuka/Data/ivk-mt-soubory/01-F.pdf>. [cit. 2024-03-04].
- [4] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3123-3.
- [5] *Odporový snímač zapojení*. Online. In: Wikimedia. 2007. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Potenciometr.gif>. [cit. 2024-03-15].
- [6] *Odporové snímače*. Online. Výukový portál COPTel. 2019. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/page/view.php?id=6691>. [cit. 2024-03-15].
- [7] *Koncový spínač*. Online. In: Servis A Zásobování Elektromateriálem. 2024. Dostupné z: [http://www.saze.cz/7789-thickbox\\_default/koncovy-spinac-kovovy-sfm-1121.jpg](http://www.saze.cz/7789-thickbox_default/koncovy-spinac-kovovy-sfm-1121.jpg). [cit. 2024-03-15].
- [9] *Obrázek Indukční Snímač*. Online. In: HANS TURCK GMBH & CO. KG. [www.turck.cz](http://www.turck.cz). Dostupné z: [https://www.turck.cz/repo/db\\_20240228115150/Graphics/Pic2/00514876\\_0.png](https://www.turck.cz/repo/db_20240228115150/Graphics/Pic2/00514876_0.png). [cit. 2024-03-15].
- [10] HERCÍK, Radim a KVÍČALA, Miroslav. *Senzory pro automobilový průmysl*. Online. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2019. ISBN 978-80-248-4318-6. Dostupné z: [https://www.fe.i.vsb.cz/export/sites/fei/480/content/galerie-souboru/Senzory\\_pro\\_automobilovy\\_prumysl.pdf](https://www.fe.i.vsb.cz/export/sites/fei/480/content/galerie-souboru/Senzory_pro_automobilovy_prumysl.pdf). [cit. 2024-01-18].
- [13] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-730-0114-4.
- [13] *Kapacitní snímače*. Online. Výukový portál COPTel. 2019. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/page/view.php?id=6692>. [cit. 2024-03-15].

- [14] JONATHAN M. GITLIN. *Buttons beat touchscreens in cars, and now there's data to prove it*. Online. Ars Technica. Dostupné z: <https://arstechnica.com/cars/2022/08/yes-touchscreens-really-are-worse-than-buttons-in-cars-study-finds/>. [cit. 2024-03-24].
- [15] KARWATH, André. *Obrázek Reed Switch*. Online. In: Wikimedia. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reed\\_switch\\_\(aka\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reed_switch_(aka).jpg). [cit. 2024-03-15].
- [16] SAURE. *Halleffekt*. Online. In: Wikimedia. 2013. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Halleffekt.svg>. [cit. 2024-03-15].
- [17] *Obrázek magnetorezistor*. Online. In: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/snimace\\_mag.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/snimace_mag.pdf). Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/snimace\\_mag.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/snimace_mag.pdf). [cit. 2024-03-16].
- [18] IFM ELECTRONIC, SPOL. S R.O. *Technologie fotoelektrických senzorů*. Online. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/shared/technologies/magic-cube/fotoelektricke-senzory>. [cit. 2024-03-16].
- [19] *Obrázek ultrazvukový snímač*. Online. In: Gimatic. 2024. Dostupné z: <https://shop.gimatic.com/cs/su>. [cit. 2024-03-16].
- [20] RIPKA, Pavel. *Senzory: laboratorní cvičení*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-010-1453-3.
- [21] PROFESS, SPOL. S R.O. *Snímače teploty Pt100 - princip, zapojení, třídy přesnosti*. Online. 2024. Dostupné z: [https://www.profess.cz/cs/pci/odporove\\_snimace\\_teploty](https://www.profess.cz/cs/pci/odporove_snimace_teploty). [cit. 2024-03-17].
- [22] *Měření tlaku*. Online. In: VŠCHT. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k42-tlak.htm#k422>. [cit. 2024-03-25].
- [23] INET TRILOBITE TECHNOLOGIES. *Snímače tlaku - dělení, technologie, principy*. Online. PROFESS. Dostupné z: [https://www.profess.cz/cs/pci/snimace\\_tlaku](https://www.profess.cz/cs/pci/snimace_tlaku). [cit. 2024-03-25].
- [24] S.R.O., Poski.com. *Kamerové kontrolní systémy*. Online. Temex. Dostupné z: <https://www.temex.cz/produktove-listy/kontrolni-systemy/kamerove-kontrolni-systemy/>. [cit. 2024-03-25].
- [25] STARTONLINE. *Strojové vidění pomáhá hlídat kvalitu ve výrobě*. Online. JettyVision. Dostupné z: <https://jettyvision.cz/clanky/kontrola-kvality-vyroby-5-prednosti-kamerovych-systemu-pro-bezkontaktni-mereni/>. [cit. 2024-03-25].
- [26] VEDRAL, Josef a SVATOŠ, Jakub. *Zpracování a digitalizace analogových signálů v měřicí technice*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06424-5.

