



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

VYUŽITÍ SENZORŮ V PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍCH

USE OF SENSORS IN INDUSTRIAL APPLICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vítězslav Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radim Blecha, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Vítězslav Horák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Radim Blecha, Ph.D.
Akademický rok:	2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Využití senzorů v průmyslových aplikacích

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Senzorika je nedílnou součástí automatizace.

Student se seznámí s možnými druhy senzorů a jejich praktického nasazení.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit přehled používaných senzorů v automatizaci.

Popsat jednotlivé typy senzorů s ukázkami jejich nasazení.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří, et al. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 1. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

MM Průmyslové spektrum. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: MM publishing, s. r. o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá využitím průmyslových senzorů v automatizovaném procesu. Úvodní část práce popisuje historický vývoje průmyslu a s tím související potřebou automatizace a sensoriky. Hlavní část práce přehledně rozřazuje senzory pro detekci objektů, měření vzdálenosti a rychlosti podle použité technologie, schopnosti detekce rozličných materiálů a speciálních provedení. Dále jsou zmíněny jejich výhody a nevýhody, orientační ceny a příklady využití. Závěr práce poté shrnuje uvedené druhy senzorů s jejich typickými aplikacemi, výhodami a nevýhodami.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with use of industry sensors in automated process. Introduction of the bachelor thesis describes historical development of industry and the need of automation and sensory. The main part sorts sensors for object detection, distance measurement and speed measurement by its technology, ability to detect different materials detection and its special types clearly. Their main advantages and disadvantages, informative prices and examples of uses are mentioned below. The last part of thesis summarizes mentioned types of sensors with their typical uses, advantages and disadvantages.

KLÍČOVÁ SLOVA

Senzorika, průmyslové senzory, automatizovaný proces, automatizace.

KEYWORDS

Sensory, industry sensors, automated proces, automation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, V. *Využití senzorů v průmyslových aplikacích*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 50 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Blecha, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Radimu Blechovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení při vypracovávání této bakalářské práce. Také bych chtěl tímto poděkovat mé rodině a přítelkyni za obrovskou podporu a pochopení během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Radima Blechy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. 5. 2018

.....
Horák Vítězslav

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	PRŮMYSL	17
3	VYUŽITÍ SENZORŮ V PRŮMYSLU	19
4	SENZORY V PRŮMYSLU	21
4.1	Mechanické senzory	21
4.1.1	Tlačítka	21
4.1.2	Přepínače	22
4.1.3	Joysticky	23
4.1.4	Výhody a nevýhody mechanických senzorů	23
4.2	Indukční senzory	24
4.2.1	Princip funkce indukčního senzoru	25
4.2.2	Umístění indukčních senzorů	26
4.2.3	Provedení indukčních senzorů	27
4.2.4	Výhody a nevýhody indukčních senzorů	29
4.2.5	Příklady použití indukčních senzorů	30
4.3	Kapacitní senzory	31
4.3.1	Princip funkce kapacitního senzoru	31
4.3.2	Rušení kapacitních senzorů	32
4.3.3	Provedení kapacitních senzorů	32
4.3.4	Výhody a nevýhody kapacitních senzorů	33
4.3.5	Příklady použití kapacitních senzorů	33
4.4	Magnetické senzory	34
4.4.1	Magnetomechanický Reedův senzor – princip, vlastnosti	34
4.4.2	Senzory s nasyceným jádrem cívky – princip, vlastnosti	36
4.4.3	Senzory s Hallovou sondou – princip, vlastnosti	37
4.4.4	Magnetorezistivní sondy – princip, vlastnosti	39
4.4.5	Výhody a nevýhody magnetických senzorů	40
4.4.6	Příklady použití magnetických senzorů	40
4.5	Ultrazvukové senzory	41
4.5.1	Princip funkce ultrazvukových senzorů	41
4.5.2	Problémy ultrazvukového měření	41
4.5.3	Ultrazvukové senzory pro měření vzdálenosti	42
4.5.4	Ultrazvukový senzor v režimu závora	43
4.5.5	Ultrazvukový hlídač hladiny	43
4.5.6	Výhody a nevýhody ultrazvukových senzorů	43
4.5.7	Příklady použití ultrazvukových senzorů	44
4.6	Optické senzory	45
4.6.1	Princip funkce optických senzorů	45
4.6.2	Vysílací prvky - vysílače	45
4.6.3	Přijímací prvky - přijímače	46
4.6.4	Provedení optických senzorů	46
4.6.5	Výhody a nevýhody optických senzorů	50
4.6.6	Použití optických senzorů	50
5	STRUČNÉ SROVNÁNÍ SENZORŮ V PRŮMYSLU	51
6	ZÁVĚR	53

7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	61
8.1	Seznam zkratek a symbolů	61
8.2	Seznam obrázků.....	61
8.3	Seznam tabulek.....	62

1 ÚVOD

Průmysl a jeho produkty jsou náhledem prosperity ať celého státu, tak jeho menší skupiny – společnosti. Samotný průmysl je tedy nezanedbatelným prvkem národního hospodářství a nemalou měrou, mnohdy tou nejvyšší, přispívá k prestiži státu. Vůbec nic by ale neznamenal bez několika aspektů, především lidského myšlení, díky kterému vlastně průmysl jako takový vznikl a postupně se vyvíjí. Pro rozvoj a správnou funkci průmyslu současnosti potřebujeme kromě výrobních prostor, strojních a jiných technologií také procesy automatizovat. To nám dokáže zabezpečit elektronika a sensorika, jež nás dnes obklopuje opravdu na každém kroku. Odemčení vozu dálkovým ovládním, naladění autorádia, otevření brány podzemního parkoviště, výběr z bankomatu, zapnutí kávovaru - to vše by se bez kvalitních a spolehlivých senzorů stalo značně složitějším, ne-li nemožným.

Obchod s průmyslovou sensorikou je v současnosti velmi žádaným a výdělečným artiklem. Proto se objevuje nespočet výrobců a každý se svým portfoliem výrobků snaží zaujmout pevné místo na trhu. Mezi výrobci funguje jakýsi souboj, kdy proti sobě staví kvalitu, příznivou cenu a nejrůznější provedení a vzniká tak obrovské množství druhů průmyslových senzorů. Každý jeden produkt má své ideální použití, specifické vlastnosti, výhody či nevýhody, možné prostředí pro nasazení ať jde o teploty či agresivitu prostředí, a výrobci tak byť i jediným inovovaným typem mohou doplnit aktuální poptávku průmyslu.

Tato bakalářská práce tedy vytváří ucelené srovnání senzorů v automatizovaných procesech průmyslu používaných ke měření vzdálenosti, rychlosti nebo přítomnosti. Jejím cílem je nejen senzory rozčlenit dle používané technologie, schopnosti detekce rozličných materiálů na vzdálenosti od několika milimetrů po desítky a stovky metrů, ale také podle ceny a jejich specifických výhod, nevýhod a konkrétních použití. První část bakalářské práce čtenáře seznámí se samotným průmyslem, jeho postupným vývojem a s tím související potřebou automatizace. Dále objasňuje pojem „senzor“, jeho vnitřní strukturu a bližší začlenění do systému automatizace. Ve druhé části se poté seznámíme s jednotlivými typy, uvedeme jejich výhody a nevýhody, příklady konkrétních aplikací. Druhá část shrnuje bakalářskou práci uceleným a přehledným tabulkovým rozčleněním senzorů dle možných použití a hlavních výhod, popřípadě nevýhod.

2 PRŮMYSL

Průmysl, někdy označován též industrie, je bezesporu jednou z nejvýznamnějších částí světového hospodářství. Rozumí se jím veškeré výrobní činnosti, kdy se díky technologiím – výrobním prostředkům a postupům - dostávají suroviny na konečné výrobky. Ty mohou mít další využití v průmyslu, zemědělství či dalším odvětví, slouží k přímé spotřebě (potraviny, nábytek, spotřebiče,...) anebo jsou použity jako prostředky výroby, tj. obráběcí stroje, těžební stroje, výrobní linky, stavební, zemědělské a jiné stroje. [1]

Podstatnou změnu v průmyslu nastartovala průmyslová revoluce v Anglii na přelomu 18. a 19. století. Právě toto období je úzce spjato s vynálezem parního stroje a století 19. bývá tedy dodnes označováno jako století páry. Průmyslová revoluce se vyznačovala velkým hospodářským rozmachem, kdy došlo ke změně všech oblastí týkajících se každodenního života lidí. Byly hojně stavěny továrny, železnice, průplavy, kanály a dělnické čtvrti pro masu zaměstnanců stěhující se do měst za prací. Onen parní stroj tak navždy změnil tvář průmyslu a jeho nasazení nemalou měrou ulehčilo lidem práci a zároveň zvýšilo její produktivitu. Společnosti tak byly schopny vyrábět více a levněji než kdy jindy. [2]

S objevením elektřiny se začínala formovat tzv. druhá průmyslová revoluce. Její počátek bývá spojován se dvěma milníky. Tím prvním bylo vytvoření první montážní linky v roce 1870 společností Cincinnati, druhým bylo vynalezení Edisonovy žárovky o 9 let později. Také jsou zde zařazovány vynálezy spalovacích motorů a masová výroba tak znovu nabyla mnohem větších rozměrů. [3]

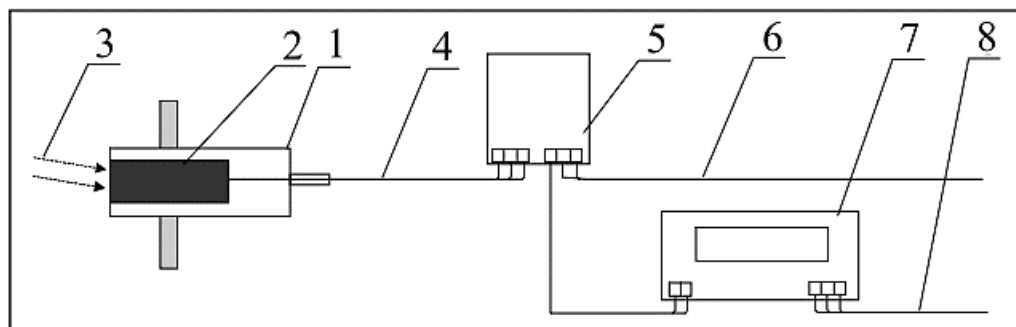
Další, v pořadí již třetí průmyslová revoluce, spatřila světlo světa v 60. letech 20. století spolu s prvním programovatelným automatem, čili PLC. Mechanizaci, jež vlastně lidem práci dávala a usnadňovala, tak začínala nahrazovat automatizace, která díky do jisté míry automatizovaným procesům a informatice lidskou sílu již z části nepotřebuje. Nyní probíhající čtvrtá průmyslová revoluce je označovaná též „Průmysl 4.0“. Ta vlastně jen navazuje na tu třetí a je svázána s celosvětovým rozmachem internetu. Díky němu a jeho nesmírným možnostem jsme schopni vytvářet kybernetické procesy s nejvyšším stupněm automatizace, propojené skrz naskrz všemi sférami průmyslu a lidská síla se jich, v ideálním případě, vůbec neúčastní. Samotný proces je tak zcela nezávislý na člověku, ten jej pouze jistým způsobem kontroluje, udržuje v chodu, popřípadě vylepšuje. Vzniká tak síť velmi složitých procesů, jejichž jediným úkolem je opět vyrábět více a levněji než předtím, nyní snad jen s jistou nevýhodou ve formě absence člověka, kvůli a díky kterému to vlastně vše začalo. [3], [4]

3 VYUŽITÍ SENZORŮ V PRŮMYSLU

Systémy automatického řízení a informatiky se neustále rozvíjí a aplikují v průmyslu, ve službách, ve zdravotnictví, ve vědě i v domácnostech. Bez řídicích počítačových systémů a programovatelných automatů by nebyla moderní automatizační technika uskutečnitelná. Tyto systémy mají své funkce založené na kvalitních vstupních datech a informacích, tj. na kvalitním podsystému měření nebo snímání, tj. senzorech. [5]

Senzor je funkční prvek, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Senzor dává počítači informace o stavu pracovního prostředí, např. o teplotě, tlaku, vzdálenosti. Senzor vlastně tvoří rozhraní mezi vnějším podnětem sledovaného objektu a obvodu dalšího zpracování informace. Termín senzor je převzat z latiny, kdy slovo „sensus“ vyjadřuje smysl, vjem, vnímání. V angličtině slovo „sense“ znamená cítit, tušit, uvědomit si. [5]

Čidlo – převodník – vyhodnocovací jednotka tvoří tzv. měřicí řetězec. Na obrázku 1 je znázorněno a popsáno schéma měřicího řetězce. Základním prvkem senzoru neboli snímače (1) je čidlo (2). Čidlo snímá a převádí vnější fyzikální podnět (3) na měřitelný, většinou neunifikovaný, signál (4). Další částí je převodník (5), což je elektronický obvod, který vyhodnocuje primární signál přicházející ze senzoru a převádí jej na elektrický unifikovaný signál (6). V případě dalšího zpracování signálu se používá vyhodnocovací jednotka (7) s výstupem (8). [5]



Obr. 1) Schéma měřicího řetězce [5]

Měřicí obvod nebo sestava pro snímání je obdoba receptorů u živých tvorů na Zemi. Živý organismus má jako čidla oči, uši, nos aj. a buňky těchto smyslů jsou citlivé na světlo, zvuk, vůně,... Vyhodnocovací jednotkou tohoto systému je mozek. Čidlo je tedy velmi důležitou částí snímače a je ovlivňováno měřenou veličinou z vnějšího prostředí. Tato veličina v senzoru generuje měřitelnou fyzikální, chemickou, mechanickou nebo jinou změnu. [5]

PRINCIP ČINNOSTI SENZORŮ

Senzory pracují podle mnoha fyzikálních nebo fyzikálně-chemických, mechanických a jiných principů. K pochopení funkce senzorů jsou prerekvizitou mezioborové znalosti z oblasti fyziky, elektroniky, chemie a v neposlední řadě také mechaniky. Hmotná čidla má takové vlastnosti, které dokáže měnit pod vlivem působení měřených, vnějších vlivů. Podle druhu těchto změn se senzory rozdělují do několika základních skupin [5]:

- Měnící elektrické vlastnosti podle změny elektrického odporu, kapacity nebo indukčnosti – odporové, kapacitní, indukční
- Generující elektrický potenciál (náboj, napětí) – aktivní nábojové, indukční
- Vytvářející změny směru a energie elektromagnetického záření (lom světla, absorpce elektromagnetického záření) – optické
- Způsobující mechanické defekty (změna rozměrů dilatací, změna odstředivé nebo Coriolisovy síly, deformace vrstev) – senzory mechanické

Senzor dále tyto podněty převádí nejčastěji na elektrické signály, jako jsou napětí, proud, kapacita a jiné. Převod může být analogový nebo binární. Příkladem analogového převodu může být například určitá hodnota proudu odpovídající určité vzdálenosti. Příkladem binárního je napěťový výstupní signál při překročení určité vzdálenosti. Přenos signálu se dnes většinou provádí pomocí 20 mA proudové smyčky. Měřená veličina se tudíž převede na jí úměrnou hodnotu proudu. [6]

V moderní automatizaci se vysokou měrou využívá sběrnic. Sběrnice má za úkol zajistit přenos dat a povelů mezi více elektronickými zařízeními. Analogový signál se ještě v senzoru převede na digitální a ten komunikuje dle protokolu některé standardní sériové sběrnice. Binární senzory se připojují po 8 nebo 16 do uzlu, který je prvkem sběrnice. Takto vzniká komunikační spoj, jenž představuje vyšší úroveň přenosu informace. [6]

V průmyslovém odvětví se setkáváme nejen se senzory pro měření vzdáleností a přítomnosti, ale také např. se senzory bezpečnostními, které detekují přítomnost částí těla nebo celé osoby a se senzory pro měření tlaku, teploty a jiných veličin. Bezpečnostní senzory byly vyvinuty ruku v ruce se zvyšujícími se nároky na bezpečnost automatizovaných procesů a jejich obsluhy ke snížení pravděpodobnosti úrazu nebo poškození zařízení. Senzory pro měření tlaku, teploty a dalších veličin pak slouží právě pro potřebu měření hodnoty dané veličiny v okolí senzoru. Může se jednat o tlak v pneumatické soustavě, teplotu chladicí kapaliny, měření nebezpečného záření, elektrického proudu aj. V této bakalářské práci však budeme popisovat konkrétně senzory pro měření vzdáleností, rychlosti a přítomnosti, zatímco senzory ostatních veličin a senzory bezpečnostními se zabývat nebudeme.

4 SENZORY V PRŮMYSLU

Parametry a plynulý chod automatizované soustavy závisí především na přesném rotačním nebo lineárním pohybu. Proto se tyto soustavy neobejdou bez senzorů polohy, vzdálenosti nebo úhlu. Rozhodujícími aspekty při volbě těchto senzorů jsou přesnost a rozlišení. Rozlišením rozumíme podíl změny vstupního ke změně výstupního signálu. Důležitá je také rychlost přenosu dat, rozměry senzoru, složitost obvodu, provozní prostředí a v neposlední řadě cena. Podle těchto aspektů volíme některý z uvedených druhů senzorů, kterými se bude zabývat tato kapitola: [7]

- Mechanické senzory
- Indukční senzory
- Kapacitní senzory
- Magnetické senzory
- Ultrazvukové senzory
- Optické senzory

4.1 Mechanické senzory

Nejjednodušším a jedním z nejužívanějších senzorů v průmyslu je senzor mechanický. Nachází uplatnění jako ovládací prvky strojů - veškerá tlačítka, přepínače, joysticky a jiné. Používají se k ručnímu ovládní elektrických zařízení. V běžném životě se však s nimi setkáváme každý den, příklady jejich použití jsou následující:

- Ovládní procesu, stroje nebo jeho částí
- Tlačítka klávesnice nebo myši u počítače
- Ovládní autorádia, budíku, televize
- Otevíráné garážových vrat nebo bran, ovládní výtahu
- Nástěnné vypínače světel

4.1.1 Tlačítka

Tlačítka neboli spínače se skládají z jednoduchého spínacího nebo rozpínacího mechanismu a v průmyslových aplikacích slouží k ovládní některé činnosti stroje nebo procesu. Spínací tlačítko se používá pro start stroje či procesu, započítání kusu atd. a rozpínací tlačítko např. jako bezpečnostní STOP tlačítko sloužící pro vypnutí stroje. Dotyková plocha tlačítka je vyrobena z tvrdého materiálu, tj. plastu nebo kovu pro delší výdrž a s ergonomicky tvarovaným povrchem pro snadné ovládní tlačítka. Tlačítko lze stisknout zatlačením dotykové plochy prstem nebo rukou, kdy se uvnitř spojí, popř. rozpojí vodivé kontakty. Oddálením prstu nebo ruky dojde k jeho uvolnění a návratu do původní polohy. Na trhu jsou však i speciální provedení tlačítek s aretací např. pomocí klíčku. Oproti dalším typům mechanických senzorů totiž tlačítko samotné nemá aretaci. Dotyková plocha je také většinou prosvětlená a svou barvou signalizuje určitý stav systému nebo hrozící nebezpečí. Tlačítka mohou například řídit práci a kontrolovat vychystávání zboží, osazování poloautomatických linek nebo montáž. Vzhled tlačítek odpovídá konkrétní aplikaci, avšak obecně je platné, že každý výrobce nabízí jiný design. Použití tlačítek je velmi rozsáhlé a nalezneme je opravdu na každém stroji. Některá provedení a příklad použití tlačítek jako ovládacích prvků výrobního stroje můžeme vidět na obrázku 2. [8], [9], [10]



Obr. 2) Použití tlačítek na ovládacím panelu jednoúčelového stroje [10]

4.1.2 Přepínače

Přepínače fungují na obdobném principu jako tlačítka, ale oproti nim mají aretaci. Přepínač se vlastně chová jako 2 tlačítka s jedním společným vývodem. Pohybem jezdcy dojde k přepnutí přepínače, čímž je jeden kontakt sepnut a druhý rozepnut. Nejčastěji se vyrábí v provedení posuvném, otočném, kolébkovém nebo páčkovém. Také se používá v provedení vícepolohovém, tj. s více kontakty, např. pro ovládání více nezávislých obvodů najednou. Jejich použití je velmi rozsáhlé a opět je závislé na konkrétních požadavcích. Na strojích se používají nejčastěji jako hlavní vypínač na rozvaděči, který je vyobrazen na obrázku 3. [8]



Obr. 3) Otočný přepínač jako hlavní vypínač rozvaděče jednoúčelového stroje [10]

4.1.3 Joysticky

Joystick, česky pákový nebo křížový ovladač, je vstupní zařízení sloužící k ovládání průmyslových strojů. Základní částí je páka, jejíž vychýlení vyvolá požadovaný naprogramovaný pohyb, otočení a jiné úkony. Rozdělují se na digitální a analogové, přičemž digitální joystick pouze indikuje sepnutí v jednom z možných směrů pohybu. Oproti tomu analogový joystick umožňuje přesněji odečítat směr a také velikost vychylky. Použití daného typu závisí od konkrétní aplikace, obecně se však v průmyslu joysticky používají k ovládání jeřábů, hydraulických systémů, řízení kolejových vozidel, bagrů, souřadnicových stolů, kamerových systémů a v lékařství k ovládání očního laseru. Použití joysticku pro ovládání jeřábu lze vidět na obrázku 4. [11], [12]



Obr. 4) Joysticky na dálkovém ovládání jeřábu [12]

4.1.4 Výhody a nevýhody mechanických senzorů

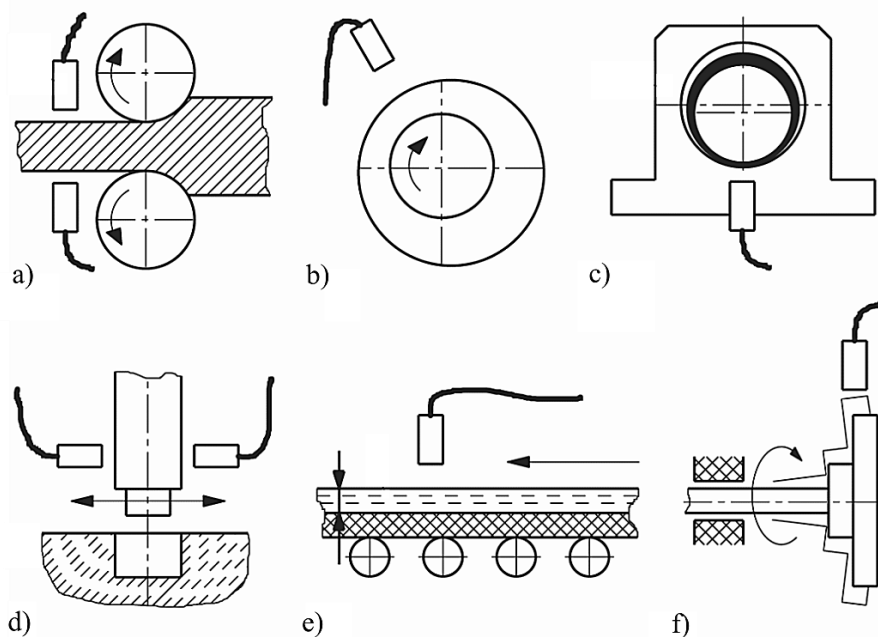
- Jednoduchá konstrukce, nízké nároky na údržbu a případnou výměnu
- Nízké ceny v porovnání se senzory bezdotykovými (ceny se pohybují v rozmezí desítek Kč až jednotek tisíců Kč, závislé od konkrétního typu a provedení)
- Možnost barevného odlišení, signalizace stavu procesu, signalizace nebezpečí
- Ergonomická, ale dostatečně pevná konstrukce i pro potřebné rychlé vypnutí
- Nevýhodou je snad jen možnost ovládání pouze obsluhou

4.2 Indukční senzory

Na rozdíl od mechanických, průmyslové indukční senzory umožňují detekovat bezkontaktně. Dokážou měřit vzdálenost nebo přiblížení elektricky vodivých předmětů na vzdálenosti až desítek milimetrů. Indukční senzor je tedy senzor pasivní, bezdotykový. Tento druh senzoru je zcela polovodičový prvek, jenž pracuje s vysokou spínací frekvencí a vyznačuje se téměř neomezenou životností a to díky uzavřenému pouzdru odolnému vůči provoznímu prostředí. Proto můžou pracovat také v prašném či výbušném prostředí. Měřená veličina je převáděna na změnu indukčnosti L nebo vzájemné indukčnosti M . [6]

Typickým příkladem použití indukčních senzorů jsou (viz obrázek 5):

- Náhrada mechanických koncových spínačů, detekce tloušťky materiálu
- Zpětné hlášení polohy akčního členu - ventilu, pohonu,...
- Inspekční úloha - přítomnost, správná poloha nebo zjišťování chybějících částí
- Počítání kusů; měření rychlosti, polohy, natočení, otočení, vyosení
- Detekce otáčení kol automobilu – ABS, ESP, ASR

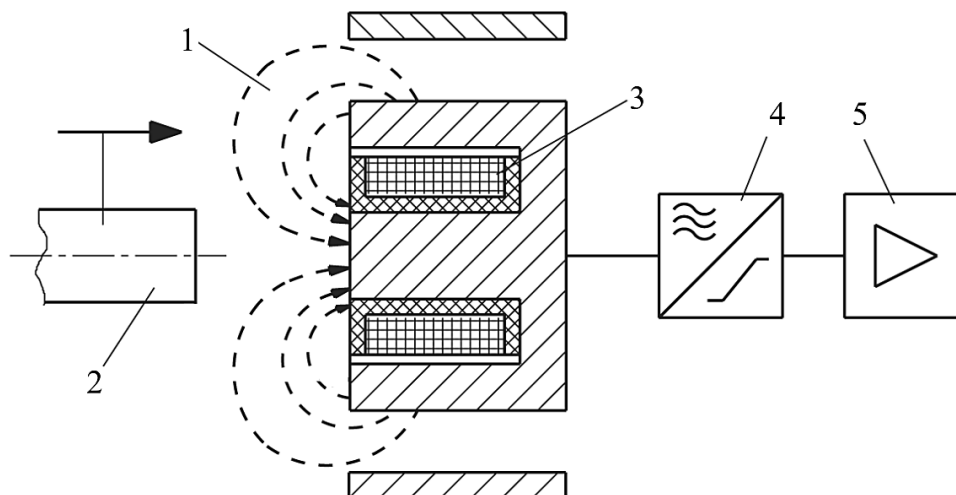


Obr. 5) Možnosti použití indukčních senzorů [13]

a) a e) detekce tloušťky, b) a f) detekce vychýlení, c) detekce vyosení,
d) detekce mezery

4.2.1 Princip funkce indukčního senzoru

Aktivním prvkem indukčního senzoru je cívka umístěná na jádru poloviny feritového hrníčku. Vysokofrekvenční střídavý proud generovaný oscilátorem protéká cívkou a vytváří magnetické pole, které postupuje z otevřené strany hrníčku – aktivní plochy senzoru. Schéma konstrukce indukčního senzoru je zobrazeno na obrázku 6. [6], [13]



Obr. 6) Konstrukce indukčního senzoru [13]

(1 – magnetické pole, 2 – clonka (vodivý materiál), 3 – cívka, 4 – oscilátor, 5 – zesilovač)

Jestliže se v blízkosti aktivní plochy senzoru nachází předmět z elektricky vodivého materiálu (např. kov), dojde k deformaci magnetického pole (1). V tlumicí clonce (2) se indukují vířivé proudy. Změna magnetického pole vlivem těchto proudů působí zpět na cívku tak, že změní její elektrickou impedanci. Tato změna impedance je vyhodnocena elektronikou senzoru a po zesílení převedena na výstupní signál. [13]

Zvětšení impedance tlumicí clonkou je závislé na vzdálenosti mezi clonkou a cívkou a také na materiálu clonky, především jeho vodivosti a permeabilitě. Nejvhodnějším materiálem je konstrukční ocel, jež způsobí největší změnu impedance. Spínací vzdálenost indukčního senzoru pro konstrukční ocel se značí s_n a jde o údaj výrobce senzoru. Při použití jiného materiálu se značí s a tato vzdálenost se poté porovnává se spínací vzdáleností dosaženou pro konstrukční ocel. Tento poměr popisující pokles hodnoty spínací vzdálenosti oproti konstrukční oceli se nazývá redukční nebo také korekční faktor a jeho hodnoty pro nejpoužívanější materiály jsou uvedeny v tabulce 1 a vyjádřeny v rovnici 1. [6]

$$R_f = \frac{s}{s_n} \quad (1)$$

Tab. 1) Redukční faktor vybraných materiálů - indukční senzory [6]

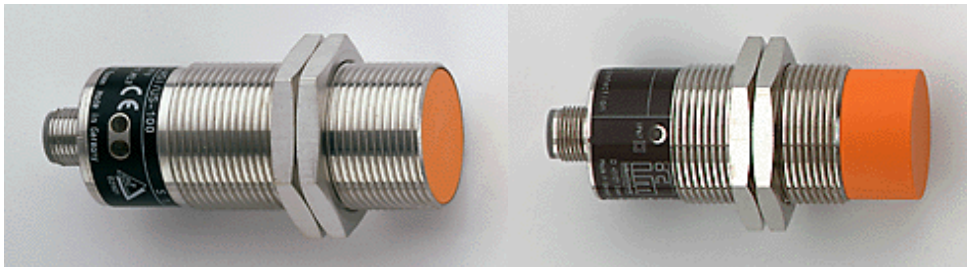
<i>Materiál</i>	Konstrukční ocel	Nerezová ocel	Olovo	Sklo	Mosaz, PVC	Hliník	Měď
R_f	1	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,3

4.2.2 Umístění indukčních senzorů

Spínací vzdálenost indukčního senzoru s_n se zvětšuje s rostoucím průměrem použité cívky. V praxi lze použít cívku o maximálním průměru 80 mm se spínací vzdáleností 60 mm. Zvětšení cívky již není možné z důvodu přílišného elektromagnetického rušení a vysokého výkonu senzoru. Zde jsou popsána další konstrukční a montážní omezení indukčních senzorů. [6]

Materiál pouzdra

Omezením indukčního senzoru je také okolí cívkového systému senzoru, ať se jedná o kovové pouzdro anebo o kovový držák senzoru. Obě situace jistou měrou zvyšují ztrátový odpor cívky. Důvodem je stranové pole feritového hrníčku působící mimo aktivní plochu, které zasahuje do pouzdra nejčastěji vyráběného z nerezové oceli. V pouzdře se tak indukují vířivé proudy nezanedbatelné velikosti zvyšující ztrátový odpor cívky. Tím se snižuje hodnota maximálního spínacího rozsahu. Zmiňovaný problém se dá zmírnit vložením měděného kroužku dovnitř pouzdra. Magnetické pole při vniknutí do měděné vložky, která má 40 krát nižší odpor než ocel, sice zvýší ztrátový odpor, ale 40 krát méně než při vniknutí do samotného ocelového pouzdra. Z toho vyplývá, že vzniklé zatlumení není tak masivní a spínací vzdálenost bude větší. Pouzdra se také místo ocelových můžou vyrábět z části mosazná, měděná nebo plastová a podle toho je rozlišujeme na vazební (kovová) a nevazební (plastová). Nevazební typ je potom citlivý na kovové předměty nacházející se po stranách senzoru, zatímco vazební nikoliv. Vazební typ lze použít v blízkosti kovových materiálů nebo dalšího vazebního indukčního senzoru a také jej lze zapustit přímo do kovu bez přesahu. Toto rozdělení podrobněji popisuje obrázek 7. [6], [13]



Obr. 7) Vazební (vlevo) a nevazební (vpravo) indukční válcový senzor [13]

Vestavné zabudování

Problém může nastat také v případě nutnosti vestavného zabudování senzoru přímo do stroje. Zde je cívka ovlivňována stejně jako v případech minulých – stranové pole feritového hrníčku. Řešením může být již zmíněná měděná vložka dovnitř senzoru, dále odzkoušení senzoru přímo na stroji, zda není po zabudování příliš citlivý a v neposlední řadě inovace výrobců ve formě autokompensace – senzor je vybaven předtlumením. [6]

Teplotní drift

Velkým problémem při používání indukčních senzorů je změna teploty pracovního prostředí. Teplota ovlivňuje cívku senzoru a to zvyšováním jejího odporu. To má negativní vliv na výstupní signál senzoru a spínací vzdálenost. Výrobcem senzoru je tedy stanoven rozsah pracovních teplot, v němž lze tento vliv zanedbat. [6]

Hystereze

Při volbě typu a velikosti indukčního senzoru může jistou roli hrát také hystereze. Jde o rozdíl vzdáleností dvou bodů při axiálním pohybu clonky v jednom a druhém směru, ve kterých došlo v sepnutí a rozepnutí výstupu. Typická hodnota hystereze indukčních senzorů je v rozmezí 1 až

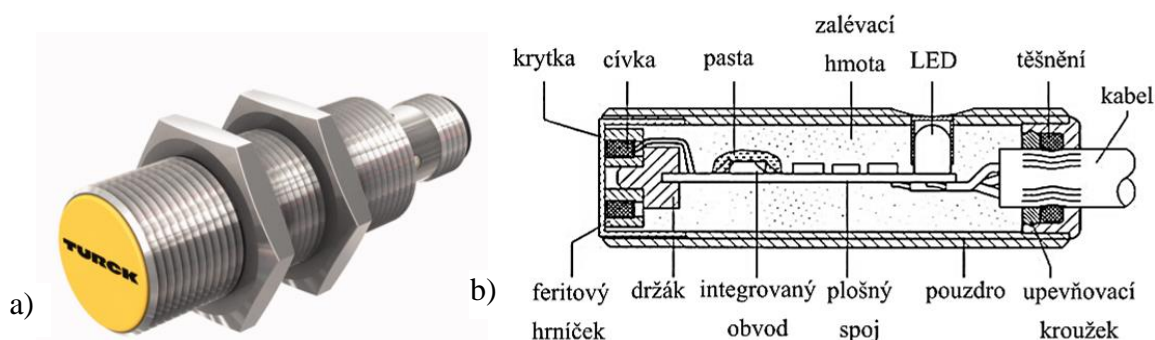
15 % a je udávána výrobcem jako axiální citlivost a je jednou z charakteristických hodnot výrobku v katalogovém listu. [13]

TEACH funkce

Senzor je také, většinou na přání zákazníka, vybaven tzv. teach funkcí, kdy se při montáži ustaví přibližná vzájemná poloha senzoru a snímaného předmětu a stisknutím tlačítka dojde k nastavení výchozí polohy. Poté je snímána a vyhodnocována výchylka od této hodnoty. Teach funkci nevyužívají jen senzory indukční, nýbrž prakticky všechny další bezdotykové senzory.