- [27] Formula Student Rules 2024. Online. In: FSGERMANY. Německo, 2024, s. 136. Dostupné z: [https://www.formulastudent.de/fileadmin/user\\_upload/all/2024/rules/FS-Rules\\_2024\\_v1.1.pdf](https://www.formulastudent.de/fileadmin/user_upload/all/2024/rules/FS-Rules_2024_v1.1.pdf). [cit. 2024-03-25].
- [28] SEDLÁČEK, Miloš. *Zpracování signálů v měřicí technice*. Dotisk 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. ISBN 80-010-1785-0.
- [29] SHANNON, C.E. Communication in the Presence of Noise. Online. *Proceedings of the IRE*. 1949, roč. 37, č. 1, s. 10-21. ISSN 0096-8390. Dostupné z: <https://doi.org/10.1109/JRPROC.1949.232969>. [cit. 2024-03-27].
- [30] AUTOR, Nenalezený. *Obrázek Aliasing*. Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: <https://www.physik.uzh.ch/local/teaching/SPI301/LV-2015-Help/Ivanslconcepts.chm/Aliasing.html>. [cit. 2024-03-18].
- [31] SEDLÁČEK, Miloš. *Zpracování signálů v měřicí technice*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-010-0900-9.
- [32] LAPP. *Průmyslové sběrnice*. Online. LAPP. 2023. Dostupné z: <https://www.lapp.com/cs/cz/CZK/reseni/prumyslova-komunikace/standardy-protokolu/provozni-sbernice/e/000271>. [cit. 2024-03-25].
- [33] *MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b*. Online. MODBUS-IDA. Modbus. 2006. Dostupné z: [https://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf). [cit. 2024-03-25].
- [34] SVAČINA, Jiří. ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA. Online. In: . Brno, s. 171. Dostupné z: [http://hosting.pilsfree.net/fantom/FEL/EMC/EMC\\_skripta.pdf](http://hosting.pilsfree.net/fantom/FEL/EMC/EMC_skripta.pdf). [cit. 2024-03-22].
- [35] CHEMISTRY LIBRETEXTS. *5.1: The Signal-to-Noise Ratio*. Online. Chemistry LibreTexts. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical\\_Chemistry/Instrumental\\_Analysis\\_\(LibreTexts\)/05%3A\\_Signals\\_and\\_Noise\\_\(TBD\)/5.01%3A\\_The\\_Signal-to-Noise\\_Ratio](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Analytical_Chemistry/Instrumental_Analysis_(LibreTexts)/05%3A_Signals_and_Noise_(TBD)/5.01%3A_The_Signal-to-Noise_Ratio). [cit. 2024-03-22].
- [36] *What is an electrical transient?* Online. ALLTEC's - ALLTEC's lightning protection, surge protection, grounding, power quality products protects operations, property, or personnel from lightning risks. Dostupné z: <https://alltecglobal.com/es/what-is-an-electrical-transient/>. [cit. 2024-03-22].
- [37] *Rušení analogového a digitálního signálu*. Online. In: . Dostupné z: <https://ccrma.stanford.edu/~dirk/256a/rr4/>. [cit. 2024-03-23].

- [38] SPARKFUN. *Logic Levels*. Online. Sparkfun. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/logic-levels/all>. [cit. 2024-03-23].
- [39] LENFELD, Petr. *Vstřikování plastů: Scripta*. Online. Technologie II. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce\\_plasty/04.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm). [cit. 2024-03-22].
- [40] KOLA, Shubham. *Schéma Vstřikolisu*. Online. In: . 2020. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Ap3LO8ZNUlg>. [cit. 2024-03-22].
- [41] IFM ELECTRONIC, SPOL. S R.O. *Porovnání technologií polohových snímačů*. Online. IFM. 2024. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/shared/technologies/ultrazvukove-senzory/mnoho-prednosti-malo-omezeni-princip-ultrazvukove-technologie>. [cit. 2024-03-23].



## 11 Seznam obrázků

Obrázek 1 Měřicí řetězec – Zdroj: Autor.....	13
Obrázek 2 Spojitý odporový senzor – zapojení[5] .....	15
Obrázek 3 Uspořádání potenciometru[6].....	15
Obrázek 4 Koncový spínač[7] .....	16
Obrázek 5- Indukční snímač[9] .....	16
Obrázek 6 Blokové schéma indukčního snímače[11].....	17
Obrázek 7 Blokové schéma bezkontaktního kapacitního snímače[8] .....	18
Obrázek 8 Kapacitní bezkontaktní senzor[4].....	18
Obrázek 9 - Jazyčkový kontakt[13] .....	19
Obrázek 10 Princip hallový sondy[14] .....	20
Obrázek 11 Závislost Hallova napětí na vzdálenosti od magnetu[8] .....	20
Obrázek 12 Magnetorezistor[15] .....	21
Obrázek 13 Ilustrace funkce optického difusního senzoru [16] .....	22
Obrázek 14 Závislost detekční vzdálenosti na barvě objektu[16] .....	22
Obrázek 15 Závislost detekční vzdálenosti na velikosti objektu[16] .....	23
Obrázek 16 Ilustrace funkce optické reflexní závory[16] .....	23
Obrázek 17 Ilustrace funkce jednocestné závory[16].....	24
Obrázek 18 Vliv atmosférického tlaku a teploty na rychlost šíření zvuku[8] .....	25
Obrázek 19 Ultrazvukový snímač vzdálenosti[17].....	25
Obrázek 20 Rozsah činnosti ultrazvukové senzoru[8] .....	26
Obrázek 21 Závislost odporu na teplotě pro různé kovy[1] .....	27
Obrázek 22 Zapojení teplotních senzorů typu Pt[19] .....	28
Obrázek 23 Porovnání teplotní závislosti termistorů s senzorem typu Pt[4].....	28
Obrázek 24 Schéma piezorezistivního senzoru tlaku[21].....	30
Obrázek 25 Ilustrace aliasingu světla vstupní signál, tmavě výstupní reprezentace[27].....	32
Obrázek 26 Ukázka kvantizace[1] .....	33
Obrázek 27 Klasifikace zdrojů rušení[31] .....	35
Obrázek 28 Vazba šumu na signál[32] .....	36
Obrázek 29 Příklad impulsních a přechodových jevů[33].....	36
Obrázek 30 Vliv rušení na analogový a digitální signál + logické úrovně[34; 35] .....	38
Obrázek 31 Popis částí vstřikolisu – přeloženo[37] .....	40
Obrázek 32 Umístění senzorů na stroji[37] – Upraveno Autorem .....	41