4.2.3 Provedení indukčních senzorů

Válcový tvar představuje základní konstrukční provedení indukčních senzorů. Čelní plocha válce je aktivní plochou senzoru. Vyrábí se v plastovém nebo kovovém provedení (chromovaná mosaz, nerezavějící ocel), hladké nebo se závitem, jehož velikosti pak odpovídá i velikost spínací vzdálenosti senzoru (M5 - spínací vzdálenost 1 mm, M8 - 1.5 mm, M12 - 2 mm, M18 - 5 mm, M30 - 30 mm). Vnitřní prostor je vyplněn zalévací hmotou. Na válcové nebo zadní části se nachází LED dioda pro indikaci stavu a podle přání zákazníka buď průchodka s přípojevacím kabelem, nebo konektor. Indukční válcový senzor lze vidět na obrázku 8. [13], [14]



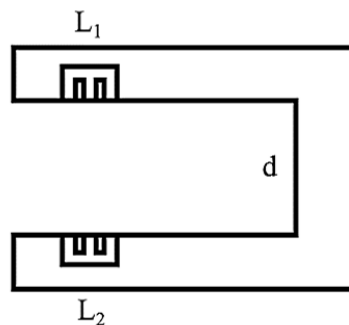
Obr. 8) a) Válcové provedení indukčního senzoru fy Turck [14]
 b) Průřez válcovým indukčním senzorem [6]

Kvádrový tvar se používá tam, kde dispozice stroje nebo jiné důvody neumožňují použití válcového senzoru. Provedení a materiály jsou obdobné jako u předchozího typu jen navíc s možností použití šroubovací svorkovnice. Krychlovou hlavu lze nastavit čelně nebo stranově. Za použití stranového nastavení je k dispozici 8 poloh po 45°. I přes dosah až 50 mm není tento typ příliš používán. Kvádrový typ lze vidět na obrázku 9. [15]



Obr. 9) Indukční senzor v provedení kvádrovém [15]

Zářezové senzory, dříve nazývané indukční závory, mají dva proti sobě umístěné cívkové systémy, které vytvářejí jakýsi transformátor s velkou vzduchovou mezerou a volnou vazbou. Každá cívka představuje jedno vinutí oscilátoru, kdy v nezatlumeném stavu stačí vazba obou cívek na to, aby oscilátor kmital. Při vniknutí kovové clonky mezi cívky (do zářezu) dojde k indukci vířivých proudů a vzájemná vazba se sníží. To má za následek utlumení kmitání oscilátoru a změně výstupního signálu senzoru. Výhodou tohoto zapojení je velmi malý vliv zvyšování ztrátového výkonu senzoru a nezávislost na druhu kovového materiálu clonky. Nevýhodou je nízká citlivost ke změnám polohy clonky podél osy cívek, tj. axiální vůle. Senzor je tudíž citlivý pouze kolmo k ose. Nákres zářezového senzoru je vyobrazen na obrázku 10. [6]



Obr. 10) Schematický nákres zářezového senzoru (indukční závory) [6]

Kruhové senzory využívají feritového kroužku obepínajícího cívku po obvodě oproti polovině feritového hrníčku, jak tomu bylo u předešlých typů. Toto zapojení působí jako odstínění magnetického pole vně snímače. Aktivní prostor snímače tedy leží uvnitř cívky a při vstupu kovového předmětu dovnitř kroužku se oscilátor utlumí. Snímat lze feromagnetické, ale i neferomagnetické materiály, avšak je třeba počítat s redukčním faktorem. Výrobce k danému typu senzoru stanovuje minimální průměr kuličky z konstrukční oceli, kdy dojde k sepnutí senzoru. Jiné materiály musí mít průměr větší, kdy zvětšení průměru je úměrné redukčnímu faktoru. Svou konstrukcí je kruhový senzor vhodný například pro zjišťování celistvosti tyčí nebo drátů, zjišťování průletu malých kovových dílů a následné zpracování čítačem pulzů. Kruhový senzor je vyobrazen na obrázku 11. [6], [16]



Obr. 11) Kruhový senzor fy Turck [16]

Senzory odolné vůči magnetickému poli se používají v případech, kdy se v blízkosti senzoru nachází elektrické svařovací zařízení nebo galvanická technologie. Vznikají nežádoucí efekty, kdy magnetické pole produkované svařecími proudy ovlivňuje chování cívky a s tím spojenou změnu výstupního signálu. Tomuto je zabráněno robustnější konstrukcí senzoru,

použitím teach funkce a potažením teflonem pro lepší odolnost vůči okujím a jiskrám. V případě potřeby lze použít senzor s čelní plochou z keramiky. [6]

Selektivní senzory jsou konstruovány především pro rozlišení feromagnetického a neferomagnetického materiálu. Toho se dosáhne použitím základního senzoru, avšak s předtlučením. V praxi se selektivní senzory používají například k detekci hliníkového obrobku v ocelovém upínači. [6]

Senzory s redukčním faktorem 1

Dosud uvažovaný princip, který využívá jedné cívky na feritovém jádře, lze nahradit lepším konstrukčním řešením, a to za použití tří vzduchových cívek. Prostřední cívka se nazývá vysílací a je přímo součástí oscilátoru. Vyrábí magnetické pole, jehož průběh je ovlivňován snímaným předmětem. Z obou stran cívky vysílací se nachází 2 rozdílné přijímací cívky. V nich se indukují napětí a tato napětí jsou z důvodu rozdílnosti přijímacích cívek různá. Napětí se vlivem zapojení odčítají a výsledkem je zbytkové napětí u . Diference napětí je pro všechny druhy kovů stejná a redukční faktor ztrácí smysl – je vždy roven 1. Další výhodou je menší náchylnost na změny teplot, jelikož výstupní signál je závislý na nulové hodnotě rozdílového napětí cívek. Toto zapojení pomohlo odstranit některé nevýhody základního provedení. Bohužel, velkou nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady a také obtížnost miniaturizovat třícívkový systém. [6]

Senzory se zabudovaným vyhodnocením otáček byly vyvinuty pro zjednodušení diagnózy závad a s tím spjaté údržby stroje. Základní senzor je rozšířen o vyhodnocovací obvod přímo dovnitř pouzdra. Frekvence snímání senzoru je dostatečná pro pokrytí většiny průmyslových aplikací, tj. otáčky v rozmezí 3 až 3000 otáček za minutu. Snímaný předmět lze použít bez úprav (ozubené kolo) nebo je vhodným způsobem upraven. Využití mají pro hlídání tzv. podkročení otáček nebo naopak překročení otáček, kdy dochází k destrukci systému. [6]

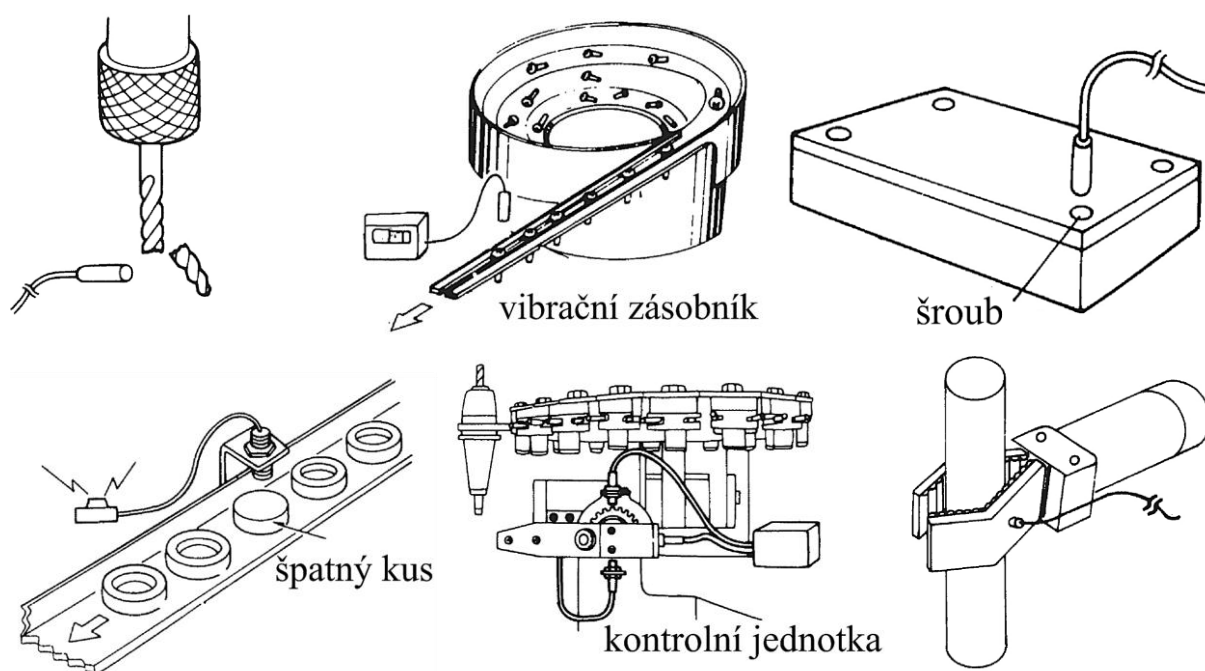
Analogové senzory nemají binární výstupní signál jako přechozí typy, ale spojitý. Funkční vzdálenost tlumicí clonky sahá od čela snímače až k hodnotě užitečné vzdálenosti (údaj výrobce) a definuje tak jeho pracovní rozsah. Používají se k snímání posuvů, středění hřídelů a úhlovému snímání. [6]

4.2.4 Výhody a nevýhody indukčních senzorů [6], [13], [14], [17]

- Relativně malé zástavbové rozměry – řádově od jednotek milimetrů
- Pracují bezdotykově, bez opotřebení a s vysokou spolehlivostí
- Nejpoužívanější typ senzorů a s tím související nízká cena pohybující se v řádech jednotek tisíců Kč (válcový senzor M18 s dosahem 10 mm vyjde na 2 000 Kč)
- Enormní odolnost vůči obtížným pracovním podmínkám díky kovovému pouzdru – venkovní, prašné či výbušné prostředí
- Použití v potravinářském a chemickém průmyslu
- Nevýhodou jsou nežádoucí citlivost na kovové materiály v okolí senzoru, zdlouhavé nastavování senzoru při absenci teach funkce a větší rozměry pro detekci malých předmětů oproti kapacitním senzorům

4.2.5 Příklady použití indukčních senzorů [17]

Indukční senzory jsou díky svým specifickým vlastnostem a ceně nezastupitelné v širokém spektru konstrukčních aplikací. Jen zlomek z nich lze vidět na obrázku 12.



Obr. 12) Obvyklé aplikace indukčních senzorů [17]

4.3 Kapacitní senzory

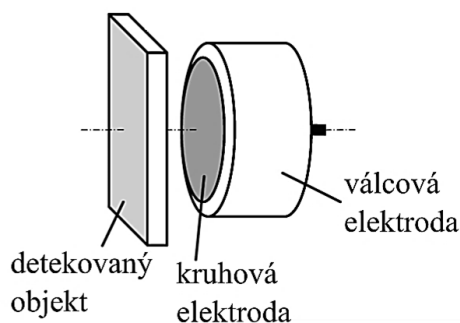
Kapacitní senzory pracují právě tak, jako senzory indukční, tj. bezdotykově, bez zpětného působení a s polovodičovým výstupem. Jsou tvořeny dvěma nebo více elektrodami, kdy se pod vlivem vnějšího působení mění kapacita senzoru. Jejich hlavní výhodou je možnost detekovat prakticky libovolný materiál a montážní provedení (vestavné a nevostavné) je shodné s indukčními snímači. [5], [6]

Díky detekci nevodivých materiálů lze tyto senzory použít pro širokou škálu aplikací:

- Snímání nekovových předmětů, hlídání hladin kapalin a sypkých hmot
- Hlídání přítomnosti malých kovových předmětů tam, kde je indukční senzor málo citlivý nebo má větší rozměry a nelze jej použít
- Kontrola přetržení při výrobě kabelů
- Hlídání úniku kapalin a netěsnosti mechanických spojů

4.3.1 Princip funkce kapacitního senzoru

Kapacitní senzor využívá kotoučové elektrody uvnitř válcového pouzdra, jež působí jako stínění. Tyto prvky představují dvě elektrody tvořící kondenzátor se základní kapacitou. Při přiblížení clonky ke snímací ploše senzoru se základní kapacita změní o určitou hodnotu a tato změna je zpracována oscilátorem. Jeho výstupní napětí je usměrněno, vyfiltrováno a jsou potlačeny případné poruchy signálu. Při detekci vodivých materiálů je dielektrikem tohoto kondenzátoru vzduch mezi senzorem a clonkou, v případě nevodivých materiálů je jím samotný materiál clonky. Nákres kapacitního senzoru je vidět na obrázku 13. [18]



Obr. 13) Kapacitní senzor [18]

Principiálně lze kapacitní senzor ovládat třemi způsoby – elektricky nevodivou clonkou nebo vodivou clonkou a to buď izolovanou, nebo uzemněnou. Clonka může být rovinná, ale také zakřivená. Spínací vzdálenost je v tomto případě třeba ověřit experimentálně. [6]

Nevodivá clonka (sklo, plast) zvýší kapacitu senzoru pouze změnou dielektrika v rozsahu elektrického pole kondenzátoru. Toto zvětšení je relativně malé a závisí na rozměrech a permitivitě (míře odporu proti vytvoření elektrického pole) materiálu clonky. Spínací vzdálenost je tedy poměrně malá. [18]

Izolovaná vodivá clonka (kov) vyvolá větší změnu kapacity než clonka nevodivá. Jejím přiblížením vznikají paralelně k základnímu kondenzátoru dva v sérii zapojené kondenzátory a to mezi elektrodou senzoru a clonkou a mezi clonkou a stíněním. Velikost měrné vodivosti nemá vliv na změnu kapacity a spínací vzdálenost je vyšší než u clonky nevodivé. [18]

Uzemněná vodivá clonka (kov) vytvoří přídavný kondenzátor mezi elektrodou senzoru a clonkou. Zapojení způsobí největší změnu kapacity a s tím spojenou největší spínanou vzdálenost za všech tří zapojení. [18]

Spínaná vzdálenost kapacitního senzoru, stejně jako u indukčního, závisí kromě druhu také na materiálu clonky. Proto je i zde obdobně zaveden tzv. redukční faktor, jenž definuje, kolikrát se zmenší spínací vzdálenost daného materiálu clonky vzhledem ke jmenovité spínací vzdálenosti pro uzemněnou kovovou clonku. Hodnoty redukčního faktoru nejčastěji používaných materiálů clonek u senzorů kapacitních jsou uvedeny v tabulce 2. [6]

Tab. 2) Redukční faktor vybraných materiálů - kapacitní senzory [18]

<i>Materiál</i>	Konstrukční ocel, voda	Alkohol	Sklo	PVC	Olej	Teflon	Vzduch, vakuum
R_f	1	0,72	0,4	0,27	0,25	0,2	0

4.3.2 Rušení kapacitních senzorů

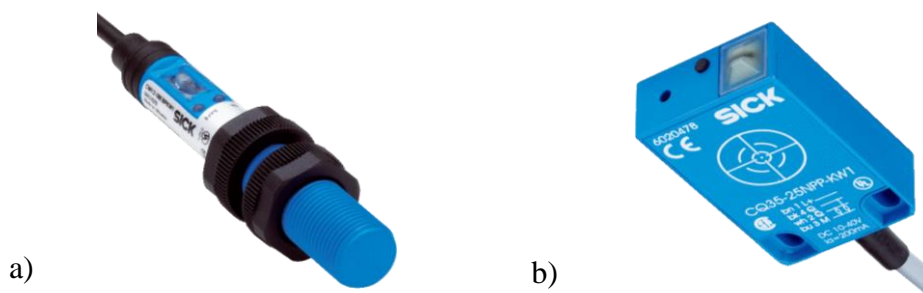
Hlavním zdrojem rušení kapacitních senzorů jsou elektromagnetická střídavá pole. Ta indukují do oscilátoru přes snímací elektrody rušivá napětí, která vybudí jeho kmitání. Zdrojem těchto polí mohou být zářivky, elektromagnetické ventily, tyristorové regulátory nebo radiové vysílače. Tato rušení lze odstranit změnou frekvence oscilátoru, ale pouze pokud není síla pole příliš velká. [6]

Další, neméně výraznou příčinou rušení, je teplota, jejíž změny působí nejvíce na oscilátor. Jako protiopatření lze použít vhodně zvolený pracovní bod. Přesto je teplotní drift ve srovnání s ostatními typy senzorů poměrně velký – až 20% jmenovité spínací vzdálenosti. [6]

Senzor může být ovlivněn také vlhkostí pracovního prostředí, přítomností prachu nebo jiných znečištění. Způsobená změna permitivity znečištěné aktivní plochy lze zmenšit přídavnou kompenzační elektrodou ve tvaru hrníčku umístěnou mezi snímací elektrodu a stínění. Jde o tzv. aktivní stínění, kdy sousední elektrody jsou na stejném potenciálu a kapacita se nezmění. [6]

4.3.3 Provedení kapacitních senzorů

Válcový a kvádrový tvar kapacitního senzoru je stejně jako u senzorů indukčních tím nejčastějším. Aktivní plocha senzoru válcového tvaru je na čelní straně, na zadní je vyveden přípojovací kabel, popř. konektor pro připojení. U kvádrového může být tvar elektrod a jejich umístění na senzoru uzpůsobeno konkrétním požadavkům aplikace. Kapacitní senzory válcového a kvádrového tvaru jsou zobrazeny na obrázku 14. [6], [19]



Obr. 14) Válcové (a) a kvádrové (b) provedení kapacitního senzoru fy SICK [19]

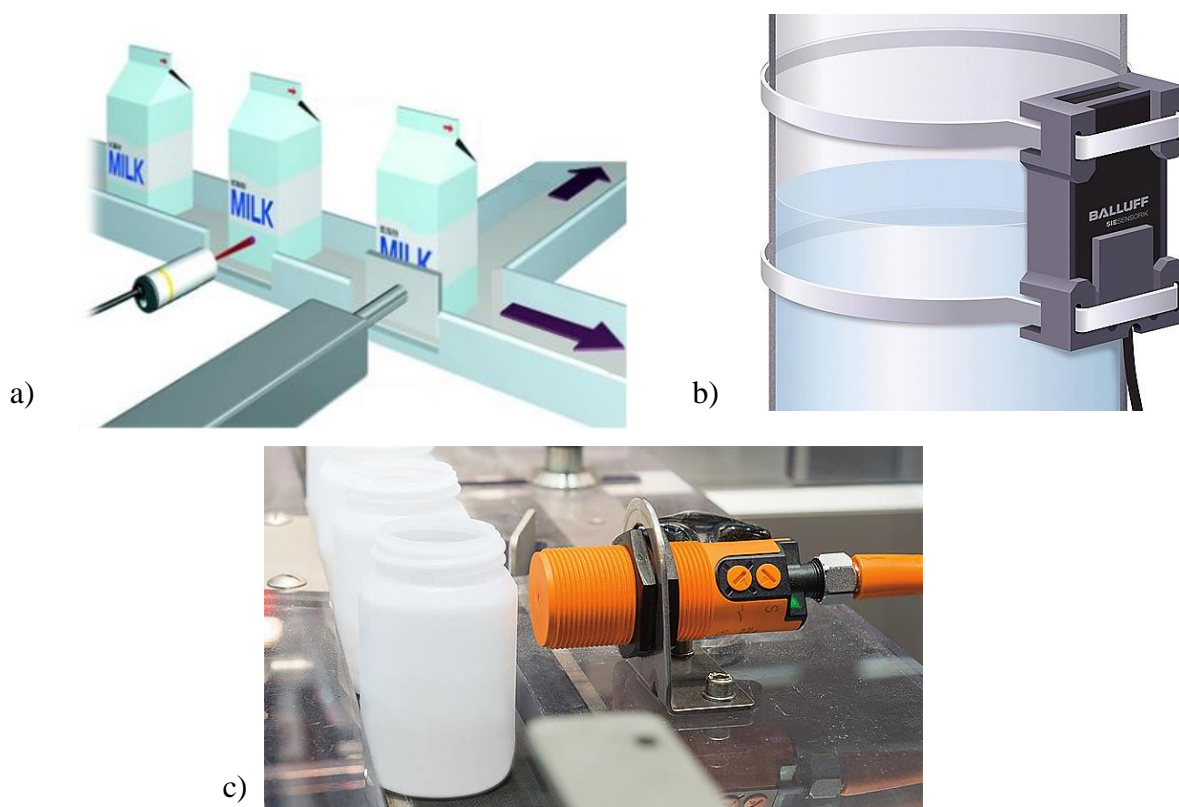
Analogové kapacitní senzory v tyčovém provedení mají, stejně jako analogové indukční senzory, spojitý výstupní signál. Lze je tedy použít např. pro měření výšky hladiny kapaliny uvnitř nádoby.

4.3.4 Výhody a nevýhody kapacitních senzorů [19]

- Možnost snímání nevodivých materiálů – kontrola hladiny a přívodu pevných látek, granulátů i kapalin
- Schopnost detekce předmětu pod krytem
- Odolnost vůči nečistotám, prachu, mlze ve vzduchu
- Lze je použít jako dotyková tlačítka reagující při přiblížení nebo dotyku
- Relativně nízká cena (válcový senzor M18 s dosahem 5 mm přijde na 3 000 Kč)
- Hlavní nevýhodou je velmi nízká citlivost oproti jiným typům, větší teplotní drift a menší odolnost vůči mechanickému poškození

4.3.5 Příklady použití kapacitních senzorů [20], [21], [22]

Typické aplikace kapacitních senzorů jsou znázorněny na obrázku 15.



Obr. 15) a) Detekce přítomnosti mléka v kartonových obalech [20]
 b) Měření výšky hladiny kapaliny v nádobě [21]
 c) Počítání plastových výrobků na výrobní lince [22]

4.4 Magnetické senzory

Magnetické senzory přiblížení slouží k bezdotykové a bez opotřebení probíhající detekci poloh v automatizovaném procesu. Jsou používány tam, kde indukční senzory z hlediska spínacích vzdáleností nepostačují. Oproti nim totiž nabízí podstatně delší spínací vzdálenosti při stejných nebo i značně menších rozměrech snímače. Další jejich výhodou je použití jen magnetismu. Magnetická pole prochází všemi nemagnetickými materiály, a tak mohou tyto senzory rozpoznávat magnety, které jsou umístěny např. za stěnami z barevných kovů, ušlechtilé ocele, hliníku, umělých hmot nebo dřeva. Montážní provedení magnetických senzorů je opět z části shodné s těmi indukčními, tj. provedení válcové, kvádrové. Speciálním je provedení do „T“ drážky pro indikaci polohy pístu pneumatických a hydraulických válců. [23]

Díky principu jejich funkce lze magnetické senzory využít v celé škále použití:

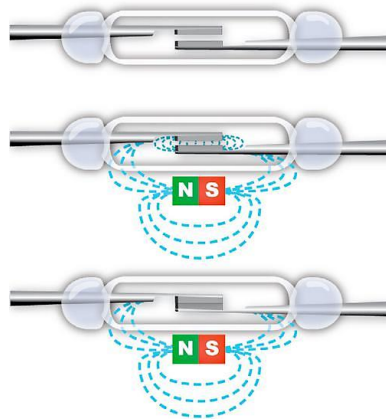
- Bezkontaktní snímání polohy pístu v pneumatických a hydraulických válcích
- Měření otáček, detekce natočení a otáčení
- Rozpoznání daného magnetu prostřednictvím kódování
- Snímání hladin kapalin a sypkých materiálu, kdy magnet je v plováku
- Indikace polohy v oblasti vysokých teplot - magnetické pole lze přenášet magnetickými vodiči a vlastní indikaci provádět ze vzdálených míst
- Identifikace objektu v agresivním prostředí přes teflonovou stěnu

Pod označením magnetický senzor se skrývá z pohledu principu jeho funkce hned několik možných provedení vykazující zcela odlišný systém funkce a tím i odlišné některé provozní vlastnosti. V průmyslové praxi se využívají všechny principy, přičemž první zmíněný princip je ten nejjednodušší a využívaný pro málo náročné aplikace, zatímco druhý zmíněný je z nich nejsložitější, vyžadující použití elektroniky, ale poskytuje obvykle i nejlepší detekční vlastnosti. Magnetické senzory lze tedy rozdělit hned do těchto skupin [23]:

- Magnetomechanický Reedův senzor
- Senzory s nasyceným jádrem cívky (magnetoindukční)
- Senzory s Hallovou sondou
- Magnetorezistivní sondy

4.4.1 Magnetomechanický Reedův senzor – princip, vlastnosti

Reedův senzor je nejjednodušším typem magnetického senzoru, díky čemuž se stále běžně využívá v jednoduchých polohovacích aplikacích. Jeho název je odvozen od principu, který byl vynalezen v roce 1936 v Bellových laboratořích. Senzor je tvořen jazýčkovým kontaktem skládajícím se ze dvou feromagnetických jazýčků uvnitř skleněné baňky naplněné inertním plynem. Jazýčkový kontakt je velmi citlivý na vlivy magnetických polí vytvářených magnety, cívkami nebo přiblížením k protékajícímu elektrického proudu. Elektrickou indukci od magnetického pole se v materiálu kontaktů vytváří opačná magnetická polarita, jež svými protikladnými póly přitáhne oba kontakty k sobě a vytvoří tak elektricky vodivé spojení kontaktů. Po vymizení magnetického pole se jazýčky vracejí do původní, rozpojené a elektricky nevodivé polohy. Princip jazýčkového kontaktu lze vidět na obrázku 16. [23]



Obr. 16) Jazyčkový kontakt a jeho chování v magnetickém poli [23]

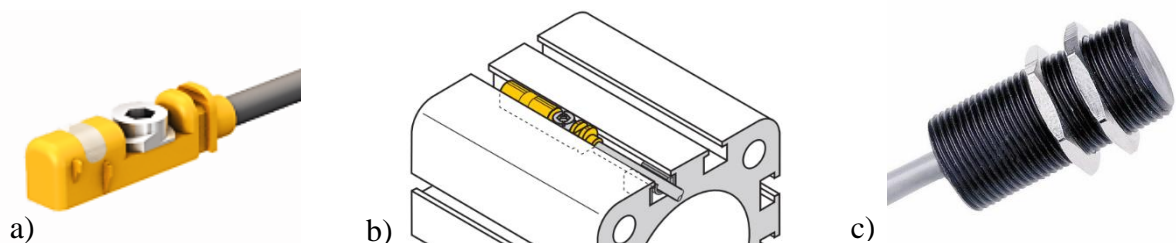
Pro zvýšení elektrické vodivosti se povrch kontaktů potahuje materiálem s lepší elektrickou vodivostí (zlato, stříbro, rhodium, wolfram). Díky tomu umožňuje napájení nízkonapěťových obvodů či vedení silně indukční zátěže. Lze tedy snímat při stejnosměrném napětí v hodnotách 10 až 30 V nebo při střídavém v rozmezí 20 až 240 V, což je ve spojení s minimálními rozměry senzoru (řádově milimetry) jednou z největších výhod použití magnetomechanického Reedova senzoru v průmyslových aplikacích. Hlavní nevýhodou je vykazování tzv. opakovaného spínání. Při přejetí magnetu kolem snímače totiž dochází k několikanásobnému sepnutí senzoru. [23]

Spínací vzdálenost a frekvence magnetomechanického senzoru

Reedův senzor se vyznačuje svou velkou spínací vzdáleností, která závisí zejména na použitém magnetu. Její největší hodnota dosahuje přibližně 100 mm. Nemagnetické materiály umístěné mezi senzor a magnet jeho funkci prakticky neovlivňují. V případě instalace senzoru na železném povrchu, jež narušuje proudění magnetického pole, je nutné použití nemagnetických mezerníků. Spínací frekvence senzoru dosahuje až stovek Hz a senzor disponuje také dlouhou životností kontaktů, přibližně desítky až stovky milionů operací. [23]

Provedení magnetomechanického senzoru a jeho použití

Nejčastěji používaným provedením je tzv. provedení pro „T“ drážku pro snímání polohy pneumatického nebo hydraulického válce. Dále je třeba uvést válcové provedení s nebo bez závitu nebo také dveřní provedení pro detekci otevření dveří nebo zábran. Tato provedení spolu s praktickými aplikacemi jsou vyobrazena na obrázku 17. [23], [24], [25]

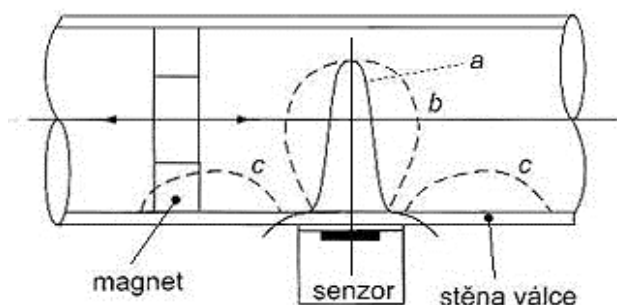


Obr. 17) a) Magnetomechanický senzor pro „T“ drážku fy TURCK [23]
 b) Použití senzoru pro „T“ drážku pneumatického válce [24]
 c) Válcové provedení se závitem [25]

4.4.2 Sensory s nasyceným jádrem cívky – princip, vlastnosti

Sensory s nasyceným jádrem cívky neboli sensory magnetoindukční byly původně vyvinuty pro zjišťování slabých magnetických polí zejména v geofyzice ke měření zemského magnetismu. Využívají princip periodicky nasycovaného jádra magnetizační cívky, jež je tvořeno měkkým magnetickým materiálem s vysokou permeabilitou (vlivem materiálu na účinky magnetického pole). Periodické nasycování jádra magnetizační cívky způsobuje indukci napětí ve druhé, snímací cívce. [26]

Bez vnějšího vlivu na senzor je průběh indukovaného napětí symetrický. Pokud začne působit vnější magnetické pole, není již indukované napětí symetrické a začnou se objevovat výchylky, které se dále odfiltrují a vyhodnotí. Dokáže tedy detekovat permanentní magnety s různou intenzitou magnetického pole. Díky tomu je zcela potlačeno tzv. opakované spínání (u senzorů s jazýčkovým relé). Je však třeba náročné vyhodnocovací elektroniky, avšak díky pokroku v integrovaných obvodech a vývoji nových vysoce permeabilních materiálů je tato metoda aplikovatelná v běžné automatizaci. Spínací charakteristiky magnetoindukčního senzoru a magnetomechanického, vykazujícího opakované spínání, lze vidět na obrázku 18. [6], [23]



Obr. 18) Porovnání spínacích charakteristik magnetoindukčního (a) a magnetomechanického senzoru (b) a (c) [23]

Magnetoindukční senzor s jádrem z amorfního kovu je jakousi zjednodušenou a tudíž i dostupnější variantou této metody. Amorfní kov vykazuje oproti krystalickým slitinám nesrovnatelně vyšší permeabilitu, nízké hysterezní ztráty a ztráty vířivými proudy. Vyhodnocení probíhá formou měření indukčnosti cívky a velkou výhodou je výrazně vyšší citlivost vůči základní variantě. [6]

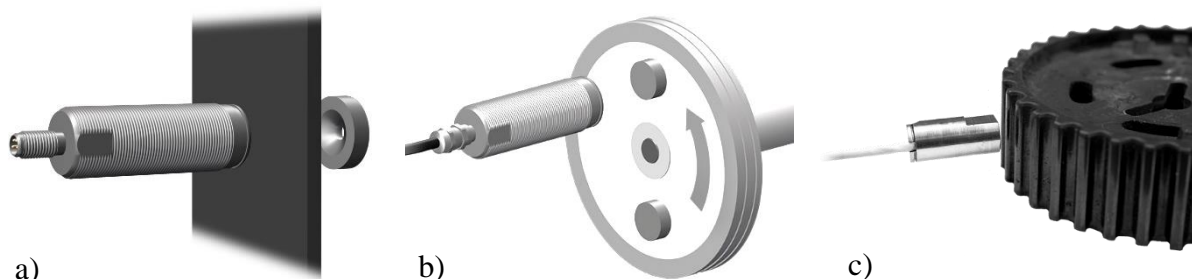
Spínací vzdálenost a polarizace magnetu

Nespornou výhodou magnetoindukčního senzoru je výrazně větší spínací vzdálenost při stejných rozměrech jako indukční senzor. Nevýhodou je nutnost použití magnetu na snímaném předmětu a vysoká hystereze, která je dána samotným principem. Správná funkce senzoru je také ovlivněna polarizací magnetu na snímaném předmětu. Zatímco podélná magnetizace vyvolává jeden spínací bod, příčná vyvolá body dva. [23]

Provedení a použití magnetoindukčních senzorů

Stejně jako u předchozích typů, provedení magnetoindukčních senzorů je shodné se senzory indukčními. Nejčastěji jde o provedení válcové s (M8, M10 nebo M12) nebo bez závitu, dále se vyrábí provedení kvádrové. Lze je použít stejně jako magnetomechanické senzory ke snímání polohy pístu pneumatického nebo hydraulického válce, dále k detekci skrz neferomagnetické objekty a stěny pro použití v náročném pracovním prostředí. Velké využití nachází ve měření rychlosti feromagnetických i neferomagnetických předmětů. Například pro

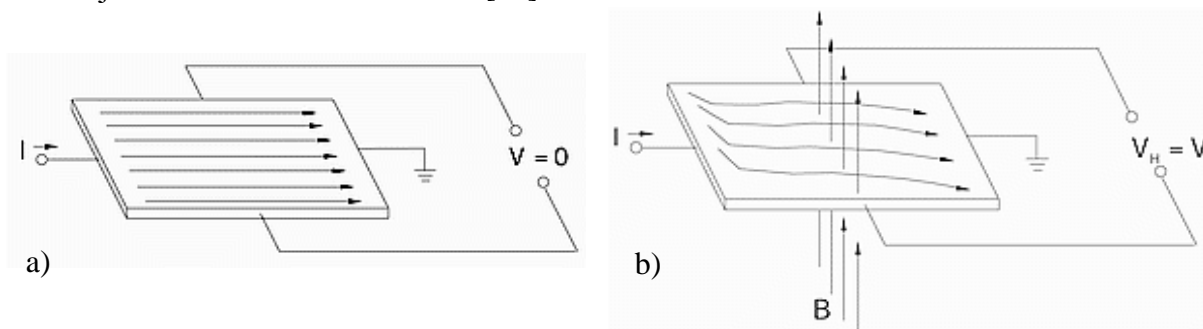
měření rychlosti ozubeného kola z feromagnetického materiálu je senzor umístěn v radiálním směru, čehož se využívá např. v systémech ABS, ESP a ASR u automobilů. Rychlost neferomagnetických materiálů se měří v axiálním směru za použití magnetů. Příklady možných aplikací magnetoindukčních senzorů jsou vyobrazeny na obrázku 19. [23], [27], [28]



Obr. 19) a) Detekce objektu přes neferomagnetickou stěnu [27]
 b) Měření rychlosti otáčení neferomagnetického disku [27]
 c) Měření rychlosti otáčení ocelového ozubeného kola [28]

4.4.3 Senzory s Hallovou sondou – princip, vlastnosti

Velká část průmyslových magnetických senzorů dnes využívá tzv. Hallova jevu. Ten byl objeven v roce 1879 Edwinem Hallem a spočívá ve vychylování směru toku elektrického proudu v závislosti na velikosti magnetické indukce pole kolmé na křemíkovou polovodičovou destičku – Hallův element. Pokud není senzor vystaven magnetickému poli, generované napětí na stranách destičky je nulové. V případě vlivu magnetického pole na senzor působí na elektrický proud procházející Hallovým elementem tzv. Lorentzova síla, která odkloní svazek elektronů od přímého směru. Rozdílná koncentrace náboje na stranách destičky tak způsobí rozdílný elektrický potenciál. Výsledkem Hallova jevu je tedy generování napětí na bočních stranách destičky úměrné velikosti magnetického pole působícího na senzor. Pro ujasnění je Hallův jev znázorněn na obrázku 20. [29]



Obr. 20) Hallův element bez působení (a) a za působení magnetického pole (b) [29]

Použití senzorů s Hallovou sondou

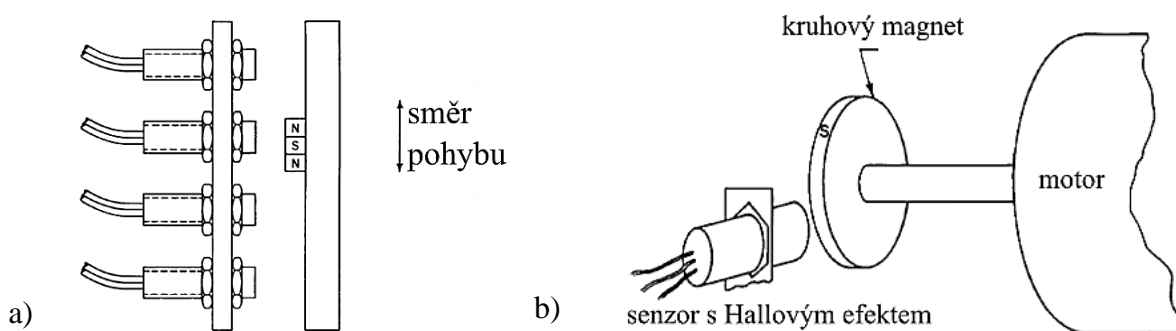
Senzory s Hallovou sondou nacházejí využití v mnoha technických aplikacích. V elektrotechnice jsou používány ke měření magnetických polí, elektrického napětí nebo proudu, například v klešťových ampérmetrech. V segmentu automatizace je jejich použití také nezanedbatelné. Právě možnost integrace vyhodnocovací jednotky na křemíkovém čipu společně se snímací jednotkou umožňuje vytvoření několikamilimetrového kompletně vybaveného senzoru pro detekci pohybu nebo přiblížení velmi malých objektů. Tyto součástky

jsou však integrovány do desek plošných spojů a příliš se nehodí pro samostatné nasazení. V praxi se tedy daleko více používá provedení velmi podobné sensorům indukčním – válcovému nebo kvádrovému. [29]

Magnetické senzory s Hallovým efektem lze rozdělit také podle detekovaného materiálu. Zatímco jeden typ používá k detekci magnet, druhému stačí jen přítomnost feromagnetického materiálu. Můžeme je tedy dělit na 2 skupiny [29]:

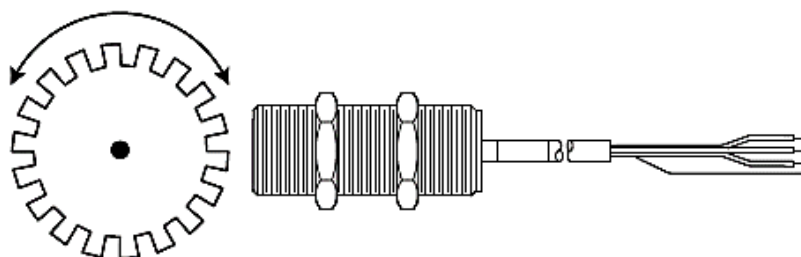
- Přímý magnetický senzor s Hallovým snímačem k detekci přítomnosti magnetu
- Senzor s vychýleným Hallovým snímačem k detekci feromagnetického materiálu

Přímý magnetický senzor detekující magnet umístěný na pohybujícím se předmětu umožňuje detekci i uvnitř kovových neferomagnetických pouzder (nerezová ocel, hliník, měď, atd.). Disponuje spínacím rozsahem 50 až 60 mm u provedení M8 a cca 70 mm u provedení M18. Hodnoty jsou v průměru okolo 20 mm menší než u sensorů magnetoindukčních, nicméně bývají také dražší. Některá použití ukazuje obrázek 21. [29]



Obr. 21) a) Detekce posuvu předmětu [29]
 b) Detekce otáčení motoru pomocí kruhového magnetu [29]

Senzor s vychýleným Hallovým snímačem nedetekuje přítomnost magnetu jako typ předchozí, ale feromagnetického materiálu, nejčastěji oceli. Za Hallovým snímačem je v pouzdru umístěn magnet, který generuje magnetické pole. Přiblížením kovu k senzoru se vychýlí magnetické pole a tato změna se objeví jako změna napětí. Velkou nevýhodou jeho konstrukce je velmi malá spínací vzdálenost, řádově jednotek milimetrů. Využívá se tedy především pro měření otáček pomocí snímání ozubeného kola. Senzor generuje výstupní signál o maximální teoretické frekvenci signálu až 100 kHz, v praxi okolo 20 kHz. Měření otáček ozubeného kola lze vidět na obrázku 22. [29]

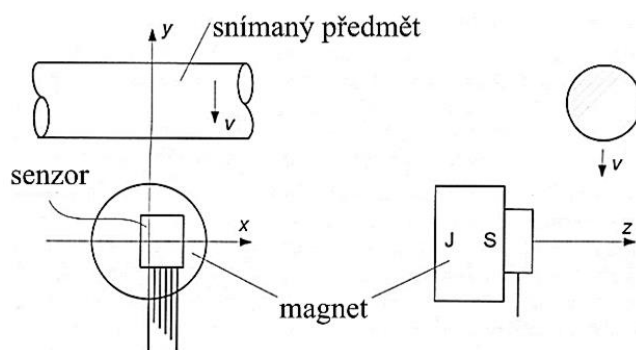


Obr. 22) Senzor s vychýleným Hallovým snímačem pro měření otáček ozubeného kola [29]

4.4.4 Magnetorezistivní sondy – princip, vlastnosti

Jak již název nepovídá, magnetorezistivní sondy využívají ke své funkci rezistory závislé na magnetickém poli. Princip je obdobný jako u senzorů s Halloovou sondou. Základním prvkem je speciální polovodičová destička, kterou bez působení magnetického pole protéká proud tou nejkratší cestou. Při průchodu magnetického pole destičkou se proud stranově vychýlí a ta vykáže větší odpor, který je vyhodnocen a poslán na výstup senzoru. [6]

Destička nemusí být polovodičová, může být vyrobena i ze speciálního feromagnetického materiálu, tzv. permalloy. Tento materiál je zpracováván tak, že elementární magnety mají jednu orientaci v podélném směru pásku. Bez magnetického pole vykazuje pásek největší odpor. Jakmile se začne intenzita magnetického pole zvětšovat, odpor pásku se začíná zmenšovat. Správnou konstrukcí destičky lze v přijatelném rozsahu dosáhnout lineární závislosti. Schéma konstrukce magnetorezistivní sondy ukazuje obrázek 23. [6]



Obr. 23) Konstrukce magnetorezistivní sondy [6]

V praxi lze magnetorezistivní sondu použít k detekci pohybujícího se feromagnetického předmětu. Na senzoru je přilepen magnet, který vytváří magnetické pole směřované tak, aby neovlivňovalo senzor. Přiblížením feromagnetického předmětu k senzoru dojde k deformaci magnetického pole a aktivaci senzoru. Snímací vzdálenost je nutno odzkoušet dle typu magnetu a senzoru, obecně je však podobná jako u senzorů s Halloovou sondou. Nevýhodou může být možnost nežádoucího působení magnetického pole na snímaný předmět. [30]

Provedení a použití magnetorezistivních sond

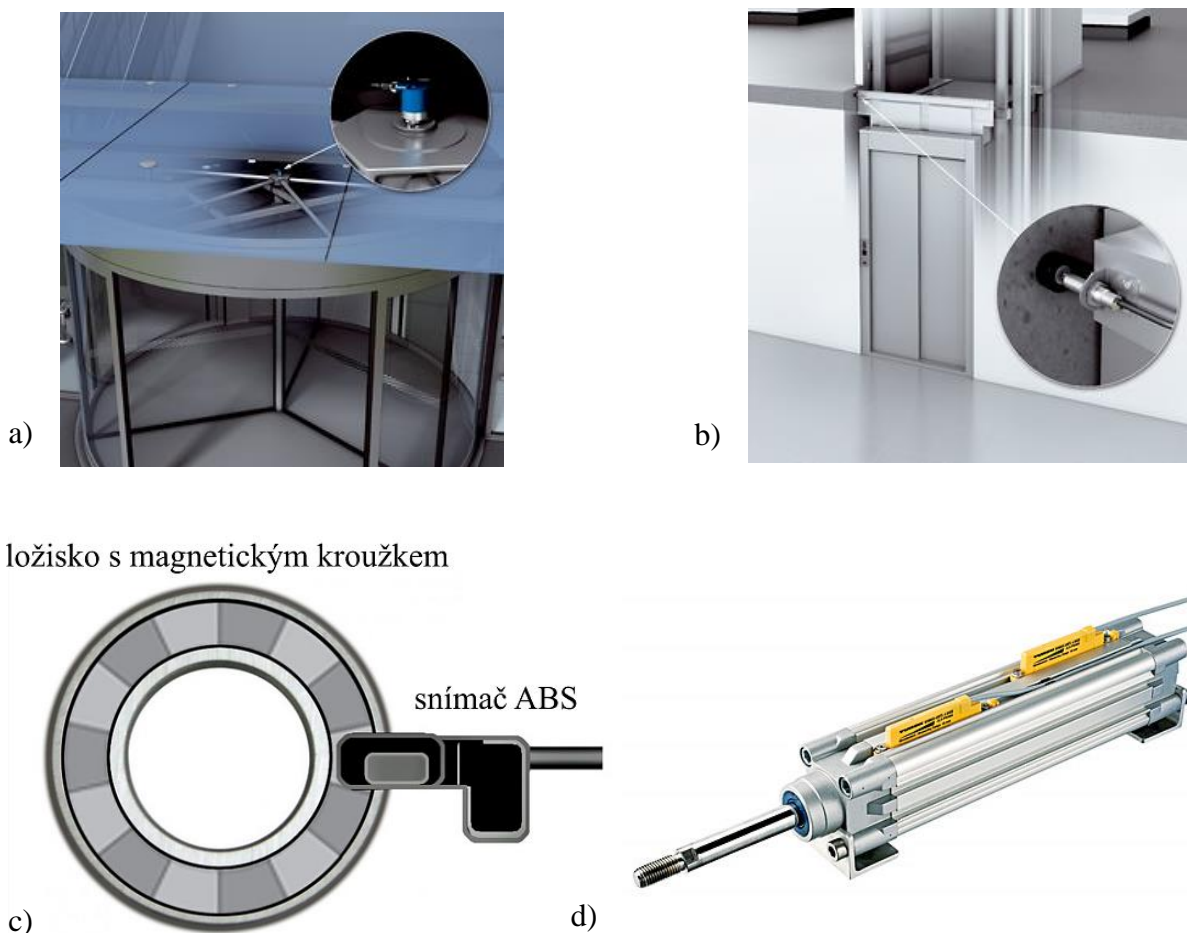
Provedení magnetorezistivních sond je opět stejné jako u všech předchozích typů, a to válcové (se závitem nebo bez závitů) a kvádrové. Další použití nacházejí v mnoha aplikacích jako je měření rychlosti předmětů, odměřování úhlů, lineární odměřování, měření proudu (klešťový ampérmetr) či měření magnetického pole Země pro kompas a navigaci. Dříve se používaly jako senzory tlačítek klávesnice pro PC, avšak kvůli velkému počtu senzorů uvnitř klávesnice bylo od výroby pro vysoké náklady upuštěno. [30]

4.4.5 Výhody a nevýhody magnetických senzorů [30]

- Podstatně větší spínací vzdálenost než u indukčních senzorů při stejných nebo i menších rozměrech
- Možnost detekce feromagnetického předmětu za neferomagnetickou stěnou
- Možnost hlídání hladiny agresivních kapalin
- Jednoduchá konstrukce (Reedův senzor) – nízká cena v řádech desítek až stovek Kč
- Nevýhodou je nežádoucí působení magnetického pole na snímáný předmět a mírně vyšší cena složitějších typů (magnetoindukční senzor s válcovým pouzdrem M12 a dosahem 90 mm vychází na 8 000 Kč)

4.4.6 Příklady použití magnetických senzorů [31], [32], [33]

Obrázek 24 ukazuje častá použití magnetických senzorů v průmyslových aplikacích.



Obr. 24) a) Určení polohy a rychlosti otáčení karuselových dveří [31]

b) Detekce zón ve výtahové šachtě [31]

c) Snímač ABS v automobilovém průmyslu [32]

d) Hlídání polohy pneumatikálního válce [33]

4.5 Ultrazvukové senzory

Ultrazvukové senzory jsou používány všude tam, kde používaný princip nedovoluje nasazení senzorů indukčních nebo kapacitní. V praxi se může jednat například o potřebu velké spínací vzdálenosti (až 10 metrů) nebo detekci prakticky libovolného materiálu. Ovšem v pohledu konstrukčního se provádějí ve stejném elektrickém i mechanickém provedení jako ostatní typy. I ultrazvukové senzory však disponují řadou nevýhod – rozptyl vysílaného paprsku na hladkých površích a nemožnost použití ve vakuu. S ohledem na jejich výhody a omezení je použití ultrazvukových senzorů následující: [34]

- Snímání pohybu nebo polohy libovolných materiálů
- Detekce průhledných předmětů
- Použití v prašném a vlhkém prostředí
- Detekce chodu dopravníku
- Nastavení pozice montážních linek
- Sledování úrovně hladiny sypkého, kapalného nebo pevného materiálu v zásobníku

4.5.1 Princip funkce ultrazvukových senzorů

Klasický ultrazvukový senzor využívá ke své funkci ultrazvuk. Ultrazvukem označujeme akustické vlny o frekvenčním rozsahu nad hranicí lidské slyšitelnosti. Pro tyto vlny však platí stejné fyzikální zákony jako pro zvukové vlny slyšitelné lidským uchem. Zvuk vzniká chvěním hmoty a ta jej předává hmotným částicím prostředí, např. vzduchu. Zvukové vlny se, oproti elektromagnetickým vlnám, šíří jen hmotou a nemohou se tedy šířit vzduchoprázdňem. Ve vzduchu nastane zředování a zhušťování částic, ty začnou kmitat kolem svých rovnovážných poloh a místa zředění a zhuštění postupují vzduchem určitou rychlostí nazývanou rychlost šíření zvuku. Předpokladem šíření zvuku hmotou je elasticita a rychlost šíření zvuku závisí na prostředí, kde se zvuk šíří, dále teplotě, tlaku a vlhkosti (u plynných skupenství). [6]

Ultrazvukový senzor vykazuje podobnou vnitřní blokovou strukturu jako senzor indukční. Jako čidlo se používá piezokeramický měnič s budicími a přijímacími obvody. Jde o keramický kotouček slepený se stejně velkým kovovým kotoučkem nebo kotoučkem ze směsi dvou materiálů – skla a pryskyřice. Přiložením napětí se piezokotouček zvětší a celý systém se prohne – vyslání signálu. Měnič se vybudí pomocí oscilátoru naladěného na rezonanční frekvenci měniče a vyšle tak do prostředí impuls, který se prostředím šíří rychlostí zvuku. Naopak prohnutím systému se generuje napětí – příjem signálu. Doplněním měniče o další prvky získáme přístroj schopný měřit vzdálenost nebo detekovat předměty. [6], [34]

Snímaný předmět musí být umístěn kolmo ke směru šíření, kde se předpokládá nulový úhel odklonu a očekává se příjem odraženého signálu v místě jeho vyslání. Dosah senzoru se zmenšuje s rostoucí pracovní frekvencí, např. při frekvenci 200 kHz má senzor spínací vzdálenost kolem 2 m, při 40 kHz je to přibližně 10 m. [6]

4.5.2 Problémy ultrazvukového měření

Základním problémem ultrazvukových senzorů je závislost výsledku na rychlosti zvuku. Ta samotná je závislá na mnoha aspektech, jako je teplota, tlak, vlhkost nebo znečištění vzduchu. Při požadavku velmi přesných senzorů se proto provádí měření těchto veličin a skutečná doba

odezvy se podle nich přepočítává. Pro standardní řadu senzorů však postačuje potlačení největšího vlivu, teploty, která se však měří pouze v okolí senzoru a neznáme tedy její hodnotu podél celé dráhy měření. [6]

Přesnost senzoru může být také ovlivněna přítomností druhého senzoru pracujícího na stejné frekvenci. Senzor prakticky nepozná, zda se jedná o vlastní signál nebo signál druhého senzoru. Toto lze vyřešit aplikací úzkopásmových senzorů, kdy senzory pracující v blízkosti pracují na různých frekvencích. Řešení je však finančně nevýhodné, jelikož je nutno každý měnič konstruovat zvlášť. Výhodnějším řešením je jakési kódování signálu senzoru vysláním přesně dané dávky impulzů. Senzor poté detekuje svůj signál díky rozdílným parametrům dvojice signál - mezera. Nežádoucí interakce několika kusů senzorů je tedy prakticky nemožná. Nepříznivá je zde však potřebná delší doba pro porovnání různých kódů. [6]

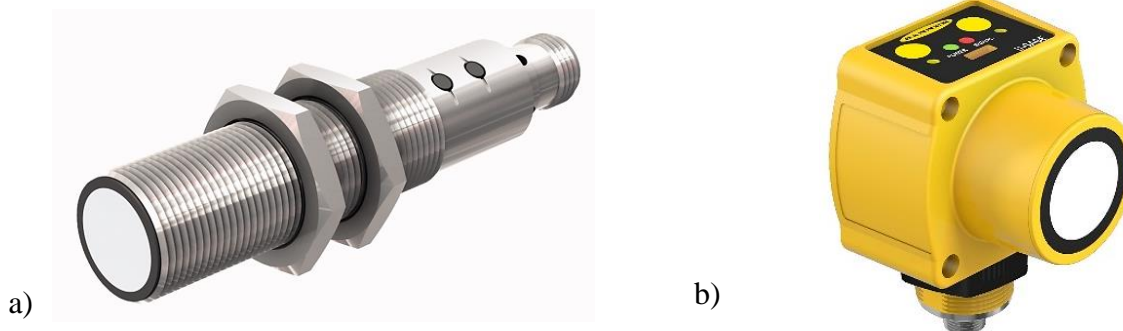
Nezanedbatelnou nevýhodou systému je tzv. „mrtvý čas“. Jedná se o dobu, kdy musí senzor od vyslání impulzu do jeho příjmu nečinně čekat po dobu, kdy měnič dokmitává. Kvůli tomu vzniká v blízkosti senzoru nefunkční pásmo nazývané „mrtvá zóna“, v němž nelze žádnou odezvu detekovat. Mrtvá zóna je u senzorů s dosahem 1 m přibližně 20 cm, při dosahu 6 m odpovídá 80 cm. Lze ji však potlačit např. použitím složitějšího, dvousystémového měniče. [6]

4.5.3 Ultrazvukové senzory pro měření vzdálenosti

Principem měření vzdálenosti u ultrazvukových senzorů je vlastně měření času odezvy neboli echa. Vyhodnocení odezvy probíhá na stejném místě, ze kterého byl signál vyslán, a tento způsob je proto nazýván reflexní. Měnič vyšle v určitém časovém okamžiku několik impulzů neboli dávku. Dávka se šíří prostředím a ve chvíli, kdy narazí na předmět, se část vlnění odrazí a vrátí zpátky směrem k senzoru. Odezva je detekována stejným (jednoduchý systém) nebo dalším měničem - přijímačem (dvojitý systém), a to tak, že se měří čas od vyslání signálu do příjmu jeho odražené části. Vyhodnocovací jednotka přepočítá čas odezvy na vzdálenost předmětu. Nevýhodou jednoduchého systému je již zmíněná „mrtvá zóna“. [6], [35]

Kolísáním vlastností prostředí vzniká nepřesnost měření. Aby byla dodržena požadovaná přesnost, senzor provede více měření a výsledná hodnota vzdálenosti je vlastně střední hodnotou těchto měření. Druhým řešením je porovnání změřené hodnoty s aktuální střední hodnotou a v případě větší odchylky je výsledek odmítnut. Avšak měření se i tímto bohužel prodlužuje. [6]

Ultrazvukové senzory pro měření vzdálenosti se opět vyrábí v provedení jako všechny předchozí typy. Na čelní ploše senzoru je pod vazební vrstvou umístěn piezokeramický měnič. Provedení ultrazvukových senzorů pro měření vzdálenosti je zobrazeno na obrázku 25. [6], [36], [37]



Obr. 25) a) Válcový ultrazvukového senzoru pro měření vzdálenosti fy TURCK [36]
b) Kvádrové provedení fy Banner [37]

4.5.4 Ultrazvukový senzor v režimu závora

Režimem závora se rozumí konfigurace ultrazvukového senzoru pro prostorové hlídání (detekci objektů) a rozlišuje se na 2 druhy:

- Reflexní neboli dvojcestná závora
- Jednocestná závora

Reflexní závora obsahuje vysílač a přijímač v jednom pouzdře a k odrazu tak musí být použit nepohyblivý, pevně uchycený reflektor. Senzor stále hlídá vzdálenost mezi senzorem a reflektorem a vyhodnocuje dobu odezvy – vzdálenost. Pokud zjistí rozdíl mezi změřenou vzdáleností a statickou vzdáleností reflektoru, tj. přítomnost předmětu mezi senzorem a reflektorem, senzor na výstupu sepne. Kvůli kolísání vlastností vzduchu lze reflexní závora použít pro hlídání relativně malých vzdáleností v řádech desítek centimetrů. Další nevýhodou je delší čas odezvy, protože vlna musí urazit cestu od senzoru k reflektoru a zpět. [6]

Jednocestná závora se skládá z vysílače a přijímače a je schopna problémy reflexní závory potlačit nebo zcela odstranit. Její dosah je limitován pouze reakční dobou měniče a elektroniky. Naproti reflexní závoře je tedy schopna hlídat až trojnásobnou vzdálenost. V praxi se jedná o dosah s minimální hodnotou 10 cm a maximální 3 m, avšak maximální dosah u speciálních provedení je až 80 m. Princip funkce je přitom obdobný. Vysílač vyšle signál směrem k přijímači a zároveň začíná měřit čas – dobu běhu. Přerušil-li signál nějaký předmět, přijímač impuls neregistruje a senzor změni výstupní signál. Pokud je signál stále přerušen, zahájí nový měřicí cyklus po době, která odpovídá vzdálenosti vysílač – přijímač. [6]

4.5.5 Ultrazvukový hlídač hladiny

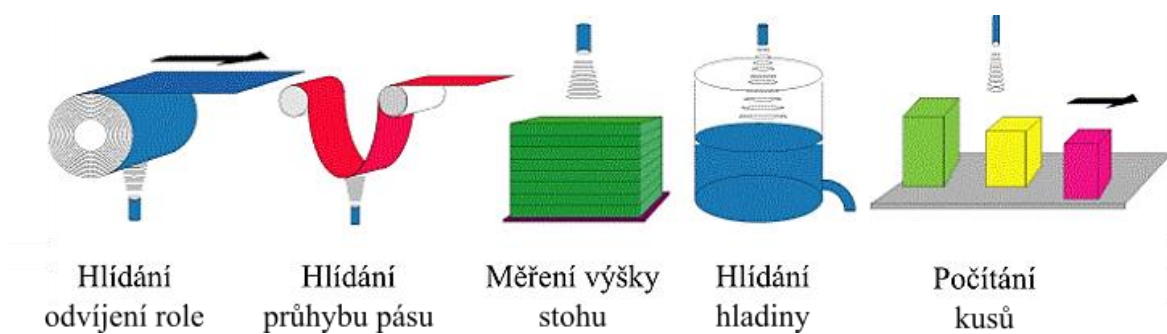
Speciálně pro hlídání kapalin a sypkých hmot se vyrábějí ultrazvukové senzory s vysoko-frekvenčním impulzem. Senzor je přes vazební gel připevněn k vnější stěně nádoby. Impuls se přes gel dostane ke stěně nádoby, dále dovnitř nádoby a dle okolností je odražen zpět k senzoru. Tímto informuje, zda se uvnitř nádoby nachází daná látka. Vzduchové bubliny nebo nečistoty přitom neovlivňují jeho funkci. Nevýhodou může být ulpívání kapaliny na stěnách nádoby a s tím související chyba měření. To lze vyřešit promícháváním kapaliny nebo nastavení senzoru pro sepnutí odrazem ultrazvuku od zadní stěny nádoby. [6]

4.5.6 Výhody a nevýhody ultrazvukových senzorů [38]

- Schopnost detekce prakticky libovolného materiálu včetně průhledného
- Možnost velmi přesného naladění senzoru a potlačení nežádoucího pozadí
- Odolnost detekce vůči zašpinění, prašnému prostředí
- Velmi přesné měření
- Hlídání kapaliny přes stěnu nádoby
- Detekce předmětů v prostředí se stříkající kapalinou
- Relativně nízká cena v poměru k dosahu (válcový senzor M18 s dosahem 40 mm stojí 4 000 Kč)
- Nevýhody jsou nemožnost umístění více senzorů na malé ploše z důvodu vzájemné interakce, rozptyl vysílaného paprsku na hladkých površích, neschopnost měřit ve vakuu, mrtvá zóna kvůli dokmitání vysílače a také delší doba odezvy reflexní závory

4.5.7 Příklady použití ultrazvukových senzorů

Nejčastější aplikace ultrazvukových senzorů jsou uvedeny na obrázku 26.



Obr. 26) Typické použití ultrazvukových senzorů v automatizaci [35]

4.6 Optické senzory

Jedním z nejpoužívanějších typů senzorů pro zjištění přítomnosti předmětů jsou bezesporu senzory optické, někdy označované jako optoelektronické či fotoelektronické. Principem funkce se do jisté míry podobají sensorům ultrazvukovým a jejich odlišnosti upřesňují aplikační možnosti obou typů. Z pohledu funkčního rozsahu se jedná o nejvíce používané senzory v průmyslu. Důvodem aplikace tohoto druhu jsou mimo jiné stále menší rozměry a stále rostoucí spínací vzdálenost. Nemalou výhodou je také necitlivost vůči elektromagnetickému poli, nevýhodou je však nízká odolnost vůči vlhkosti a znečištění prostředí. To vše se promítá v mnoha typických aplikacích optických senzorů: [6], [39], [40]

- Detekce přítomnosti libovolných materiálů na vzdálenosti až desítek metrů
- Detekce posunu dopravníků
- Zjišťování množství materiálu na odvíjené roli
- Hlídaní hladiny kapalin nebo sytkých látek, kontrola naplnění zásobníků
- Kontrola obsahu, polohy, chybějících částí nebo rozměrů
- Nastavení pozice, počítání dílů
- Inspekční úlohy s rozlišením barev
- Zjišťování chybných etiket, kontrola obsahu krabic

4.6.1 Princip funkce optických senzorů

Jak už bylo řečeno, optický senzor pracuje na obdobném principu jako senzor ultrazvukový. Rozdílem mezi principy je druh vysílaného signálu. Zatímco u senzorů ultrazvukových se jedná o akustickou vlnu, senzory optické používají paprsek světla. Základem je přeměna elektrického proudu na elektromagnetické vlnění (světlo) a naopak. Pojem světlo se rozumí elektromagnetické spektrum od ultrafialové oblasti, přes oblast viditelného světla až po oblast infračervenou. První optické senzory využívaly jako vysílací prvky právě viditelné světlo a jako přijímací prvky byly použity fotoodpory a fotobuňky. Avšak toto řešení mělo příliš nepříznivých účinků, např. setrvačnost vlákna či obtížné rozlišení užitečného světla od cizího zdroje. Základem moderních optických senzorů se tedy staly luminiscenční diody (LED) nebo polovodičové laserové diody jako vysílače a fotodiody, fototranzistory nebo liniové optoelektronické prvky PSD jako přijímače. [6], [40]

4.6.2 Vysílací prvky - vysílače

Luminiscenční diody (LED) jsou polovodičové prvky využívající přechod PN ke vstříkovaní elektronů do pásma P a děr do pásma N. Zda se vzniklá energie uvolní ve formě tepla (fononů) nebo ve formě světla (fotonů) záleží zejména na druhu materiálu. Jako vhodný se ukázal arsenid gallitý (GaAs), jež dosahuje vysoké účinnosti a vlnová délka jím vyzářeného světla odpovídá infračervené oblasti a je tedy vhodný pro infradiody. Ty se spolu s vhodnou čočkou využívají především u reflexních závor pro krátký a střední dosah a pro připojení ke světlovodům. [6]

Laserové diody používají vysoce dotovaný přechod PN opět na bázi GaAs. Pomocí rovnoměrně buzené emise a optické rezonance v polovodičovém krystalu jsou schopny emitovat koherentní světlo. To znamená, že kvanta světla mají stále stejnou frekvenci a fázi. Polovodičové lasery jsou však velmi citlivé na kolísání okolní teploty a při klesající teplotě

může dojít k destrukci diody. Aby se tomuto zabránilo, do laseru je integrováno čidlo teploty a elektronika čidla reguluje výstupní výkon v závislosti na změně teploty. Uplatnění nacházení při snímání objektů různých materiálů od pryže po lesklý kov na velké vzdálenosti, a to až desítky metrů. [6]

4.6.3 Příjímací prvky - přijímače

Fotodiody slouží k převádění přijatého světelného signálu na signál elektrický, tj. vyzářený foton v přechodu PN vyvolá elektrický proud. Vstupující foton způsobí v blízkosti PN přechodu vytvoření párů elektron - díra a tím vzniká v přechodu proud. Vnitřním rozložením fotodiody lze ovlivnit velikost proudu a celkově chování diody. Využití nacházejí při měření intenzity osvětlení, v reflexních závorech a při použití čočky pro připojení ke světlovodům. [6]

Fototranzistory jsou fotodiody vybavené tranzistorem jako zesilovačem. Mají velkou nevýhodu – velmi nepříznivou teplotní závislost. Avšak při současném použití infradiody a fototranzistoru se jejich teplotní závislosti téměř vykompenzují. Matice obsahující velké množství fototranzistorů se uplatňují ve dnes hojně používaných CCD senzorech používaných v kamerách pro strojové vidění. [6]

Liniový optoelektronický prvek – PSD neboli dioda s laterálním efektem je variantou fotodiody s přijímací světlocitlivou plochou ve tvaru pásku. Na čelních stranách se nacházejí dva kontakty k_1 a k_2 , na spodní straně je umístěn kontakt společný. Prvek je schopen měřit odpor osvětlené plochy právě mezi svorkami k_1 a k_2 a měřením vzniklých proudů lze vypočítat polohu osvětleného bodu s přesností na mikrometry. Použití tedy PSD prvek nachází u měřicích optických přístrojů a rozšířením metody na dvojrozměrnou lze snímat polohu i v rovině. Menší nevýhodou této metody je nehomogenita odporu plochy vzniklá při výrobě. [6]

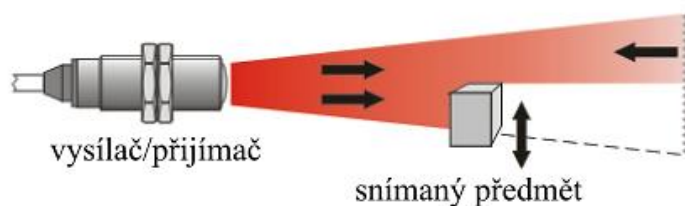
4.6.4 Provedení optických senzorů

Optické senzory jsme schopni podle konstrukce a použití členit na několik skupin, které jsou podobné těm u senzorů ultrazvukových: [7]

- Reflexní závory
- Jednocestné závory
- Reflexní senzory
- Vlákňová optika
- Laserové senzory
- Ostatní druhy – optické zářezové, senzory barevné značky

Reflexní závory

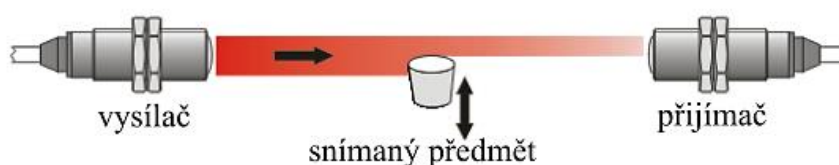
Optické reflexní senzory pracují na principu reflexe stejně jako ultrazvukové, tj. vysílač paprsku i přijímač jsou umístěny v jednom pouzdře. Světlo vyzářené vysílačem je pomocí pevně vzdáleného reflektoru odraženo zpět směrem k senzoru k detekci přijímačem. Reflektor je zde jakousi odrazkou složenou z průhledných trojbokých hranolů, pomocí nichž se dopadající světelný paprsek odrazí vždy do směru, ze kterého byl vyslán. Aby byla zajištěna správná funkce senzoru, reflektor by měl vždy být menších rozměrů než snímaný předmět. Pokud mezi senzor a reflektor vnikne předmět, změní se čas, za který se paprsek vrátí zpět, a elektronika senzoru změní výstupní hodnotu. Princip funkce je znázorněn na obrázku 27. [7], [41]



Obr. 27) Princip reflexní optické závory [41]

Jednocestné závory

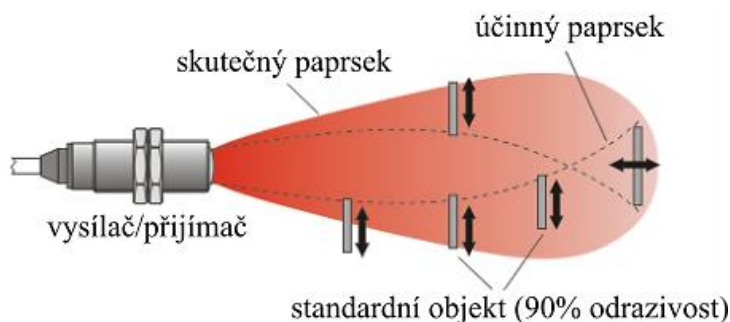
Princip jednocestných světelných závor je opět shodný jako u ultrazvukových. Vysílač a přijímač jsou namontovány proti sobě v optické ose. Pokud detekovaný předmět přetne celý paprsek, změní se vlastnosti fotodetektoru a senzor vyhodnotí změnu. Velikost paprsku lze pro potřebu snímání malých předmětů redukovat zakrytím čočky clonou z kovového materiálu. Malé předměty je však výhodnější detekovat laserovými senzory. Velkou výhodou oproti reflexním závorám je znatelně větší dosah senzoru při stejných rozměrech, konkrétně se jedná o vzdálenosti až 200 m, zde již s podmínkou stability upevnění vysílače a přijímače. Princip funkce jednocestné závory je vidět na obrázku 28. [7]



Obr. 28) Princip jednocestné optické závory [41]

Reflexní senzory

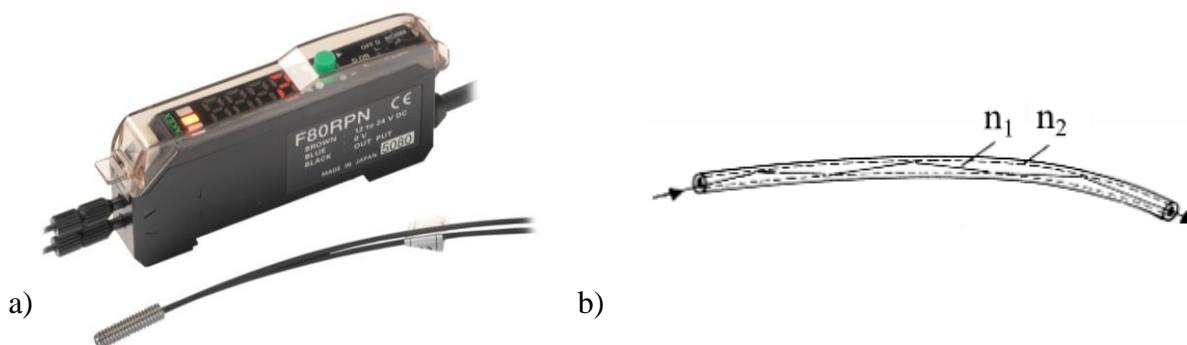
Konstrukcí se reflexní senzory velmi podobají reflexním závorám, protože v jednom pouzdře obsahují vysílač i přijímač. Využívají vlastní reflexe detekovaného předmětu, k vyhodnocení však nepoužívají světlo odražené od reflektoru, nýbrž přímo světlo odražené od detekovaného předmětu – difúzní detekce. Senzor se sepnut, pokud detekovaný objekt vstoupí do oblasti účinného paprsku (viz obrázek 29). Použitá čočka k usměrnění paprsku zvyšuje snímací vzdálenost, ale také citlivost vůči úhlu odklonění. Povrch předmětu, pokud to lze, by proto měl být ideálně rovnoběžný s rovinou čočky. Snímání průsvitných, lesklých nebo zrcadlicích předmětů je obecně velmi obtížné. Tento problém se však nevyskytuje u optiky hrubých předmětů. Snímací vzdálenost je závislá na velikosti a profilu detekované plochy, typická hodnota je do 500 mm. Reflexní senzory také dokážou přesně vyhodnotit vzdálenost předmětu, jeho kontrast, barvu a jiné parametry. Princip snímání reflexním senzorem blíže ukazuje obrázek 29. [6], [7]



Obr. 29) Princip funkce reflexního senzoru [41]

Vláknová optika

U optického vlákna můžeme zvolit způsob detekce typu optické závory (vysílač/přijímač) nebo typu reflexního senzoru (difúzní detekci). Vysílač a přijímač jsou přitom umístěny spolu se zesilovačem v jednom pouzdře a světlo je vedeno k místu detekce vodiči z optických vláken neboli světlovody. Světlovody jsou tvořeny z transparentních dielektrických vláken vyrobených z plastu nebo skla o indexu lomu n_1 a pláštěm z kovu o indexu lomu n_2 . Pro správný průchod paprsku světlovodem musí být index lomu pláště výrazně menší než index lomu vlákna (viz obrázek 30 b). Na konci jsou vlákna opatřena příslušnou čočkou. Lze je tedy použít i v prostředí s vysokou teplotou, stříkající vodou nebo k detekci malých objektů v malých prostorech. Nevýhodou je krátký dosah a nutnost použití samostatného zesilovače. Optický senzor se světlovody a průchod paprsku jimi lze vidět na obrázku 30. [7], [42], [43]



Obr. 30) a) Optický senzor se světlovodem zakončeným čočkou [42]
b) Průchod paprsku světlovodem [43]

Laserové senzory

Laserové senzory jsou schopné detekovat stejně jako reflexní či jednocestná světelná závora, popř. reflexní senzor. Oproti nim však využívají viditelného laserového světla červené barvy skládajícího se ze světelných vln o stejné vlnové délce vyprodukovaného laserovou diodou. Maximální dosah laserového senzoru se pohybuje okolo 50 m, pro inspekční úlohy velmi malých předmětů je přibližně 1 m. Limitem dosahu je opět problém zajištění vzájemné stability vysílače a přijímače. Nemalou výhodou je viditelnost červeného paprsku usnadňující nastavení senzoru, nevýhodou je možný vliv laserového paprsku na zrak obsluhy. Vzhledem ke shodnému provedení jako předchozí typy optických senzorů je také velmi podobné jejich použití, ať jde o detekci objektů závorami či měření vzdálenosti reflexními senzory. Laserový senzor v jedné z mnoha aplikací je vyobrazen na obrázku 31. [6], [44]



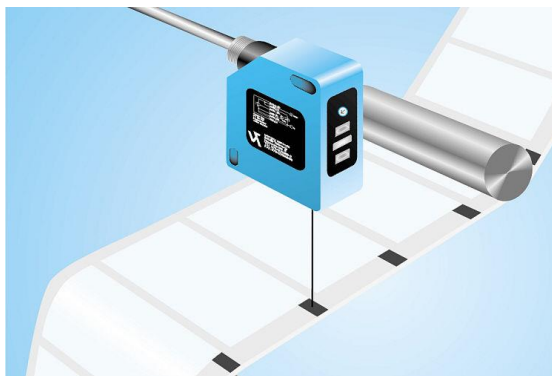
Obr. 31) Laserový senzor pro měření rozměrů krabice na dopravníkovém páse [44]

Optické zářezové senzory spojují výhody reflexních a jednocestných závor. Jedno pouzdro totiž obsahuje oba dva prvky – vysílač i přijímač, avšak jsou umístěny naproti sobě jako u jednocestné závory a pracují tedy s menší dobou odezvy. Díky tomu jsou nezměnitelné při snímání otáček na pohyblivých páslech, detekce otvorů na krajích pásů, detekce barevné značky na filmu nebo počítání vyrobených kusů. Výhodou je absence seřizování vzájemné polohy vysílače a přijímače. Optický zářezový senzor je vyobrazen na obrázku 32. [6], [45]



Obr. 32) Optický zářezový senzor pro počítání kusů fy Banner [45]

Senzory barevné značky byly vyvinuty ke snímání barevných značek neboli index- značek. Tyto značky se používají při balicích operacích k označení místa, kde se má ustříhnout obal, aby informace o výrobku byly vždy na stejném místě balení. Stříhání pásů se provádí při rychlostech až 10 m/s a požadovaná reakční doba senzoru je 50 μ s. Senzor vlastně vyhodnocuje množství odraženého světla od snímaného povrchu a je nastaven na barvu dané značky, která se volí s ohledem na provozní podmínky. Pro tyto aplikace lze také použít optický zářezový senzor. Snímání barevné značky ukazuje obrázek 33. [6], [46]



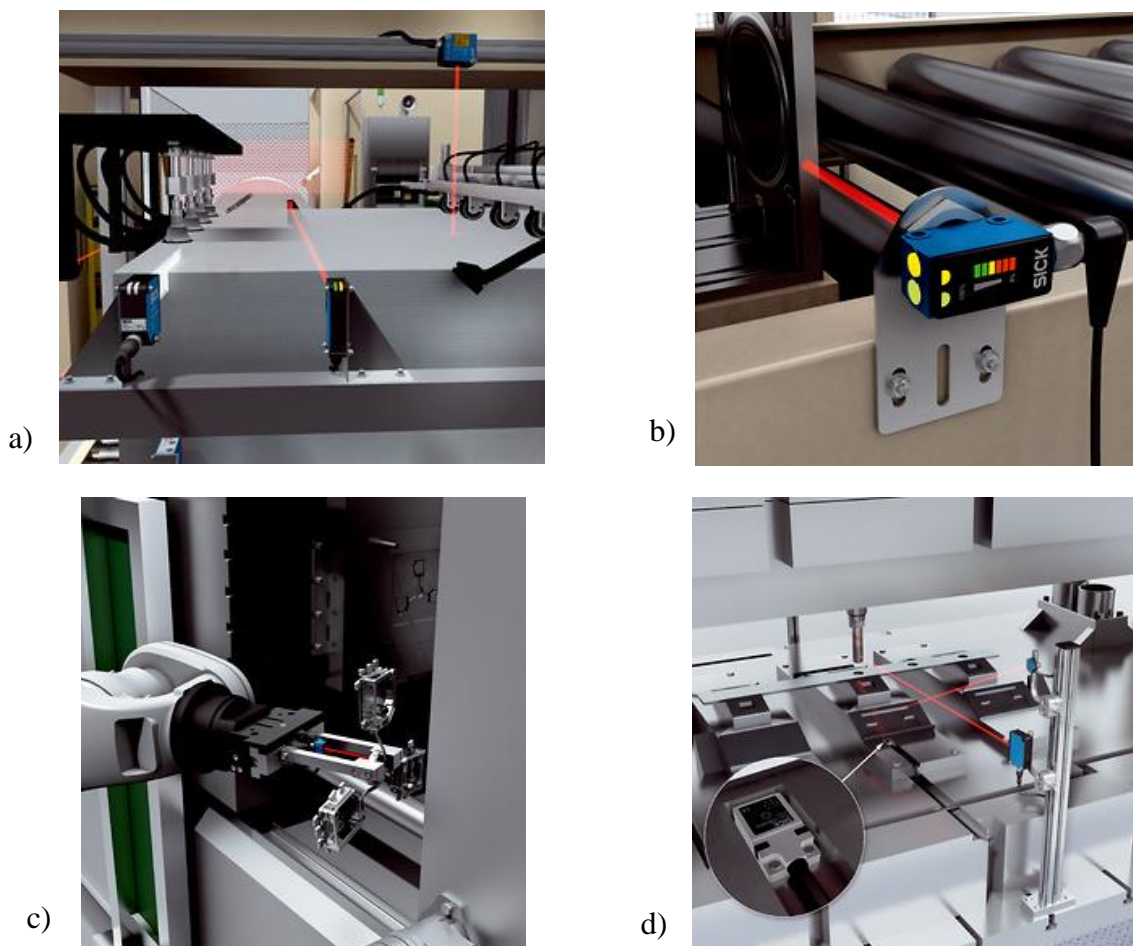
Obr. 33) Senzor pro snímání barevné značky [46]

4.6.5 Výhody a nevýhody optických senzorů [39]

- Disponují stále menšími rozměry s rostoucím výkonem senzorů, snímání na extrémní vzdálenosti - desítky až stovky metrů
- Necitlivost vůči elektromagnetickému poli
- Schopnost detekce lesklých předmětů, možnost rozlišování barev
- Detekce velmi malých předmětů ve stísněných prostorech při použití světlovodů
- Snadné nastavení laserového senzoru díky viditelnému paprsku
- Jeden z nejlevnějších bezkontaktních senzorů, cena se pohybuje v řádech nižších tisíců Kč (válcová reflexní závora M18 s dosahem 25 metrů vyjde na 1 250 Kč)
- Nezanedbatelnou nevýhodou je nízká okolnost vůči vlhkosti a znečištění prostředí

4.6.6 Použití optických senzorů

Optické senzory jsou nejpoužívanějším typem průmyslových senzorů pro detekci přítomnosti, měření vzdálenosti a rychlosti. Jejich použití je tedy značně rozsáhlé a konkrétní aplikace tak záleží prakticky jen na fantazii konstruktéra. Na obrázku 34 můžeme tedy vidět jen malý výčet jejich typického uplatnění v automatizaci. [47], [48], [49], [50]



Obr. 34) a) Měření výšky stohu desek, papírů nebo folií [47]

b) Kontrola polohy palety před ovíjením [48]

c) Detekce přítomnosti v uchopovači robotické ruky [49]

d) Monitorování porušení nástroje rozpoznáním jeho charakteristických znaků [50]

5 STRUČNÉ SROVNÁNÍ SENZORŮ V PRŮMYSLU

Následující tabulky shrnují informace ohledně průmyslových senzorů v oblasti automatizovaného procesu, jejich typického použití a hlavních výhod či nevýhod.

Tab. 3) Stručný přehled použití senzorů v průmyslových aplikacích

<i>Průmyslový senzor</i>	<i>Typické použití</i>
Mechanické senzory Tlačítka	Ovládání činnosti stroje nebo procesu, započítávání kusů Kontrola vychystávání kusů a osazování linek Bezpečnostní STOP tlačítka
Mechanické senzory Přepínače	Hlavní vypínač stroje nebo linky Přepínání mezi výrobními procesy
Mechanické senzory Joysticky	Ovládání hydraulických systémů, souřadnicových stolů Řízení jeřábů, kolejových vozidel Ovládání kamerových systémů, ovládání očního laseru v lékařství
Indukční senzory	Zpětné hlášení polohy akčního členu Náhrada mechanických koncových spínačů Počítání kusů, detekce přítomnosti nebo správné polohy dílu Měření tloušťky materiálu, rychlosti, úhlu, otáčení nebo vyosení Systémy aktivní bezpečnosti vozidla – ABS, ESP, ASR
Kapacitní senzory	Snímání i nekovových materiálů, hlídání hladin kapalin a sypkých hmot Hlídání přítomnosti velmi malých kovových předmětů Kontrola úniku kapalin a netěsnosti mechanických spojů Kontrola přetržení při výrobě kabelů
Magnetické senzory	Bezkontaktní spínání polohy pístu pneumatických a hydraulických válců Měření otáček, natočení a otáčení Kódování pomocí rozdílných magnetů Snímání hladiny kapalin a sypkých hmot pomocí magnetu v plováku Indikace polohy a objektu v prostředí s vysokou teplotou nebo v agresivním prostředí
Ultrazvukové senzory	Snímání pohybu a polohy libovolných materiálů včetně průhledných Detekce ve vlhkém a prašném prostředí Detekce chodu dopravníku Sledování hladiny materiálů v zásobníku
Optické senzory	Detekce libovolných materiálů na vzdálenosti až stovek metrů Kontrola obsahu, správné polohy, chybějících částí a rozměrů dílů Nastavení pozice, počítání dílů, kontrola obsahu krabic Zjišťování množství materiálu na roli, kontrola zaplnění zásobníku Inspekční úlohy s rozlišením barev, zjišťování chybných etiket

Tab. 4) Stručný přehled výhod a nevýhod senzorů v průmyslových aplikacích

<i>Průmyslový senzor</i>	<i>Hlavní výhody a nevýhody</i>
<i>Mechanické senzory</i>	Jednoduchá konstrukce, nízké nároky na údržbu a výměnu Nízká cena v porovnání s bezdotykovými senzory Možnost barevného odlišení a signalizace stavu Nevýhodou je možnost ovládání pouze obsluhou
<i>Indukční senzory</i>	Vysoká spolehlivost a enormní odolnost vůči obtížným pracovním podmínkám díky kovovému pouzdru Použití ve venkovním, prašném či výbušném prostředí Relativně malé rozměry, avšak oproti kapacitním nepatrně větší Nevýhodou je nežádoucí citlivost na kovové materiály a jiné senzory v okolí senzoru
<i>Kapacitní senzory</i>	Možnost snímání nekovových materiálů – kontrola hladin Odolnost vůči nečistotám, prachu či mlze Nevýhodou je nízká citlivost a menší odolnost vůči poškození
<i>Magnetické senzory</i>	Větší spínací vzdálenost než u senzorů indukčních při stejných rozměrech Možnost detekce feromagnetického předmětu za stěnou z neferomagnetického materiálu Jednoduchá konstrukce a nízká cena Reedova senzoru Nevýhodou je nežádoucí působení magnetického pole a vyšší cena složitějších typů
<i>Ultrazvukové senzory</i>	Detekce libovolných materiálů včetně průhledných Odolnost vůči zašpinění, prašnému prostředí a prostředí se stříkající kapalinou Velmi přesné měření vzdáleností díky vícenásobnému měření Nevýhodou je nemožnost umístění více senzorů poblíž sebe z důvodu vzájemné interakce, rozptyl vysílaného paprsku na hladkých površích a mrtvá zóna z důvodu dokmitání vysílače
<i>Optické senzory</i>	Stále menší rozměry a vyšší dosah senzorů – až stovky metrů Necitlivost vůči elektromagnetickému poli Schopnost detekce lesklých předmětů, schopnost rozlišování barev Snadné nastavení laserového senzoru díky viditelnému paprsku Detekce velmi malých předmětů při použití světlovodů Nejnižší cena – v řádech nižších tisíců Kč Nevýhodou je nízká odolnost vůči vlhkosti a znečištění prostředí

6 ZÁVĚR

Pro správný chod automatizovaných procesů a samotného průmyslu se dnes hojně užívá nejrůznějších dotykových i bezdotykových senzorů. Bez senzorů by dnešní svět průmyslu jistě nebyl takový, jak jej známe. Nabídka výrobců je velmi bohatá a s trochou nadsázky by se dalo říct, že jsme pomocí vhodně zvolených senzorů schopni změřit libovolný podnět. Sensory tedy můžeme využít v nejrůznějších aplikacích, jejichž hranice jsou stanoveny pouze fantazií konstruktéra. Cílem bakalářské práce tedy bylo přehledné srovnání právě nabízených a nejčastěji používaných průmyslových senzorů používaných pro správný chod všech automatizovaných procesů.

Úvodní část bakalářské práce byla věnována historii průmyslu, širšímu popisu oboru sensoriky, seznámení čtenáře se základními pojmy v této oblasti a definici průmyslového senzoru jako takového. Jednotlivé typy byly přehledně rozděleny dle aplikované technologie a vnitřního uspořádání. Dále byly vhodně zpracovány od seznámení s jejich základním principem, možnými provedeními, konstrukčními výhodami či omezeními, charakteristickými parametry a možnosti jejich nasazení. Každý typ byl na závěr doplněn o soupis hlavních výhod a nevýhod, přibližné ceny a ilustrace zobrazující typické nasazení onoho druhu v procesu.

V závěru práce umístěné přehledné srovnání jednotlivých druhů podle jejich typického nasazení a předních výhod či nevýhod poslouží čtenáři pro lepší představu o možnosti použití a přeměrování na daný typ, popřípadě jeho možná provedení. Konstruktér si tak může velmi jednoduše a srozumitelně vytvořit představu a vybrat typ senzoru pro konkrétní potřebu.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Průmysl | Vítejte na Zemi. *ESF, CENIA* [online]. 2013 [vid. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=prumysl&site=spotreba>
- [2] NĚMEC, Václav. Anglická průmyslová revoluce a její rozšíření. *dějepis.com* [online]. 2018 [vid. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.dejepis.com/ucebnice/anglicka-prumyslova-revoluce-a-jeji-rozsireni/>
- [3] CEJNAROVÁ, Andrea. Od 1. průmyslové revoluce ke 4. | Technický týdeník [online]. 2015 [vid. 2018-05-16]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html
- [4] Průmysl 4.0 - Digitalizace v průmyslové výrobě | Siemens CZ. *Siemens, s.r.o.* [online]. 2017 [vid. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.siemens.cz/prumysl40/>
- [5] HRUŠKA, František. *SENZORY Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití* [online]. 2011 [vid. 2018-02-13]. ISBN 978-80-7454-096-7. Dostupné z: http://www.utb.cz/file/15534_1_1/
- [6] MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. B.m.: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [7] BENEŠ, Pavel, Josef JANEČEK, Jindřich KRÁL, Gunnar KÜNZEL, Branislav LACKO, Jaroslav SEMERÁD, Pavel SOUČEK, Ladislav ŠMEJKAL, Rudolf VORÁČEK, Ladislav MAIXNER a Bohumil ŠULC. *Automatizace a automatizační technika 1 - Systémové pojetí automatizace*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-3628-7.
- [8] BERKA, Štěpán. *Elektrotechnická schémata a zapojení. 1, Základní prvky a obvody* [online]. Praha: BEN - technická literatura, 2008 [vid. 2018-04-23]. ISBN 9788073002299. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tlačítko>
- [9] Push Button Switches including a momentary switch or SPST Momentary switch - Future Electronics. *Future Electronics* [online]. [vid. 2018-04-23]. Dostupné z: <http://www.futureelectronics.com/en/switches/push-button-switches.aspx>
- [10] TEAZ - Vývoj jednocelových strojů a zařízení. *TEAZ s.r.o.* [online]. 2017 [vid. 2018-04-26]. Dostupné z: <http://www.teaz.cz/stroje.htm>

- [11] Průmyslové joysticky s kontinuálním výstupem Archivy - MEGATRON - komponenty pro automatizaci. *MEGATRON, s.r.o.* [online]. 2018 [vid. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/prumyslove-tiskarny-joysticky/joysticky>
- [12] THOR rádiový dálkový ovladač pro hydraulické jeřáby - imet-radio.cz. *MAG Centrum s.r.o.* [online]. [vid. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.imet-radio.cz/thor-radiovy-dalkovy-ovladac.html>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2014 [vid. 2018-02-15]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [14] Indukční senzory. *Hans TURCK GmbH & Co. KG* [online]. 2018 [vid. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000010002461b00030023>
- [15] Autonics PSN17-5DP2 Proximity Sensor. *Autonics Co.* [online]. [vid. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.applesensors.in/autonics-psn17-5dp2-square-type-proximity-sensor-india-2215386.html>
- [16] Inductive ring sensor - BI20R-Q14-AP6X2-H1141. *Hans TURCK GmbH & Co. KG* [online]. [vid. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/en/DE/product/00000000000323810003003a>
- [17] SELET Indukční snímače. *OEM Automatic s.r.o.* [online]. 2018 [vid. 2018-03-01]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elektricke_stroje/Snimace/Indukcni_snimace/Zasady_indukcni_detekce_krivky_detekce_a_znaceni/Indukcni_snimace_-_co_je_potreba_vedet_pro_spravnou_volbu/2928965-603767.html
- [18] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní kapacitní snímače přiblížení - obecný popis | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2014 [vid. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/bezkontaktni-kapacitni-senzory-priblizeni-obecny-popis.html>
- [19] Kapacitní snímače | SICK. *SICK AG* [online]. 2018 [vid. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/kapacitni-snimace/c/g201659>
- [20] Detects Milk in Paper Cartons - OMRON Industrial Automation. *OMRON* [online]. 2018 [vid. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.ia.omron.com/products/applications/case/29.html>

- [21] Level Feedback with Capacitive Sensors. *Design World Staff* [online]. 2009 [vid. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/level-feedback-with-capacitive-sensors/>
- [22] Capacitive sensor is so easy to set. *IFM Electronic* [online]. 2018. Dostupné z: <http://www.ifm.com/ifmmy/web/redirect-ki6000.htm>
- [23] VOJÁČEK, Antonín. Magnetické senzory přiblížení - 1. díl | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2017 [vid. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni.html>
- [24] Magnetické senzory. *Hans TURCK GmbH & Co. KG* [online]. 2018 [vid. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000000001096d00060023>
- [25] Magnetický senzor přiblížení Cherry Switches. *Conrad Electronic s.r.o.* [online]. 2018 [vid. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/magneticky-senzor-priblizeni-cherry-switches-mp200702-30-v-dc-ac-200-ma-zavit-15-32.k276117>
- [26] DAVID, Jan. Časopis Automa - Magnetoindukční senzory pro detekci polohy pístů v pneumatických válcích. *Automa s.r.o.* [online]. 2016 [vid. 2018-03-22]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/magnetoindukcni-senzory-pro-detekci-polohy-pistu-vpneumatickych-valcich-2002_01_28319_2102/
- [27] Magneto-indukční snímače polohy | Micro-Epsilon Czech Republic. *Micro-Epsilon* [online]. 2018 [vid. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/displacement-position-sensors/magneto-inductive-sensor/>
- [28] Speed sensor | Sensitec GmbH. *Sensitec GmbH* [online]. 2018 [vid. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://www.sensitec.com/products-solutions/magnetic-solutions/speed-sensor>
- [29] VOJÁČEK, Antonín. Magnetické senzory přiblížení - 2. díl | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2018 [vid. 2018-03-16]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/magneticke-senzory-priblizeni-2-dil.html>
- [30] ELIÁŠ, Jaroslav. Snímače pohybu [online]. 2012 [vid. 2018-03-26]. Dostupné z: <https://dSPACE5.zcu.cz/handle/11025/2709>
- [31] MM | Magnetické snímače | SICK. *SICK AG* [online]. 2018 [vid. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/detekcni-snimace/magneticke-snimace/mm/c/g208598>
- [32] Typy ABS snímačů. *Autodíly MJauto* [online]. 2018 [vid. 2018-04-16]. Dostupné z: <http://www.mjauto.cz/typy-abs-snimacu>

- [33] Compact WIM45 Magnetic Field Sensor. *Design World Staff* [online]. 2008 [vid. 2018-04-16]. Dostupné z: <https://www.designworldonline.com/compact-wim45-magnetic-field-sensor/>
- [34] VOJÁČEK, Antonín. Ultrazvukové senzory přiblížení | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2005 [vid. 2018-03-30]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005110201>
- [35] Ultrazvukové senzory - Senzory pro průmysl. *www.senzory-pro-prumysl.cz* [online]. 2012 [vid. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://www.senzory-pro-prumysl.cz/index.php/ultrazvukove-senzory>
- [36] Ultrazvukové senzory. *Hans TURCK GmbH & Co. KG* [online]. 2018 [vid. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000000002c43b00040023>
- [37] QT50ULBQ6 | QT50U Series 8 m Range Chemical Resistant Ultrasonic Sensor. *Banner Engineering Corp.* [online]. 2018 [vid. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/sg/en/products/part.02728.html>
- [38] VOJÁČEK, Antonín. Ultrazvukové senzory přiblížení - funkce, provedení, použití | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2017 [vid. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [39] Optické senzory - Senzory pro průmysl. *www.senzory-pro-prumysl.cz* [online]. 2012 [vid. 2018-04-06]. Dostupné z: <http://www.senzory-pro-prumysl.cz/index.php/opticke-senzory>
- [40] VOJÁČEK, Antonín. Optické senzory přiblížení - obecný popis | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2005 [vid. 2018-04-06]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
- [41] SENZORTECH - Rozdelenie optoelektrických snímačov. *SENZORTECH* [online]. 2008 [vid. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://senzortech.sk/neo/tree.php?stranka=eshop2info>
- [42] DATALOGIC Optické snímače - princip a jak vybrat. *OEM Automatic, s.r.o.* [online]. 2018 [vid. 2018-04-06]. Dostupné z: http://www.oemautomatic.cz/Products/Elektricke_stroje/Snimace/Opticke_snimace/Opticke_snimace_-_princip_a_jak_vybrat/2928868-304993.html
- [43] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Optická vlákna - Encyklopedie fyziky [online]. 2018 [vid. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/557-opticka-vlakna>

- [44] VOJÁČEK, Antonín. Laserový senzor Banner LE250 pro měření vzdálenosti | Automatizace.HW.cz. *HW server s.r.o.* [online]. 2014 [vid. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/novinka-laserovy-senzor-pro-mereni-vzdalenosti-banner-le250.html>
- [45] SLM10B6 Banner • Sensors by INT TECHNICS. *INT TECHNICS Sp. z o.o.* [online]. 2018 [vid. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://sensorstrade.com/mpn/slm10b6-2/>
- [46] Color mark sensor - WM, WP series - wenglor sensoric. *Direct Industry* [online]. 2018 [vid. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/wenglor-sensoric/product-6132-556699.html>
- [47] W9-3 | Optoelektronické snímače | SICK. *SICK AG* [online]. 2018 [vid. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w9-3/c/g186890>
- [48] SureSense | Optoelektronické snímače | SICK. *SICK AG* [online]. 2018 [vid. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/suresense/c/g317353>
- [49] W2S-2 | Optoelektronické snímače | SICK. *SICK AG* [online]. 2018 [vid. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w2s-2/c/g291551>
- [50] MultiPac | Optoelektronické snímače | SICK. *SICK AG* [online]. 2018 [vid. 2018-04-13]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/multipac/c/g246054>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk a symbolů

PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat
ABS	Anti-lock Brake System – protiblokovací systém kol automobilu
ESP	Electronic Stability Program – elektronický stabilizační program
ASR	Anti-Slip Regulation – systém regulace prokluzu hnacích kol
PVC	Polyvinylchlorid
LED	Light Emitting Diode – elektroluminiscenční dioda
PSD	Position Sensitive Device – dioda umožňující měření polohy dopadajícího světelného paprsku
PN	Přechod u polovodičových součástek
GaAs	Arsenid gallitý – polovodič
CCD	Couple Charger Device

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Schéma měřicího řetězce	19
Obr. 2) Použití tlačítek na ovládacím panelu jednoúčelového stroje.....	22
Obr. 3) Otočný přepínač jako hlavní vypínač rozvaděče jednoúčelového stroje.....	22
Obr. 4) Joysticky na dálkovém ovládní jeřábu.....	23
Obr. 5) Možnosti použití indukčních senzorů.....	24
Obr. 6) Konstrukce indukčního senzoru	25
Obr. 7) Vazební (vlevo) a nevazební (vpravo) indukční válcový senzor	26
Obr. 8) a) Válcové provedení indukčního senzoru fy Turck	
b) Průřez válcovým indukčním senzorem.....	27
Obr. 9) Indukční senzor v provedení kvádrovém.....	27
Obr. 10) Schematický nákrés zářezového senzoru (indukční závory).....	28
Obr. 11) Kruhový senzor fy Turck.....	28
Obr. 12) Obvyklé aplikace indukčnostních senzorů	30
Obr. 13) Kapacitní senzor	31
Obr. 14) Válcové (a) a kvádrové (b) provedení kapacitního senzoru fy SICK.....	32
Obr. 15) a) Detekce přítomnosti mléka v kartonových obalech	
b) Měření výšky hladiny kapaliny v nádobě	
c) Počítání plastových výrobků na výrobní lince.....	33
Obr. 16) Jazyčkový kontakt a jeho chování v magnetickém poli	35
Obr. 17) a) Magnetomechanický senzor pro „T“ drážku fy TURCK	
b) Použití senzoru pro „T“ drážku pneumatického válce	
c) Válcové provedení se závitem	35
Obr. 18) Porovnání spínacích charakteristik magnetoindukčního (a)	
a magnetomechanického senzoru (b) a (c).....	36

Obr. 19) a) Detekce objektu přes neferomagnetickou stěnu	
b) Měření rychlosti otáčení neferomagnetického disku	
c) Měření rychlosti otáčení ocelového ozubeného kola.....	37
Obr. 20) Hallův element bez působení (a) a za působení magnetického pole (b)	37
Obr. 21) a) Detekce posuvu předmětu	
b) Detekce otáčení motoru pomocí kruhového magnetu	38
Obr. 22) Senzor s vychýleným Hallovým snímačem pro měření otáček ozubeného kola	38
Obr. 23) Konstrukce magnetorezistivní sondy	39
Obr. 24) a) Určení polohy a rychlosti otáčení karuselových dveří	
b) Detekce zón ve výtahové šachtě	
c) Snímač ABS v automobilovém průmyslu	
d) Hlídní polohy pneumatického válce	40
Obr. 25) a) Válcový ultrazvukového senzoru pro měření vzdálenosti fy TURCK	
b) Kvádrové provedení fy Banner	42
Obr. 26) Typické použití ultrazvukových senzorů v automatizaci	44
Obr. 27) Princip reflexní optické závory	47
Obr. 28) Princip jednocestné optické závory	47
Obr. 29) Princip funkce reflexního senzoru.....	47
Obr. 30) a) Optický senzor se světlovodem zakončeným čočkou	
b) Průchod paprsku světlovodem.....	48
Obr. 31) Laserový senzor pro měření rozměrů krabice na dopravníkovém páse	48
Obr. 32) Optický zářezový senzor pro počítání kusů fy Banner	49
Obr. 33) Senzor pro snímání barevné značky	49
Obr. 34) a) Měření výšky stohu desek, papírů nebo folií	
b) Kontrola polohy palety před ovíjením	
c) Detekce přítomnosti v uchopovači robotické ruky	
d) Monitorování porušení nástroje rozpoznáním jeho charakteristických znaků	50

8.3 Seznam tabulek

Tab. 1) Redukční faktor vybraných materiálů - indukční senzory	25
Tab. 2) Redukční faktor vybraných materiálů - kapacitní senzory.....	32
Tab. 3) Stručný přehled použití senzorů v průmyslových aplikacích.....	51
Tab. 4) Stručný přehled výhod a nevýhod senzorů v průmyslových aplikacích	52